

se az IB-re. Bár ezt a koncepciót több kutatócsoport próbálta megvalósítani, egyelőre nincs IB-alapú napelemcella, pedig elvileg olcsóbbak lehetnek a tandem napelemcelláknál.

A (2) és (3) feltételeket meghaladó lehetséges fizikai folyamatok egyike az ún. töltéshordozó-többszörözés magas energiájú foton gerjesztésénél, amelyet az *i.b ábra* magyaráz. Ennek az a lényege, hogy bizonyos anyagokban az elektronok közötti Coulomb-kölcsönhatás olyan erős lehet, hogy a magas energiájú elektron-lyuk pár nem fűti a napelemet, hanem helyette egy új, alacsonyabb energiájú elektron-lyuk párt hoz létre. Ez a jelenség elvileg felléphet hagyományos félvezetőkben, de ott elhanyagolhatóan kicsi a valószínűsége. *Arthur J. Nozik* jóslta meg 2001-ben, hogy félvezető NP-ben az elektronállapotok „bezáródnak”, és a bezárt elektronok között a Coulomb-kölcsönhatás annyira felerősödhet, hogy a töltéshordozó-többszörözés valószínűsége meghaladja a fononok által végigvitt lecsengés valószínűségét (hőként való disszipáció). Ez az elméleti jóslat felkeltette a kísérleti kutatók figyelmét, ennek köszönhetően az elmúlt évtized intenzív kutatásai megerősítették, hogy ez a jelenség valóban fellép bizonyos félvezető NP-kben (például ólom-szelenidben). 2011-ben publikálták a bizonyítékot arra, hogy egy adott gerjesztőenergia mellett egy fotonnal egynél több elektront lehet kinyerni egy félvezető NP-kből álló napelemcellában. Emellett *Zimányi Gergely* és munkatársai pontos kvantummechanikai számításokkal megjósolták, hogy kolloid kadmium-szelenid (CdSe) nanokristályok felületét megfelelően kezelve IB-t tartalmazó napelemcellát lehet létrehozni egyetlen félvezető anyagot, CdSe-t használva. Az IB-sáv az alacsony energiájú napfényt tudná jól hasznosítani, míg a magas energiájú napfényt a

töltéshordozó-többszörözés jelensége révén lehetne az energiatermelésbe hatékonyan bevonni. A megjósolt hatásfok eléri az 55%-ot, amelyet még egyetlen napelemtípussal sem sikerült megközelíteni, beleértve a koncentrátorok használatát. Hozzá kell tenni, hogy félvezető nanokristályok felület/térfogat aránya meglehetősen nagy, de a felületi struktúrákat egyelőre nem lehet olyan nagy pontossággal szabályozni, amekkora szükséges lenne a hatékony működéshez. Emellett a kolloid-alapú nanokristályos napelemek esetén a töltéshordozók hatékony szétválasztása és kivetése komoly fejlesztési feladat. Emiatt érdemes alternatív anyagokat is figyelembe venni a töltéshordozó-többszörözés jelenség előidézésére. *Efthimios Manousakis* javasolta azt, hogy az ún. erősen korrelált elektronrendszerű anyagokat próbáljuk erre használni. Az ilyen anyagokban bizonyos elektronpályák között erős Coulomb-kölcsönhatás lép fel. A vanádium-dioxid egy releváns módosulatára sikerült pontos számításokkal igazolni *Eric Coulter* és e tanulmány szerzőjének közreműködésével, hogy a napfény energiájának tartományában a töltéshordozó-többszörözés valószínűsége valóban meghaladja a fononok általi lecsengés valószínűségét. Az első kísérletek hasonló típusú anyagokkal már elindultak, és ez az egyik nagyon ígéretes irányzat lehet a teljesen új anyagok által segített nagy hatásfokú napelemek előállítására területén. E közlemény és a többi kutatás referenciáit a szerző kutatócsoportjának honlapján, http://wiki.kfki.hu/nano/Research:Solar_cell címen lehet megtalálni.

Kulcsszavak: *CIGS-napelem, tandem napelemcellák, perovszkit napelemek, félvezető nanorészecskék, kvantumpöttyök, töltéshordozó-többszörözés, VO₂, erősen korrelált elektronrendszer*

A NAPENERGIA PASSZÍV HASZNOSÍTÁSA ÉPÜLETEKBEN

Zöld András

a műszaki tudomány doktora, ny. egyetemi tanár
profzold@yahoo.fr
Debreceni Egyetem Épületgépészeti és

Kerekes Attila

tanszéki mérnök, doktorandusz
kerkesa@eng.unideb.hu
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék

Fogalmi meghatározás

A szoláris termikus rendszerek három alapvető funkciója: az energia begyűjtése, tárolása és célba juttatása. A rendszer passzív, ha mindhárom funkciót maguk az épületek, azok szerkezetei látják el.

Alapesetben az energiagyűjtő elem az ablak, az energia felvételére, tárolására, leadására az épület külső és belső szerkezetei szolgálnak. A működés lényege az *üvegházhatás*: az ablak üvegezése (típustól függően) a nap-sugárzással érkező látható fény és rövidhullámú infravörös sugárzás 50–85%-át átengedi. Ugyanakkor a belső felületek által kibocsátott hosszúhullámú infravörös sugárzás tartományában áteresztőképessége zéró. Ilyen értelemben minden épület, amelynek van ablaka, passzív rendszer – a kérdés „csak” az, hogy mennyire jó. A szó „klasszikus” értelmében vett szoláris épületekre jó példák a Krisztus előtti évezredektől a mai napig találhatók.

Vannak speciális megoldások is: üvegházak, energiagyűjtő falak – a működés lényege minden esetben az üvegházhatás.

A szoláris energia minél jobb passzív hasznosítását célzó, a szó klasszikus értelmében vett szoláris épületek nem keverendők össze • az olykor szolárisnak nevezett olyan épületekkel, amelyeknél a hasznosítás aktív

(fotovillamos, termikus) gépészeti rendszerekkel történik;

• az ún. passzívházakkal: ezt az önként vállalható minősítést minden olyan épület megkaphatja, amely két energiafogyasztási és egy légközműködési küszöbértéknek megfelelő, a napenergia-hasznosítástól függetlenül.

A passzív szoláris rendszerek értelemszerűen az épületek fűtési energiaigénye egy részének fedezésére alkalmasak. Nem mellékesen alkalmasak az épületek természetes szellőzésének serkentésére is, aminek a nyári komfortviszonyok javítása, a gépi hűtés mellőzhetősége vagy energiaigényének csökkentése szempontjából van nagy jelentősége. Természetesen a passzív rendszerek nem alkalmasak a melegvízellátás energiaigényének fedezésére vagy elektromos energia termelésére.

Minden szoláris rendszer jó működésének feltétele az energiagyűjtő felületek (ablak, kollektor, napelem) jó benapozása, árnyéktmentessége, különösen a téli hónapokban.

A passzív és aktív szoláris rendszerek összehasonlítása

A passzív rendszerek talán legfontosabb sajátossága, hogy fizikai élettartamuk megegyezik az épület fizikai élettartamával, hiszen

maga az épület a rendszer. Így csak az egyébként is szokásos épületfenntartási munkák igényével kell számolni. Az aktív rendszerek fizikai élettartama harmada-negyede az épületének; utóbbi fizikai élettartamán belül az aktív rendszerek többszöri cseréjére van szükség, ez természetesen a gyártás anyag- és energiaigényének, az ezzel járó kibocsátásnak többszörözését, valamint a bontás, újrahasznosítás, ártalmatlanítás környezeti gondjait is jelenti.

A passzív szoláris rendszerek nem igényelnek külső energiaforrást. Az aktív szoláris termikus rendszerek működéséhez (a szivattyúk hajtásához) elektromos energiára van szükség.

A passzív szoláris rendszerek külső hálózattól függetlenek. A fotovillamos rendszerek működése az országos hálózatra való csatlakozás műszaki, adminisztratív és pénzügyi feltételeitől függ.

A passzív hasznosítás potenciálja

Hazánkban a téli félévben egységnyi vízszintes felületre átlagosan 400 kWh/m² szoláris energia jut. Az épület egységnyi alapterületre jutó éves hőigénye meglévő régebbi épületekben 300–400 kWh/m², a jelenlegi követelményeknek megfelelő épületekben 50–100 kWh/m², azaz a „kínálat” eléri vagy meghaladja a „keresletet” – még akkor is, ha a nyereség nem hasznosul teljes egészében a hőtároló képesség korlátai miatt.

A magyarországi épületállomány energiaigénye az ország energiafogyasztásának közel 40%-át teszi ki. Miután az épületek túlnyomó részének vannak ablakai, valamilyen szinten hasznosítják is a passzív szoláris nyereséget. Ennek mértéke adatok hiányában nem számítható, jelentőségének megítélése végett ezért egy egyszerű családi ház nyolc változa-

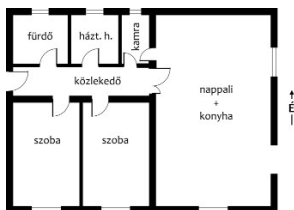
tára elvégzett részletes szimuláció eredményeit tekintjük át.

Egy példaépület

A példaépület alaprajzát az 1. ábra mutatja. Egyszerű családi házról van szó, amely nélkülöz minden építészeti különbséget, szerkezeti, anyagai a mindenkori piaci kínálatnak megfelelőek. Az épület egyetlen „szoláris” tulajdonsága, hogy ablakainak zöme a déli homlokzaton van – ha nincs egyéb kényszerítő körülmény, *szoláris tudatosság* nélkül is minden építész így tájolója az épületet.

A változatok közül négy hagyományos, négy a mai követelményeknek megfelelően jól hőszigetelt. A hagyományos változat falai 40–50 évvel ezelőtti téglá és falazóblokk anyagúak, a jó hőszigetelésű változat falai gázbeton vagy porózus falazóblokkokból állnak, a külső oldalon elhelyezett hőszigetelő réteggel. A padló védő- és aljzatbeton közti hőszigetelésű, parketta és padlócsenpe, illetve linóleumburkolattal. Az épület alapincizetlen. A fűtésszerkezet vasbeton, felül elhelyezett hőszigeteléssel. A padlás fűtetlen, a tető keletnyugati gerincű pikkelyfedésű nyeregterű. A belső falak válaszfallapokból készülnek, illetve szerelt kétrétegű gipszkarton szerkezetűek.

Mind a két kategóriában kis, illetve nagy üvegezési arányú (üvegfelület/homlokzathé-



1. ábra • A példaépület alaprajza

lület) további változatokat elemeztünk. Az arányok nem extrémek. Az üvegezés a hagyományos változatokban kettős, a hőszigetelt változatban kétrétegű hőszigetelő üveg.

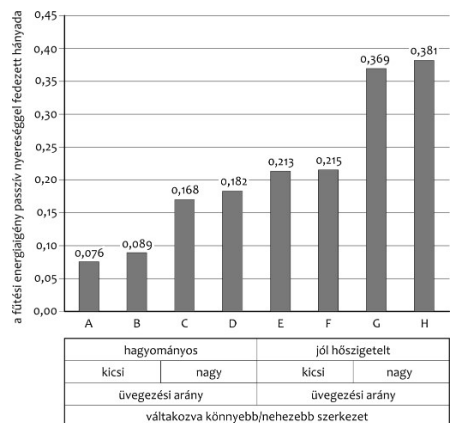
A hőtároló képesség befolyásolja a sugárzási nyereség hasznosulását. Minden eddig említett változatból két-két további alváltozatot vizsgáltunk, kisebb és nagyobb tömegű szerkezetekkel. Itt elsősorban a válaszfalak és a padlóburkolatok különbözőségének van szerepe, továbbá a könnyű külső falaknak, amelyek vázszerkezetre rögzített felületképző rétegek közötti hőszigetelésből állnak. Az egyes változatok szerkezeit és azok hőtechnikai adatait az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A számítási eredményeket a 2. ábrán foglaltuk össze. Általánosságban megállapítható, hogy a hasznosított passzív szoláris nyereség a fűtési energiaigény jelentős hányadát fedezi. A hagyományos épületek esetében a száza-

lékos arány szerénynek tűnik, de a rossz hőszigetelés miatt abszolút értékek tekintve ez tetemes tétel: összemérhető a jól hőszigetelt változatra kapott hasznosított nyereség értékével, ami a kisebb hővesztesség miatt százalékosan persze jelentősebb. Ez azért is hangsúlyozandó, mert a figyelem az egyre szigorúbb hőszigetelési követelményekre mint megoldásra összpontosult, annak „árnyékában” a passzív szoláris nyereség szerepe mintha mellékessé vált volna. Kétségtelen, hogy emögött szakmai érvek is voltak. Az egyik az, hogy a sugárzási energia kínálata többszörösen meghaladja a keresletet, vagyis az alacsony fűtési energiaigényt, a felesleg pedig nyilván nem hasznosul. A másik ok az, hogy a jó hőszigetelő képességű üvegezők sugárzásátbocsátási tényezője lényegesen kisebb, mint a hagyományos üvegezésé. E tényezők ellenére a hasznosított passzív sugárzási nyereség

		A	B	C	D	E	F	G	H
jellemzők	U _{fal} (W/m ² K)	1,47	1,47	1,47	1,47	0,18	0,18	0,18	0,18
	U _{padló} (W/m ² K)	1,35	1,35	1,35	1,35	0,58	0,58	0,58	0,58
	U _{födém} (W/m ² K)	1,02	1,02	1,02	1,02	0,14	0,14	0,14	0,14
	U _{üvegezés} (W/m ² K)	2,79	2,79	2,79	2,79	1,06	1,06	1,06	1,06
	g sugárzásátbocsátás	0,765	0,765	0,765	0,765	0,579	0,579	0,579	0,579
	üvegezési arány*	0,101	0,101	0,208	0,208	0,101	0,208	0,208	0,101
szerkezetek	külső fal	K	N	K	N	K	N	K	N
	válaszfal	K	N	K	N	K	N	K	N
	padló	LI	P	LI	P	LI	P	LI	P
	födém	K	B	K	B	K	B	K	B
	ablak	D	D	D	D	H	H	H	H
	bejárati ajtó	F	F	F	F	H	H	H	H

1. táblázat • *üvegfelület m²/homlokzathelület m² • U: hőátbocsátási tényező, egységnyi felületen időegység alatt egységnyi hőmérséklet-különbség mellett kialakuló hőáram. • K – könnyű, N – nehéz, LI – linóleum, P – parketta és kerámiaburkolat, B – vasbeton, D – kapcsológerebtkos ablak, kettős üvegezés, H – hőszigetelő üvegezés, hőszigetelt ajtó, F – faszerkezetű ajtó.



2. ábra • A fűtési energiaigény passzív nyereséggel fedezett hányada

szerpe – mind az abszolút értéket, mind a százalékos arányt tekintve – jelentős.

A jobb hőátviteli képesség a várakozásnak megfelelően a hasznosítást javítja. Meglepőnek tűnhet, hogy a nagyobb üvegezési arány – ami az épület egészének rosszabb hőszigetelő képességével jár – a fűtési energiafogyasztás csökkenését eredményezi.

Fogyasztás vagy teljesítmény?

Az üvegezés hőátbocsátási tényezője lényegesen magasabb, mint a falaké, első pillanatban tehát olybá tűnik, hogy az üvegezési arány növelése a fűtési energiaigényt növeli. Az érem másik oldala azonban az, hogy az üvegezésen át jelentős sugárzási nyereség jut az épületbe: ennek hatását a 2. ábra egyértelműen mutatja. A hatást vizsgálандó finomabb „felbontásban” is elemeztük az egyik, jó hőszigetelésű helyiség éves fűtési energiaigényét az

üvegezési arány függvényében. Az eredmények azt sugallják, hogy egy bizonyos határig (a vizsgált esetben ez 40% körül van, a határ a helyiség számos paraméterétől függ) az üvegezési arány növelése érdemben csökkenti az éves fűtési energiaigényt.

Ez a tapasztalat egy tervezési és szabályozási alapkérdést is felvet. A szabályozások (nemzeti és uniós szinten) az épület elemeire vonatkozóan olyan követelményeket tartalmaznak, amelyek a hővesztesség (s ezzel a fűtési rendszer csúcsteljesítményének) minimalizálását célozzák. Ugyanakkor a követelményrendszer csúcán a fajlagos éves primer energiafogyasztás van – ami a klímavédelem, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése szempontjából teljesen érthető. Ebből következően a kisebb fogyasztás „ára” a nagyobb teljesítmény, amelynek kihasználására viszont évente csak néhány napig van szükség.

A szoláris épület látható jegyei

Számos építészeti lehetőség kínálkozik a passzív sugárzási nyereség jó hasznosítására. A 3. ábrán bemutatott példa a déli homlokzat elé helyezett üvegházszal és az arra nagy ablakokkal, franciaerkélyekkel nyíló lakószobákkal hangsúlyosan hirdeti a „szolárház” jellegét.

A „szoláris” jelleg talán kevésbé kézenfekvő a 4. ábrán bemutatott példa esetében. A lakószobák ablakai és üvegezett loggiái a – törött vonal alaprajzú – déli homlokzaton vannak. Az északi homlokzaton csak az „alárendelt” helyiségek (konyha, fürdő, közlekedő) kisszámú és kisméretű ablakai vannak, a keleti és nyugati homlokzat ablaktalan. A törött vonalú alaprajz okán a déli homlokzat hosszabb (ezáltal nagyobb felületű), mint az északi.

Számos olyan részlet van, amelyek – noha első látásra nem tűnnek túl jelentősnek – lényegesen befolyásolják a passzív szoláris nyereséget. Ennek egyik példája a külső fal vastagsága és az abban elhelyezett ablak kávjának mérete.

A probléma lényegét az 5. ábra illusztrálja. A jelölt folt példaként azt mutatja, hogy a fal belső síkján mekkora felületen lép be a direkt sugárnyaláb a helyiségbe – a falvastagság 25, illetve 50 cm. Az előző csak könnyűszerkezetes épületek esetében reális méret, míg az 50–60 cm vastagság egy teherhordó réteg és a mai követelményeknek megfelelő hőszigetelés esetében jellemző.

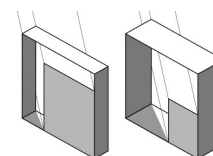
A belépő keresztmetszet természetesen változik a Nap magassági és azimutszögének függvényében. A belépő keresztmetszet és a külső síkon mért ablaknyílás aránya e szögek függvényében számítható. Az arányt ábrázoló görbesereget a hengeres nappálya-diagrammal fedésbe hozva a dátum és a helyi zónaidő



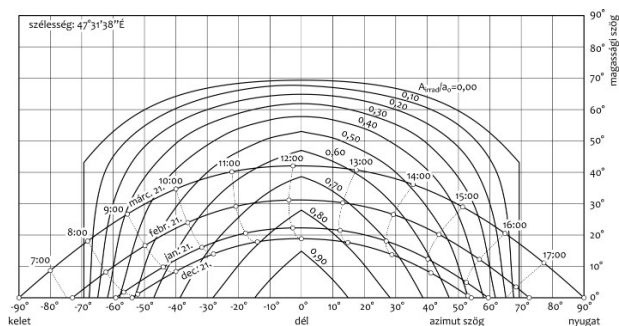
3. ábra • „Hangsúlyosan szoláris” családi ház (DOMUS-terv)



4. ábra • Ikerház Rottweilben: a szoláris tervezési filozófiáról a déli és az északi homlokzat üvegezési aránya árulkodik.



5. ábra • Az ablakkáva mélységétől függ, hogy mekkora felületen jut a direkt sugárnyaláb a helyiségbe. (A felületet a belső falsíkon mérjük, a falvastagságok 25 és 50 cm, az ablak mérete 150×150 cm.)



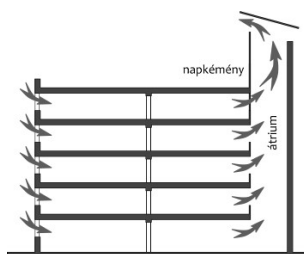
6. ábra • A nappályadiagrammal fedésbe hozott vonalakról leolvasható, hogy az év mely napjának mely óráiban hányadára csökken a direkt sugárnyaláb „belépési felülete” az ablak névleges méretéhez viszonyítva (1,5x1,5 m méretű ablak 50 cm vastag falban, déli tájolás).

függvényében megállapítható, hogy mikor milyen arányban csökken a belépő keresztmetszet (6. ábra).

Hasonló kérdés merül fel a felső feltérből (az égboltról) érkező diffúz sugárzással kapcsolatban is. A nyílás belső falsíkon felvett középpontjából kitekintve az ablakkáva az égbolt bizonyos térszög tartományait kitakarja, ezekből nem jut diffúz sugárzás a helyiségbe.

A passzív szoláris nyereség hasznosítása nyáron

A passzív sugárzási nyereség nemcsak fedezi a fűtési energiaigény egy részét, de a nyári komfortfeltételek javítására is hasznosítható a természetes szellőzés serkentésével, elkerülhetővé téve a gépi hűtés alkalmazását vagy legalábbis jelentősen csökkentve energiaigényét.



7 – 8. ábra • A napkémény működési elve, és egy megvalósult példája (BRE épület)

A sugárzási energia elnyelése ebben az esetben az ún. napkéményben (*solar chimney*) történik. Ez egy kürtöszzerű tér, az emberek tartózkodási zónáján kívül, amely a nyereség következtében felmelegszik. A magas hőmérséklet és a geodetikus magasságkülönbség jelentős felhajtóerőt eredményez, amelynek következtében az épületből a környezetbe jelentős légáram távozik – helyére az ablakon, szellőzőnyílásokon át friss levegő jut az épületbe (7–8. ábra). (Megjegyzendő, hogy solar chimney megnevezést használnak olyan nagyméretű, toronyszerű önálló építményekre is, amelyekben a felszálló meleg levegő függőleges tengelyű szélurbinát és azzal hajtott generátort forgat.)

Az uniós és a nemzeti szabályozás

A klímavédelem érdekében az Európai Bizottság célul tűzte ki, sőt 2020-tól kötelezővé tette a „közel nulla energiaigényű” épületek létesítését. A kérdést két uniós irányelv érinti. A követelményrendszerek koncepcióját megfogalmazó irányelv (EPDB Recast, 2010)

egyik ellentmondását már említettük: noha a legfontosabb előírás az éves fajlagos primer energiaigény korlátozása, az egyes szerkezeti elemekre vonatkozó követelmények nem a fogyasztás, hanem a teljesítmény mérséklését célozzák. Egy másik komoly ellentmondás az, hogy – teljesen feleslegesen – a fajlagos éves primer energiaigény korlátozásának módját is előírja: az energiaigény „jelentős hányadát” megújuló energiával kell fedezni. Ezek között azonban a passzív sugárzási nyereség hasznosítása nem szerepel. Ez a helyzet a másik irányelv (Renewable Energy Directive, 2009) megfogalmazása miatt alakult ki, amely szerint a hasznosított sugárzási nyereség nem a fogyasztás egy részét fedezi, hanem az igényeket csökkentő tétel, és mint ilyen, nem számolható el kétszer. Az uniós irányelvek ellentmondásai az alakulóban lévő és erősen vitatott nemzeti szabályozásokra is rányomják bélyegüket.

Kulcsszavak: *passzív szoláris nyereség, benapozás, üvegtorony, épületenergetikai szabályozás*

HIVATKOZÁSOK

EPBD recast (2010): Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast). *Official Journal of the European Union* • <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031>

Renewable Energy Directive (2009): *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources and Amending and Subsequently Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/55/EC*. • <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028>