

A NAPENERGIAHASZNOSÍTÁS RÖVID TÖRTÉNETE

Ujfaludi László

Eszterházy Károly Főiskola, Fizika Tanszék

Abstract: Brief history of solar energy utilization

Solar energy is nowadays considered by many people as something like “an exotic attempt” or “a brand new idea” of gaining energy. Solar energy, however, has been utilized continuously since the ancient Greek culture (or even earlier) and, considering the energy problem of our modern civilization, we have to rediscover it. This article provides an over-view of the 2500 years’ prehistory of the solar technology, its ascending and descending periods and its future.

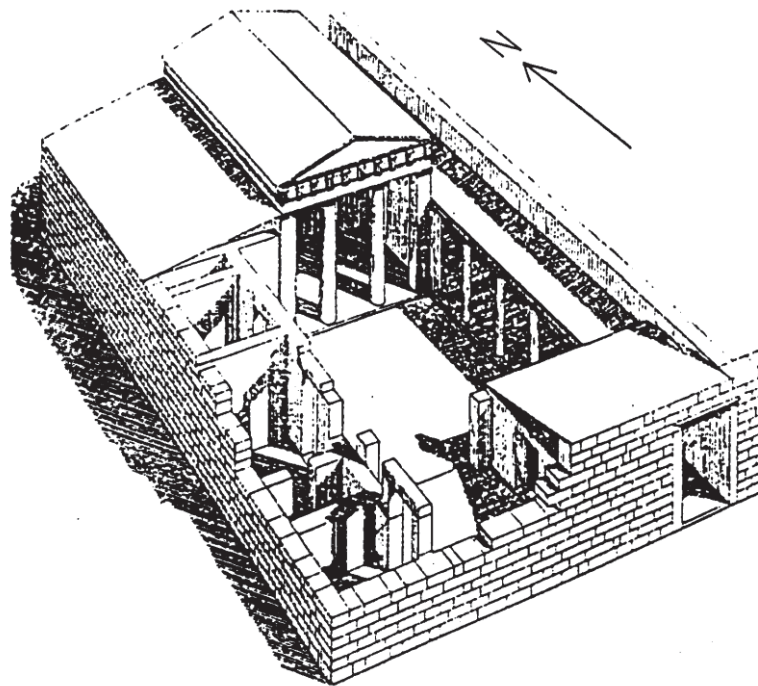
Bő harminc évvel ezelőtt (1980-ban) nagy feltűnést keltett két amerikai szerző futurisztikus hangvételű könyve. Az *Egy napsugaras energiajövő felé* című könyvében *Kendall és Nadis* egy teljes egészében a napenergia hasznosításán alapuló társadalom vízióját vázolja fel. Elképzelésük szerint az ipari, a mezőgazdasági termelés és a lakosság teljes energiaigénye kielégíthető a napenergia közvetlen, vagy közvetett hasznosításával (utóbbi alatt a szél- és a biomassza-energiát értik). A közlekedés-szállítás jövőjét a vasúti- és a tömegközlekedésben látják: a vasút napenergiából termelt elektromos árammal-, az országúti közlekedés pedig részben napelemes, részben alkohollal üzemelő járművekkel történik.

Energiaforrásaink jelenlegi arányai alapján *Kendall és Nadis* jövőképe igen merésznek (ha ugyan nem hóbortosnak) tűnik. A világ energiaigényének 85%-át ma fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből nyerjük, míg a közvetlen napenergia-hasznosítás részesedése messze 1% alatt van. Ha az ún. közvetett, vagy másodlagos napenergia-hasznosításokat (víz, szél, biomassza, bio-üzemanyag) is figyelembe vesszük, akkor is csak 13% (IPCC SRREN, 2011) ez az arány. A napenergia hasznosítását ma is sokan valamiféle „nagyon modern”, „még kiforratlan”, esetleg „egzotikus” próbálkozásnak tartják, pedig az írásos emlékekből és a régészeti leletekből követhetően legalább két és fél évezredes múltra tekint vissza. Kövessük végig ezt az izgalmas történetet az ókortól napjainkig.

Szoláris építészet az ókorban

A napenergia építészeti hasznosítását 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 (1. ábra).



1. ábra: Klasszikus görög ház rekonstrukciója Priene-ből

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 kiterjedt közösségi épületcsoportokat is létrehoztak az energiataudatos építészeti elvek megvalósításával. A régészeti feltárások tanúsága szerint *Olünthosz* és *Priéné* városában, valamint *Délosz* szigetén több ezer lakos számára építettek déli tájolású, szoros beépítésű (sorház jellegű) lakótelepeket.

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,

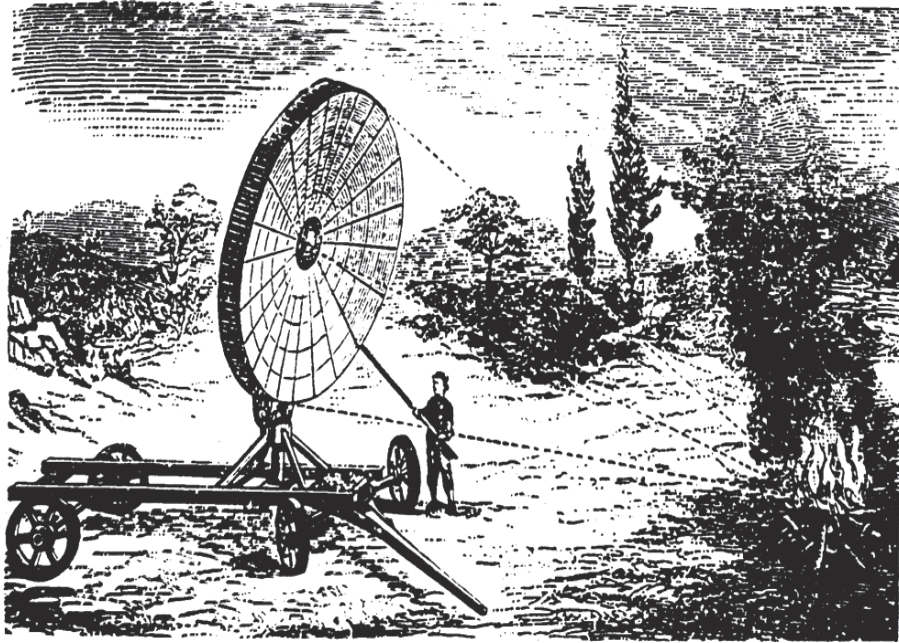
mint a görögök. Miután az Appennini-félszigeten az erdők gyakorlatilag eltűntek, Germániából, a Kaukázusból, Észak-Afrikából és más távoli helyekről kellett a fát importálni. A probléma megoldását itt is a napenergia építészeti alkalmazása jelentette.

A rómaiak nem csupán 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 északi tájolásra építették, a hűvösebb klímájú Európai területeken viszont a görög minta szerint alakították ki az épületeket.) Jelentős előrelépés volt a görögökhöz képest, hogy a rómaiak ismerték az üveget, és kiterjedten használták a csillámlémezt 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. századtól 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 fürdőépületeknél különösen gyakran használták az épület hő-tartásának fokozására.

Középkor és reneszánsz

A görög és a római szoláris építészet eredményei a középkor és a reneszánsz időszakára már teljesen feledésbe merültek. A nap energiájának hasznosítása csak egyes fantazmagóriákban öltött testet. Egyik ilyen irreális ötlet volt a fókuszáló tükrök és lencsék harcászati célokra történő alkalmazása. Hadi mérnökök álmodoztak olyan tükrökről és lencséről, amelyekkel az ellenséges hajóhadat felgyűjtják, az ellenséges várost megsemmisítik stb. Ezek az elképzelések abból a legendából indultak ki, amely *Arkhimédész*ről terjedt el, aki – állítólag – Kr. e. 212-ben, a II. Pún Háború idején fókuszáló tükrökkel felgyűjtotta a Szirakúza ellen támadó római hajókat. Fókuszáló tükröket már az ókorban is alkalmaztak, elsősorban kultikus célokra. Ilyen tükrökkel gyűjtötták meg például az áldozati oltárok tüzeit. Az említett harcászati elvárások nyilvánvalóan irreálisak voltak, ám ennek ellenére olyan neves természettudósok is foglalkoztak hasonló tervekkel, mint *Roger Bacon* és *Leonardo da Vinci*.

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 felületkiképzése igen nehéz volt, a tükrök pedig súlyosak voltak. Jelentős előrelépés volt az 1700-as évek végén *Peter Hoesen*, drezdai ezermester újítása, aki hatalmas gömbtükrét szegmensekből állította össze (2. ábra). A tükrök szögállását változtatni lehetett és kerekre szerelve hordozható demonstrációs eszközzé vált. Hoesen sok sikeres bemutatót tartott tűzgyújtásra is alkalmas tükrével.



2. ábra: Peter Hoesen szegmensekből összeállított gömbtükre

Az üvegházak térhódítása

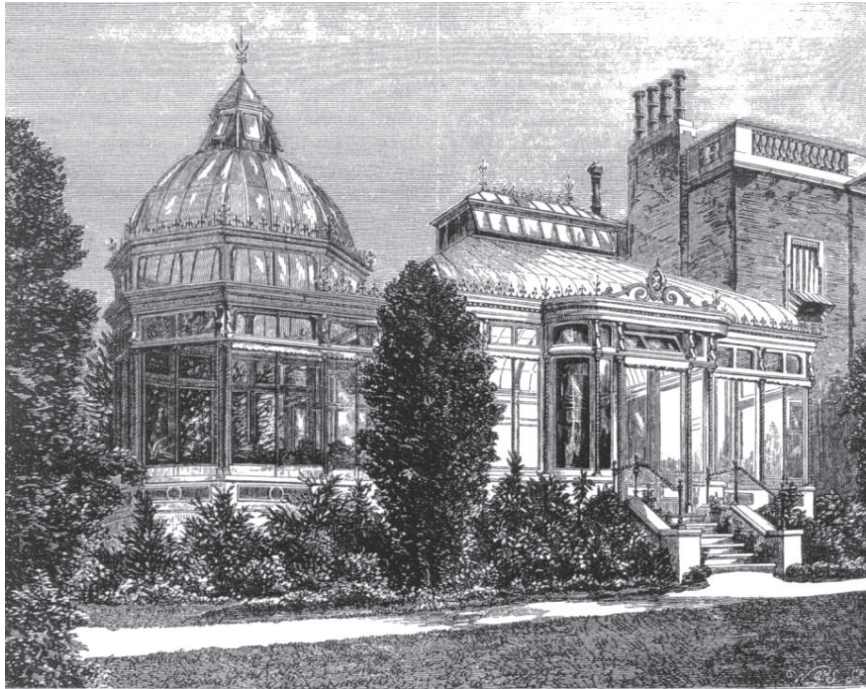
A 16. sz.-tól Nyugat-Európában gyorsan terjedt az üvegházi kertészeti kultúra. Gyors elterjedését erősen motiválták a földrajzi felfedezések; Európába ezek nyomán rengeteg délszaki növényt hoztak be, amelyeket csak üvegházban lehetett szaporítani és termelni. Hollandiában és Flandriában tűntek fel az első üvegházak, majd hamarosan elterjedtek Franciaországban és Angliában is. A lakóépületekhez csatolt üvegház (conser-vatory) a viktoriánus Anglia gazdagjainak büszkesége volt. (3. ábra). Az üvegházat nyílászárókkal az épülethez csatolták, így azok a napsütéses tavaszi, vagy őszi napokon az épület fűtéséhez is jelentősen hozzájárultak.

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 Tours-i egyetemi katedráját hagyta el, hogy 20 évet a napenergia eszközök fejlesztésének szenteljen. Törekvéseit az ösztönözte, hogy az energiahordozókban (akkor még) szegény Franciaországban a fejlődést a napenergia ipari léptékű hasznosításával kívánták

előmozdítani. Alapos előtanulmányok után 1874-ben Toursban bemutatta napkövető óraművel ellátott, napkazánját, amelynek 2,5 m átmérőjű reflektor-tükre szegmensekből készült, Hoesen 100 évvel korábbi berendezésének (2. ábra) mintájára. Mouchot napkazánja nagy sikert aratott, nagy nyomású gőzt állított elő és egy 0,5 lóerős gőzgépet működtetett.

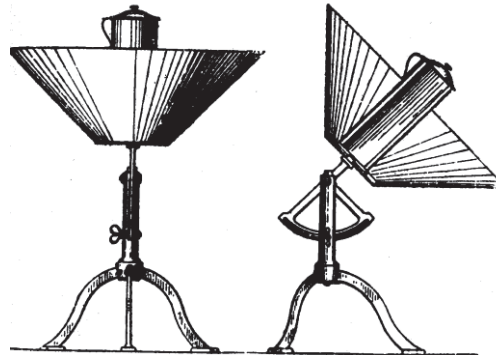


3. ábra: Viktória-kori üvegház Angliában

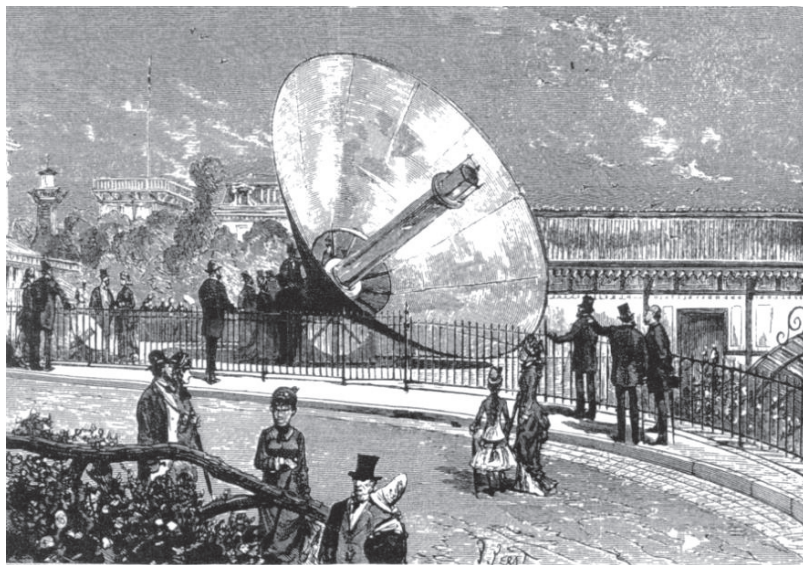
Felismerte, hogy Európában a napsugárzás csekély volta és rapszodikus változása miatt nagyobb méretű gépi berendezések működtetéséhez sok napkazán lenne szükséges, amelynek igen nagy a területigénye. Franciaország ebben az időben vetette meg lábát Észak-Afrikában, ahol a besugárzási körülmények sokkal kedvezőbbek voltak, ezért ezután néhány évig Algériában végezte napenergia-kutatásait. Először néhány egyszerű, köznapi használatra szánt eszközt fejlesztett ki a francia idegenlégió használatára (4. ábra).

Nem sokkal ezután felépítette minden korábnál 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 (5. ábra).

Tanítványa és munkatársa, *Abel Pifre* még egy lépéssel tovább ment: hatékonyabb energiakonzentrációt valósított meg parabolatükör alkalmazásával (6. ábra).



4. ábra: Mouchot vízforralója az idegenlégió katonáinak

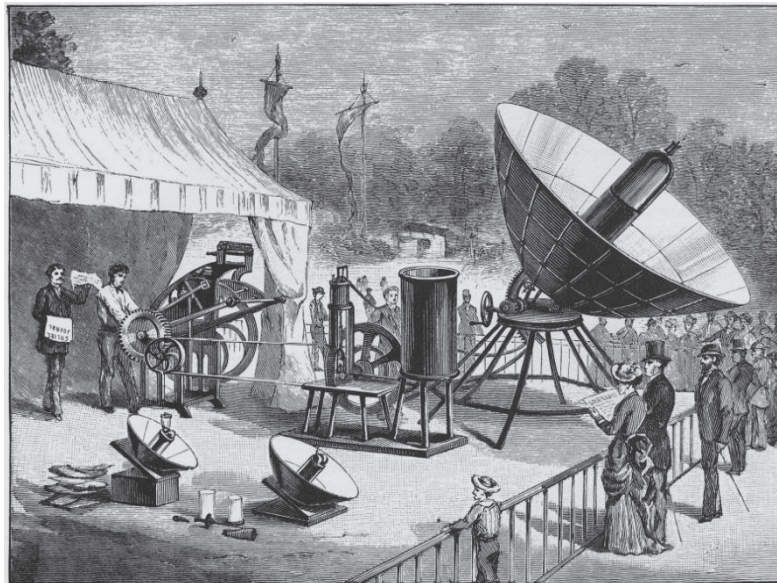


5. ábra: Mouchot napkazánja (1878)

A kazánban felforralt víz gőzével egy kisméretű gőzgépet hajtottak, ez egy nyomdagépet működtetett, amely a *Solar Journal (Napenergia-újság)* c. lapot nyomtatta ki 500 példányban. A bemutató igen nagy sikert aratott a párizsi Tuileriák kertjében.

Mouchot párizsi sikerei után 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 az ötletet nem sikerült valóra váltani, ez csak jóval később, közel 70 év múlva valósult meg. Időközben Franciaországban korszerűsödött a bányászat, olcsóbbá vált a szén, a napenergia lassan háttérbe szorult. Mouchot ezért 1880-ban – némileg csalódottan – visszatért matematikai munkásságához. Készülékeit azonban még sokáig használták Algériában.



6. ábra: Pifre parabolatükrös napkazánja (1880)

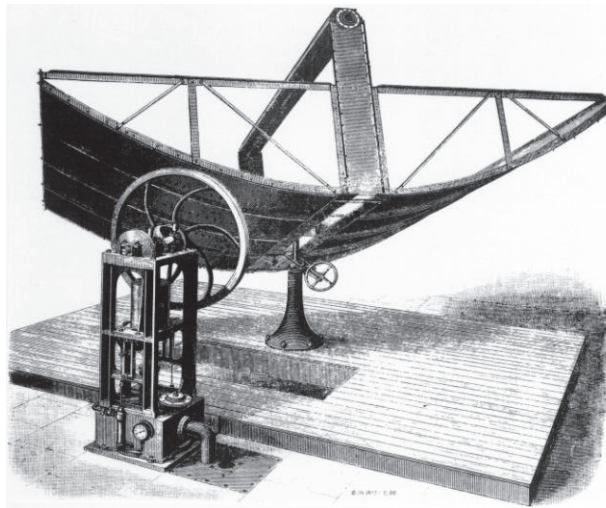
Mouchot-nak ugyan nem sikerült Franciaországot a „napenergia korszakába” bevezetnie, munkássága mégis új korszakot nyitott. Átlépte azt a bűvös határt, amely a tudományos kutatás és a gyakorlati alkalmazás között húzódik. Az általa kifejlesztett eszközökkel sokféle módon bebizonyította, hogy a napenergia 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 1870-ben felépítette első napenergiával működő gőzgépét, mely sok tekintetben Mouchot berendezéséhez hasonlított. Alapvető különbség volt, hogy Ericsson parabola-vályú alakú reflektort használt, amelynek fókuszvonalában elhelyezett rézcső töltötte be a kazán szerepét (7. ábra).

A készülék többszöri tökéletesítése után a sorozatgyártásra és az eszköz széleskörű forgalmazására akart áttérni, de ebben 1889-ben bekövetkezett halála megakadályozta.

A századforduló táján az Újvilágban újabb fellendülés következett be. Ericsson követői több módosítást végeztek elődjük konstrukcióján és elsősorban olyan területeken népszerűsítették ezeket a berendezéseket (pl. Arizonában),

ahol igen nagy a besugárzó napenergia. Több változatban építettek ki napenergiával működő öntözőrendszereket, melyek bemutatóit nagy érdeklődés kísérte. A módszer mégsem terjedt el szélesebb körben, aminek két alapvető oka volt. Egyrészt építési költségük magasabb volt, mint az akkoriban forgalomban lévő széntüzelésű rendszereké, másrészt a reflektor nagy felületű, érzékeny berendezés volt, amely könnyen szennyeződött, erős szélben felborult és gyakran összetört.

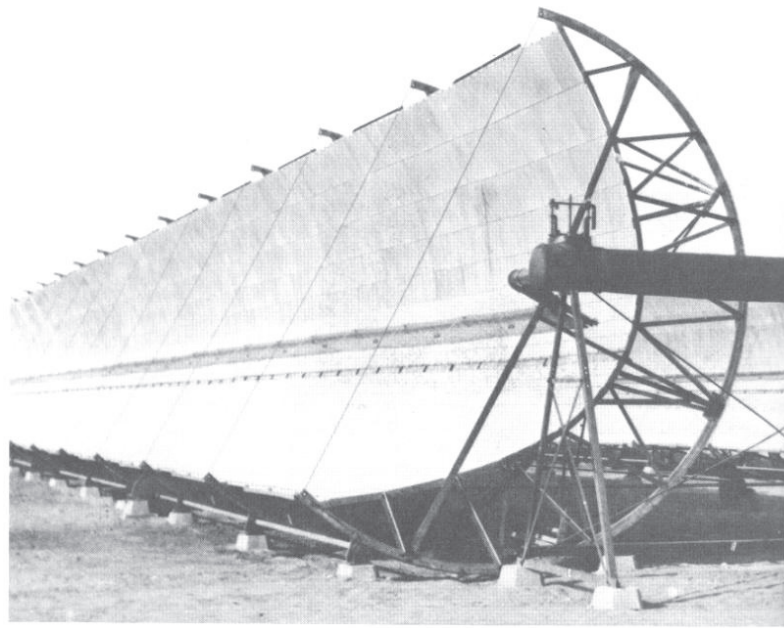


7. ábra: Ericsson vonalfókuszos reflektorral működő gőzgépe

Frank Shuman német származású autodidakta mérnök volt Philadelphiában. Elsőként ő bizonyította be, hogy a napenergia ipari (erőmű) léptékű energiaellátásra is alkalmas lehet. Első napkazán-bemutatói igen sikeresek voltak, berendezéseivel nagy teljesítményű szivattyúkat üzemeltetett. Shuman vérbeli menedzser volt, értett a reklámhoz és tudta, hogyan kell pénzt szerezni további fejlesztéseihez. Vállalatot alapított és részvényeket bocsátott ki a vállalkozás további finanszírozásának érdekében. A későbbiekben üvegborításos koncentráló (fókuszáló) kollektorokat épített, ezzel olyan magas hőmérsékletet tudott előállítani, hogy az már vízforralásra is alkalmas volt. Ericsson korábbi fejlesztésére alapozva nagyméretű, vályú alakú kollektorokat alkalmazott vonalfókuszos rendszerben, ezekkel Philadelphiában egy 32 lóerős (23,5 kW-os) berendezést épített szivattyúk üzemeltetésére.

Ezután angol üzleti partnereket szerzett, akik támogatásával Egyiptomban 1913-ban egy – akkori viszonylatban – nagyméretű naperőművet épített. Ennek teljesítménye 55 lóerő (40,5 kW) volt és a berendezés percenként 25 m³ vizet szivattyúzott. Területigénye azonban a hagyományos (szénfűtésű) kazánegységekhez képest igen nagy volt, és építési költsége egy hagyományos kazánénak a kétszerese. 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 (8. ábra). Németország ugyanekkor jelentős összeget helyezett kilátásba Nyugat-Afrikai gyarmatán építendő naperőmű céljára.



8. ábra: Shuman nagyméretű vonalfókuszos parabola-vályú reflektora (1914)

Nagyratörő terveiben Shuman ekkor már egy 55 ezer km² kiterjedésű napkollektor-mezőről álmodott a Szaharában, amellyel 270 millió lóerő (~200 millió kW, azaz 200 GW, a Paksi Atomerőmű teljesítményének 100-szorosa) teljesítményt lehetett volna megvalósítani (ez a világ 1909. évi teljes fosszilis üzemanyag-fogyasztásának teljesítmény-egyenértéke). 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 lecsökkentek és az általános érdeklődés ismét elfordult a napenergia alkalmazásától.

Háztartási célú napenergia-rendszerek

Az ókori Rómában a fürdőkultúra igen magas szinten állt. A középkorban azonban, egészen az újkor kezdetéig teljesen kihalt. A rendszeres fürdés, tisztálkodás igénye csak a 19. sz. második felében éledt újra, részben az infrastruktúra korszerűsödése, részben Pasteur és mások mikrobiológiai felfedezései révén, amelyek nyomán világossá vált, hogy a fertőző betegségeket mikroorganizmusok okozzák.



9. ábra: Napkollektorok a Los Angeles-i háztetőkön (1907)

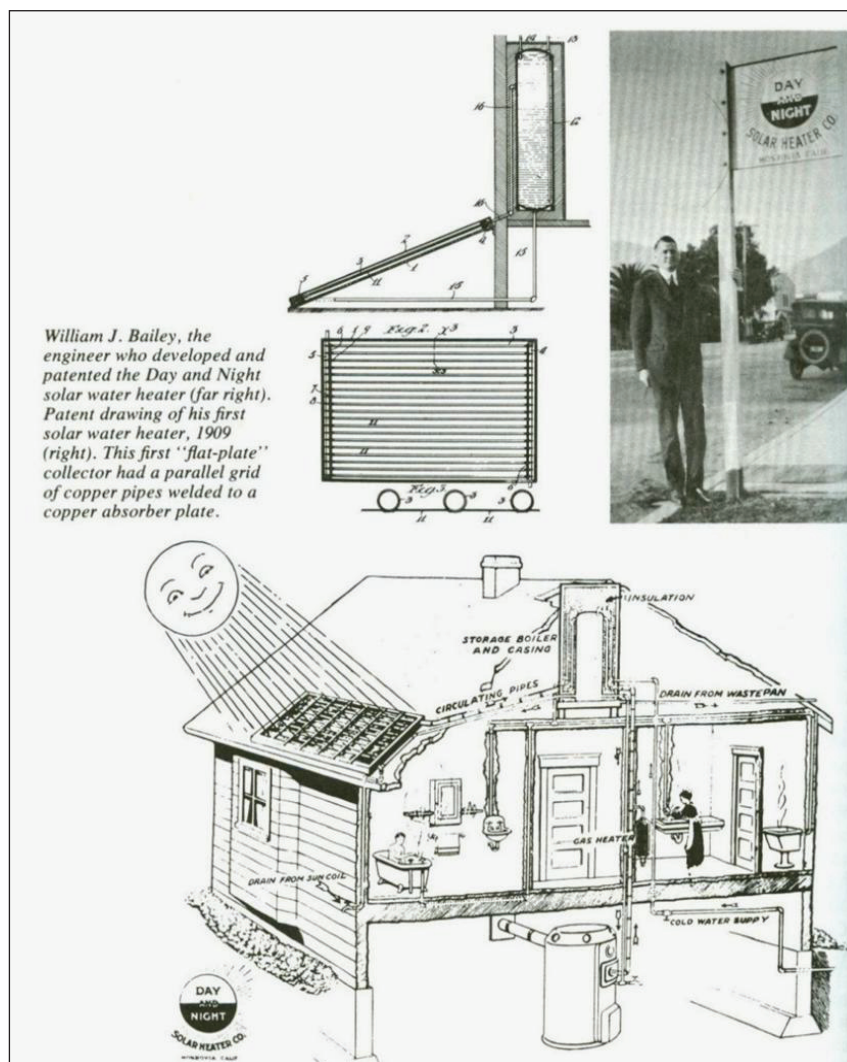
A 19. sz. közepétől Európában és Amerikában ennek nyomán általánossá vált az igény a meleg vízzel történő rendszeres tisztálkodásra. Az előkészületek azonban igen hosszadalmasak és nehézkesek voltak: fa, vagy széntüzelésű vízmelegítő kazánokat használtak, amelyek felfűtése több órát vett igénybe. Ezért a fürdés általában heti egy alkalommal történő, hosszadalmas szertartás volt.

A fejlődés – mint sok más esetben – most is Amerikából indult el. 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, fekete hordókhhoz csatolt kerti zuhanyozók). Az ilyen tartályok azonban, mivel hőtárolásuk nem volt megoldva, igen gyorsan lehűltek. Ezért a tartályokat üvegfedelű kazettába helyezték, így az üvegházhatás hő-nyereségét is felhasználták, majd a hengeres tartályok helyett nagyobb felületű, lapos tartályokat építettek be, ezáltal a víz felmelegedése felgyorsult. A századforduló táján készült kaliforniai városképeken sok épület tetején látható vízmelegítő készülék (9. ábra).

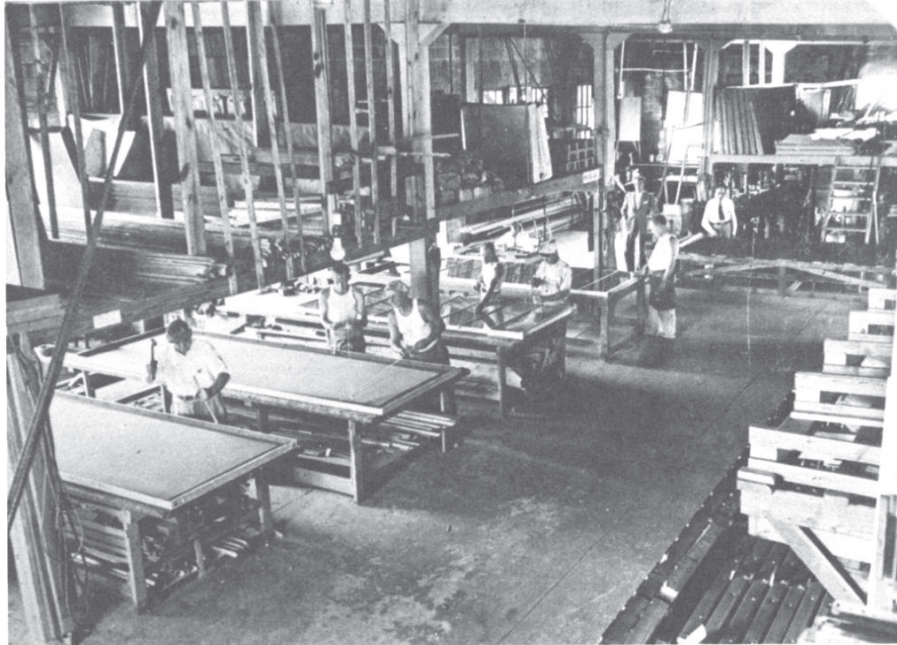
1909-ben *William Bailey* kifejlesztette nagyteljesítményű éjjel-nappali (Day and Night) meleg víz szolgáltatására alkalmas készülékét (10. ábra). A korábbi típusokhoz képest újdonság a kollektor megoldása: a meleg víz rézcsövekben áramlik, amelyeket egy fekete abszorber lemezre hegesztettek (ilyenek a mai kollektorok is). Másik újdonság: beépítettek egy nagyméretű tároló tartályt, amely a kollektornál magasabban helyezkedett el, így a konvektív áramlás a meleg vizet a tartályba emelte. A hideg vizet a tartály alján a fogyasztás ütemé-

ben egy automata szelepen át pótolták. Az ábra alsó részén látható, hogy a rendszerhez csatlakozik egy alsó kazán is, hogy a felhős napokon is biztosítható legyen a meleg víz szolgáltatása. A Day and Night rendszer egész Kaliforniában elterjedt és az 1920-as évek végéig használatban volt.

A napkollektor gyártás a 20. sz. első harmadában virágzó iparág volt Kaliforniában és Floridában (11. ábra).



10. ábra: William Bailey Day and Night típusú napkollektoros készüléke



11. ábra: Napkollektor-üzem Floridában (1936)

Az akkori méretekhez képest nagy üzemekben folyt a gyártás és igen jelentős volt az üzleti forgalom. A konstrukción további tökéletesítéseket végeztek: keringető szivattyút építettek be és két áramlási körös megoldást alkalmaztak olyan helyeken, ahol télen a hőmérséklet fagypont alá csökkent. (A háztetőn elhelyezett primer körben fagyálló folyadék kering, ez hőcserélő közbeiktatásával melegíti fel a szekunder körben keringő vizet.) A 30-as évek végére a gyártó cégek között jelentős verseny alakult ki. A második világháború után azonban 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 munkaigényes volt. Ugyanakkor jelentősen lecsökkent a fosszilis energiahordozók (olaj és földgáz), valamint az elektromos energia ára. Ugyanebben az időszakban más, energia-hordozókban szegény országokban (Izraelben, Japánban, Ausztráliában) erőteljes fejlődésnek indult a napenergia-ipar. Ezekben az országokban lényeges új fejlesztések nem történtek, az USA-ban korábban kifejlesztett típusokat adaptálták a helyi körülmények és a fogyasztók lehetőségeinek figyelembevételével.

A 20. sz. szoláris építésze

Az ókor feledésbe merült energiatudatos építésze a 20. sz. elején ismét felbukkant, de ezek az alkalmazások szórványosak, gyakran csak demonstratív vagy

kísérleti jellegűek voltak. Az 1910-es években Franciaországban és Németországban napenergia-hasznosításon alapuló minta-lakótelepek épültek. Híressé vált a Berlin közelében 1929-ben épült *Siemensstadt* lakótelep, a kisebb lakóközösségek számára tervezett *Zeilenbau* lakónegyed és a Svájcban épült *Neubühl*, Zürich közelében.

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. Chicago közelében *Solar Park* néven lakótelep is létesült, amelynek épületeinél a tervezők a napenergia maximális kihasználására törekedtek. A „nap-házaknak” általában nagy sikere volt, ezért egyes építési vállalkozók erre a területre szakosodtak.

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 napházak építési költsége jóval magasabb volt, mint a hagyományos épületeké. Ez a szempont az építetteket a hagyományos épületek irányában motiválta. A 40-es évek végére a napházak iránti érdeklődés gyakorlatilag megszűnt.

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

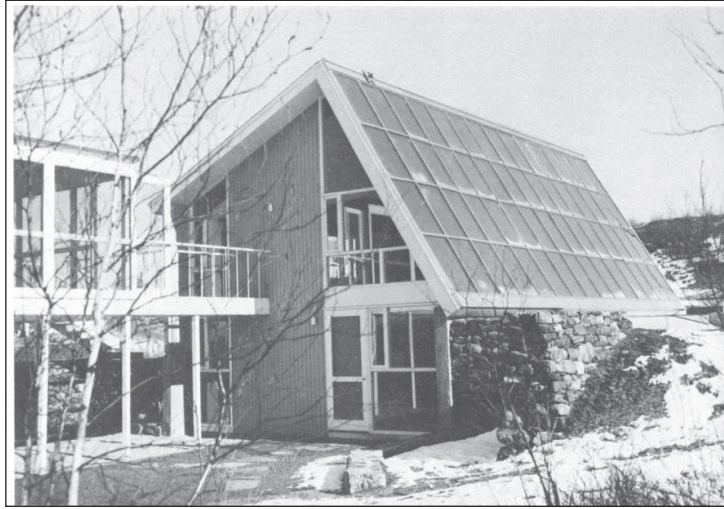
Paradox módon, éppen a hanyatlás időszakában, 1938-ban kezdődött a mindmáig legnagyobb volumenű kísérleti napház-program és néhány éves szünettel 1962-ig tartott. A program fő indítékát az adta, hogy az Egyesült Államokban a lakóházak fűtése óriási energiát emészt fel, nagyságrendileg többet, mint az ipar teljes energiafogyasztása. 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 meleg víz ellátását a napenergia felhasználásával kívánták megoldani. Minden kísérleti ház több évig üzemelt, és közben állandó méréseket, kiértékeléseket végeztek, igen hasznos tapasztalatokat szerezve. A kísérletekről készült dokumentációkat, beszámolókat mindmáig a napenergia-programok klasszikusai között tartják számon. A 12. ábrán a negyedik kísérleti házat mutatjuk be.

A program legfontosabb eredménye az volt, hogy bebizonyította: a napenergiával történő lakóház-fűtés Massachusettshez hasonló hideg éghajlatú vidéken is megvalósítható. A hosszú és igen alapos, nagy körültekintéssel végzett kísérlet-sorozat eredményeit az utóbbi évtizedek autonóm napház-programjai során hasznosították.

Telkes Mária munkássága

Telkes Mária (1900-1995), magyar származású fizikus, korábban fémipari kutatásokban tevékenykedett. 1945-től napenergia-hasznosítás területén dolgozott az M.I.T.-ben, a napház-munkacsoporttal egyidejűleg, de tőlük függetlenül.



12. ábra: Az MIT kísérleti programjának 4. napháza

Nehézkésnek találta a hőtárolás korábbi megoldásait – nagy térfogatú víztartályok, vagy közüzalék felhasználását. Tudta, hogy a kristályos anyagok olvadáskor nagy hőmennyiség tárolódik, amely megszilárduláskor (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) felel meg a legjobban; ennek olvadáspontja 32°C . Kísérleti házának felépítéséhez támogatót is talált, így 1948-ban Doverben (Boston közelében) a ház felépült (13. ábra).



13. ábra: Telkes Mária napháza Boston közelében

A tető-kollektorok mögötti térrészben a felmelegedett levegőt ventilátorok továbbították a mögöttük lévő só-tároló kazettákra. A glaubersó az abszorbeált hőtől megolvadt, majd amikor este a ház lehűlt, megszilárdult, látens hője felszabadult, melegítve a ház belső helyiségeit. Az üzemelés néhány éve alatt azonban az eredetileg jól működő hőtároló 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.

A látens hő felhasználása hőtárolási célokra tehát termékeny ötlet volt, de technikailag – akkor még – nem sikerült jól megvalósítani. Továbbfejlesztett változatát az utóbbi évtizedek hőtárolós napkollektoraiban kiterjedten használják.

Telkes Mária a továbbiakban még jó néhány újítással járult hozzá a napenergia hasznosításához. Az ő elképzelései szerint felépített tengervíz-lepárló berendezés először Boston közelében, majd Kaliforniában igen sikeresnek bizonyult. A készülék egy üvegházra emlékeztetett, amely alatt nagy felületű edényekben tengervizet tároltak. A felmelegedett sós víz intenzíven párologott, az üveg felületén lecsapódott, majd az alatta lévő vályúban gyűlt össze, ahonnan tartályokba vezették. Ily módon nagy mennyiségű édesvizet lehetett előállítani. A berendezést a kaliforniai száraz mezőgazdasági területek öntözésénél hasznosították.

Egy másik készülékét a hadsereg számára fejlesztette ki, a 2. Világ-háború alatt. A harci repülőgépek pilótái, ha gépüket találat érte, a katapult segítségével megmenekültek, de ha a tengerbe estek, a kiszáradás veszélye fenyegette őket, mivel nem volt édesvizük. Telkes Mária igen ötletes készüléket tervezett édesvíz előállítására. A készülék egy baseball-labdához hasonló átlátszó műanyag doboz volt. Közepére sík üveglapot építettek be, amelyhez fekete filc-lemezt rögzítettek. Mikor a pilóta tengerbe esett, gumitutaja automatikusan felfújódott, a készülék felső nyílását szabaddá téve tengervizet locsolt a középen elhelyezett fekete filcre. A készüléket a napra téve a víz gyorsan elpárologott, a készülék belső falán a vízgőz kondenzálódott és az alul elhelyezett édesvíz tartályba áramlott. Így naponta 1–1,5 liter édesvizet lehetett előállítani, amely elegendő volt, amíg a mentőosztagok megérkeztek.

Telkes Mária élete végéig intenzíven dolgozott; utolsó szabadalmi kérelmének bejelentésekor 92 éves volt. Életének utolsó éveit Magyarországon töltötte, itt halt meg 95 éves korában.

Napenergiából elektromos energia

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

1954-ben a Bell Laboratórium kutatói (*G. Pearson, D. Chapin és C. Fuller*) fejlesztették ki az első szilícium napelemeket. Kezdetben még csak 4%-os hatás-

fokot érték el, de sorozatos 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 költségsége miatt a napelem (foto-villamos-, vagy PV-cellának is nevezik) széles körű alkalmazására még nem kerülhet sor, de néhány speciális célra ma már 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. A műholdak, űrszondák, űrteleszkópok és a Nemzetközi Űrállomás (14. ábra) egyedüli energiaforrása a napelemekkel nyert elektromos energia.

További népszerű alkalmazást nyert egy sor kis energiaigényű elektronikai eszközben, pl. zsebszámológépekben, zsebrádiókban, zseblámpákban.



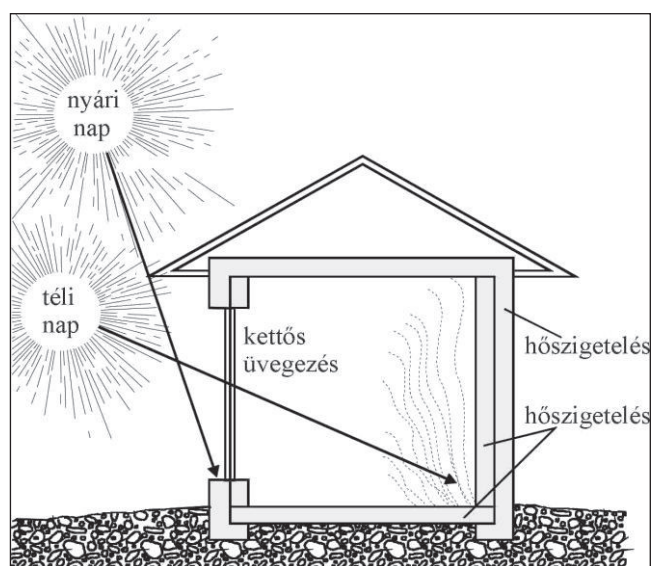
14. ábra: A Nemzetközi Űrállomás energiáját napelem táblák szolgáltatják

A legújabb fejlemények

Szoláris építészet

Az utóbbi évtizedek fejlesztő munkája sok fontos eredményt hozott. A soláris építészet az építési technológia és korszerű anyagok felhasználása révén elődeinél sokkal hatékonyabbá vált. Egy korszerű elveken épült ház (egy „napház”) vázlatát a 15. ábrán mutatjuk be. A déli tájolású ház tetősíkjának előrehozásával elérhető, hogy a magas nyári napállásoknál a ház belseje árnyékban maradjon, a téli, alacsonyabb napállások sugárzó energiáját viszont az ablak üvegházhatása által felerősítve a ház (részleges) fűtésére hasznosíthatják. A sikeres hő-haszno-

sítás feltétele az alap, a födém és az oldalfalak jó hőszigetelése, valamint a kifogástalan nyílászárók. (Megjegyezzük, hogy ehhez hasonló megoldások – egyszerűbb formában – már a népi építészetben is előfordultak; emlékeztetünk a régi falusi tornácos házakra.) A hő-hasznosítást az épülethez csatlakozó üvegfalú ún. naptér (a 3. ábrán bemutatott üvegház egyszerűbb, modern változata) is elősegítheti. Az időjárástól függően a naptér a tárolt hő felhasználásával, konvektív és vezetési hőáramokkal fűti az épületet, nagy hidegben pedig csökkenti a hővesztést. Nyáron a túlmelegedés az üvegfelületek megfelelő árnyékolásával csökkenthető. Naptér alkalmazásával az éves fűtési energia megtakarítás jelentős, de a mi éghajlati körülményeink között csak legfeljebb 30% lehet.

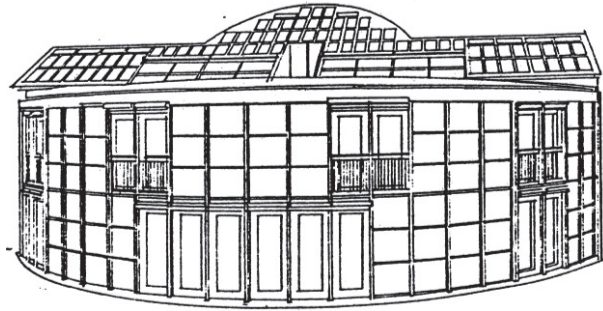


15. ábra: Modern „napház” vázlata

A fenti, szoláris építészeti megoldások lényegében csak passzív elemeket tartalmaznak. Újabban egyre inkább tért hódít az integrált szemlélet, vagyis a passzív elemek kiegészítése aktív elemekkel (napelem, napkollektor) annak érdekében, hogy az épület hagyományos energiaigényét minimálisra, vagy éppen nullára csökkentsék. (A korábban tárgyalt kísérleti MIT-napházak ennek a törekvésnek voltak az előfutárai.) Az autonóm napházak egyik sikeres modellje a freiburgi autonóm napház, amely semmilyen külső energiaellátást nem igényel (16. ábra).

Az itt 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 m² transzparens hőszigetelésű kollektor, 30 m² felületű napelem-mező, amely az áramszolgáltatás mellett vízbontó készüléket is üzemeltet. Az elektromos energia egy

részét 48 db akkumulátorban tárolják. A vízbontással nyert hidrogént a ház fűtésére, valamint a konyhai tűzhely energia-ellátására használják.



16. ábra: A freiburgi autonóm napház

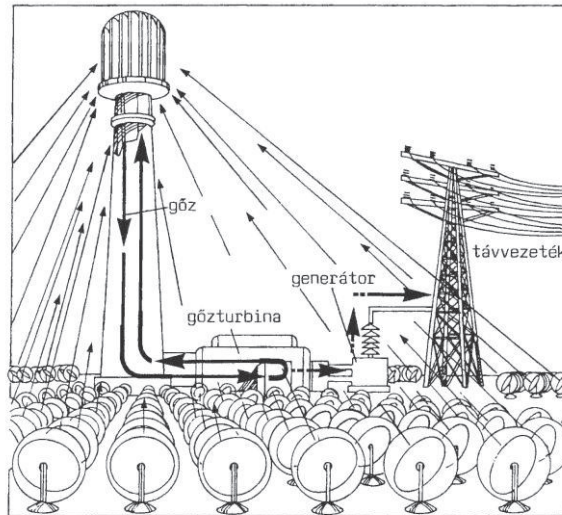
Naperőművek

A napenergia erőmű-léptékű hasznosítása – Frank Shuman megvalósulatlan álma – az utóbbi évtizedekben gigantikus méretű létesítményekben öltött testet, először Amerikában, majd Európában is. A sort a kaliforniai Solar One nyitotta meg, amelyet többszöri bővítés után végül 100MW teljesítményre építettek ki (17. ábra).



17. ábra: A Solar One naperőmű Kaliforniában

A kazán egy 76 m magas torony tetején áll, erre fókuszálja a napsugarakat 1800 külön mozgatható, egyenként 40 m²-es tükör (heliosztát), ezek számítógép-vezérléssel állnak be mindig a legkedvezőbb irányba. A helio-sztátos erőművek általános működési vázlatát a 18. ábrán mutatjuk be.



18. ábra: A heliosztátos naperőművek működése

A naperőművek másik típusa egymással összekapcsolt parabola-vályú alakú (vonalfókuszos) tükörrendszerrel gyűjti össze a Nap energiáját. (Ezek előképe Frank Shuman 100 évvel korábbi vályú-kollektoros erőműve.) Az úszómedence-méretű parabolatükrök (19. ábra) fókuszvonalá ban rögzített csövön 400–600°C hőmérsékletű szintetikus termo-olaj, vagy olvasztott só áramlik az erőmű (20. ábra) központi kazánjába, majd az ott fejlesztett gőzzel turbinákat hajtanak meg. A legnagyobb naperőművek, amelyek elektromos teljesítménye ma már a 200–400 kW-ot is eléri, mind vonalfókuszos rendszerben működnek.



19. ábra: Egy modern parabola-vályú távlati képe



20. ábra: Egy parabola-vályús (vonalfókuszos) erőmű távlati képe

Záró megjegyzések

Rövid történeti áttekintésünkből kitűnik, hogy időről időre, mikor az adott történeti korszak meghatározó energiaforrásai fogyatkozni látszottak, az emberiség újra, meg újra visszatért a napenergia hasznosításához. Amikor megjelentek az újonnan felfedezett, bőségesen rendelkezésre álló energiaforrások (először a szén, majd az olaj, még később a földgáz – vagyis a fosszilis, vagy „ősmaradványi” tüzelőanyagok egymás utáni generációi), akkor a napenergia nyomban „gazdaságtalanná” vált és az érdeklődés elfordult tőle. Így történt pl. Floridában és Kaliforniában a 20. sz. elején, amikor évtizedeken át siker-ágazat volt a napkollektor ipar, de később az olcsó olaj és a földgáz háttérbe szorította. Voltak olyan korszakok, amikor nem találtak alternatív energiaforrást, pl. az ókori Görögországban, vagy Rómában, ekkor évszázadokon át virágzott a szoláris építészet.

A jelenlegi világhelyzet sok tekintetben emlékeztet a görög-római idősakra. A domináns (fosszilis) tüzelőanyagok egyre fogyatkoznak és egyre drágábbak, a szóba jövő alternatív energiaforrások pedig korlátozottak. Az atomenergia, melyet alig néhány évtizede (az ún. „atomkorszak” kezdeti eufóriájában) az energiaprobléma végleges megoldásának vélték, újra meg újra intenzív kritikai értékelések keresztüzébe kerül (Csernobil és Fukusima csak a legneuralgikusabb pontokat jelzik). A szoláris építészet és -technika több mint 2000 éve folyamatosan fejlődik. A jelenlegi műszaki megoldások hosszú időszak fejlődésének eredményei és az új anyagok és technológiák bevezetése révén ma is állandóan fejlődnek.

Tény, hogy a napenergia sűrűsége igen kicsi; hasznosításához nagy területről kell költséges berendezésekkel összegyűjteni, kis helyre koncentrálni az energiát. Ezért a napenergia ma még drága; a napelemekkel és a naperőművekkel előállított elektromos energia ára többszöröse a hagyományosnak. A növekvő energiaigény kielégítésének jelenlegi módja azonban hosszú távon tarthatatlan. A fosszilis tüzelőanyagok készletei rohamosan fogynak, emellett elégetésük közismerten súlyos és egyre növekvő globális környezeti problémákat idézett elő.

Hosszabb időtávra (200–300 év) tekintve, az emberiségnek már valószínűleg csak a napenergia áll majd rendelkezésre (ide értjük a közvetett napenergia hasznosítást is, mint a szél-, a hullám- a biomassza-energiát, a bio-üzemanyagokat és – kisebb mértékben – a sokat vitatott vízenergiát is). Az előző generációk sikerei és kudarcai útikalauzként szolgálhatnak a napenergia-hasznosítás fejlesztésében. 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 erővel sugárzott akkor is, amikor Észak-Afrika erdőit teljesen kiirtották, és változatlan erővel sugároz majd akkor is, ha már az összes olaj- és gázkutak kiapadtak. Akkor talán valóra válhat Kendall és Nadis nagyszerű víziója a napsugaras emberi civilizációról: a napházakról, a napvárosokról és a napenergiával hajtott járművekről. A nehézségek is nyilvánvalóak azonban: a meglévő energiaellátó rendszereket teljesen át kell alakítani, ez pedig hosszú időt és rengeteg kutatás-fejlesztési munkát igényel.

A probléma komplexitását találóan fejezi ki az USA Tudományos Akadémiájának állásfoglalása: „Fontos annak hangsúlyozása, hogy az energiaprobléma nem a források 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 átmenetet a fokozatosan kimerülő olaj- és gázkészletek felől az új technológiák felé, amelyek lehetőségeit, gazdasági vonatkozásait jelenleg 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 átmenet rendben, zökkenőmentesen megtörténjen.”

Felhasznált irodalom

1. Barótfi, I. (szerk.): Energia felhasználói kézikönyv. KÖTECH, Budapest, 1993.
2. Butti, K. & Perlin, J.: A Golden Thread. (2500 years of solar architecture and technology.) Marion-Boyers, London-Boston, 1980.
3. Imre, L.-Bitai, A. – Hecker, G.: Megújuló erőforrások. Felsőfokú oktatási segédlet. BMGE Energetika Tanszék, Budapest, 2000.
4. Imre, L. & Varga, P.: Napenergia aktív hőhasznosítás. Oktatási segédlet. Magyar Napenergia Társaság, Budapest, 1997.

5. IPCC SRREN, 2011: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, and 10 co-editors], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1544 p.
6. Kreith, F. & West, R.E.: CRC Handbook of Energy Efficiency. CRC Press, New York, London, 1997.
7. Szűcs, M.: Szoláris bioklimatikus építészet. A napenergia építészeti hasznosítása. Oktatási segédlet és gyakorlati útmutató. Magyar Napenergia Társaság, Budapest, 2000.
8. Vajda, Gy.: Energiaforrások. Ezredforduló – Stratégiai Kutatások a Magyar Tudományos Akadémián. 1998/6.
9. Zöld, A.: Energiatudatos építészet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999.