



Passzív napenergia-hasznosítás – energiagyűjtő falak



Nagy Balázs

szerkezet-
építőmérnök MSc,
épületenergetikai
szakmérnök,
doktorandusz
(BME Építőanyagok és
Magasépítés Tanszék)

A következő oldalakon a passzív napenergia-hasznosítás témaköreit járjuk körbe, az alapoktól kezdve egészen a tervezési és építési kérdésekig. A sorozat első részében a passzív napenergia-hasznosítás bemutatása után a legelterjedtebb indirekt sugárzáshasznosító szerkezetekkel, az immáron az energetikai rendeltünk költségoptimalizált követelményszintre vonatkozó követelményértékeiben is nevesített tömegfalakkal és Trombe-falakkal foglalkozunk.

Aktív vagy passzív?

Ahhoz, hogy az épület szoláris fűtési rendszerét passzívnek nevezhessük, a rendszer három fő funkciójának, az energetikai mérlegben szerepet játszó sugárzási energia begyűjtésének, tárolásának, majd célba juttatásának épületgépészeti elemek nélkül, csupán az épület szerkezeti elemei segítségével kell hogy megtörténjen. Passzív rendszernek tekinthetők tehát az épületeink üvegezései, a hagyományos energiagyűjtő falak vagy a napterek. Ha a sugárzási energia hasznosítása közben épületgépészeti elemeket használunk az előbbieken említett hármas funkciórendszer megvalósítására, akkor aktív rendszerrel kell beszélnünk. Aktív napenergia-hasznosító rendszerek közé tartoznak a napelemek, napkollektorok. A passzív rendszerek különféle ventilációs szerkezetekkel vagy légcatorna-hálózatokkal kiegészülve hibrid rendszert alkotnak, amennyiben a ventiláció nem természetes úton, hanem segédenergia-igénnyel rendelkező eszközök segítségével valósul meg. Ezt az igényt fedezhetjük természetesen napenergiával is.

Direkt, indirekt és izolált passzív napenergia-hasznosítás

A passzív napenergia-hasznosítás során megkülönböztetünk direkt, indirekt, illetve izolált rendszereket. A direkt rendszerek esetében a sugárzás az üvegezésen keresztül közvetlenül a felmelegíteni kívánt helyiségbe jut, majd annak opak felületű határoló szerkezeteiben tárolódik el, a tárolt energiát pedig a belső felületek adják le. A folyamat szabályozására mindösszesen az üvegezett felület árnyékolásával vagy takarásával (redőny, zsalúzia stb.) van lehetőség. Az üvegezésen átjutó energiamennyiségét befolyásolja többek között a transzparens felület benapozottsága, valamint a sugárzásátbocsátási képessége is. Az

eltárolható energia mennyisége nagyban függ a helyiség hőtároló tömegétől, berendezéseitől. Az épületeken lévő külső üvegezett nyílászárók tehát direkt, passzív szoláris rendszereknek számítanak.

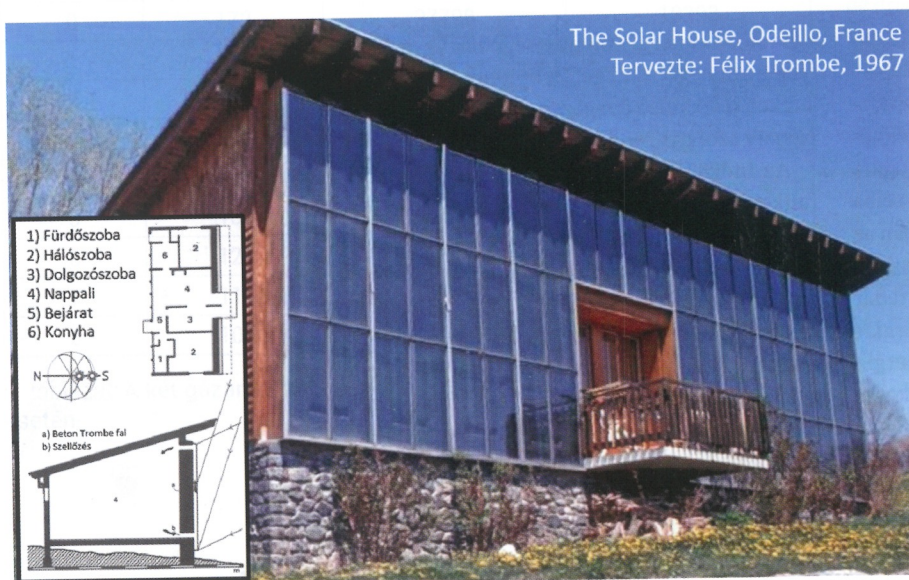
Az indirekt és izolált rendszereknél a három fő funkció térben és időben szétválik. A sugárzási energia elnyelése a fűtendő helyiségen kívül, míg a tárolt energia leadása már a helyiségen belül történik. Indirekt rendszerek esetében az energia begyűjtésére, tárolására és célba juttatására különféle egybeépített szerkezeteket használunk, melyek közül az energiagyűjtő tömegfalak, illetve a gravitációsan átszellőztetett Trombe-falak a legelterjedtebbek. A begyűjtött energia ez esetben a szerkezeten belüli hővezetéssel, majd sugárzással, szellőztetett rendszerek esetén pedig ezeken felül továbbá természetes légáramlással jut a felmelegítendő térbe. Izolált rendszerekről akkor beszélhetünk, ha a passzív napenergia-hasznosítás a fűtött tértől elkülönítve történik. Tipikus példa a fűtetlen télikertek, napterek, illetve ide sorolhatóak a beüvegezett panelerkélyek és a fűtetlen, üvegezett fallal rendelkező lépcsőházak is. A nap sugárzási energiája a fűtetlen téren keresztül jut a fűtött helyiségekbe azok nyílásain vagy szerkezetein keresztül. Továbbá a nap által melegített tér mérsékli a fűtött és fűtetlen helyiségeket határoló szerkezetek hőveszteségeit is. A direkt rendszerekkel egyetemben, az indirekt és izolált rendszereknél is nagyon hangsúlyos azok benapozottsága, valamint a szerkezetek hőtároló kapacitása. Nagyon fontos azonban a nyári túlmelegedés elkerülése végett, hogy a passzív napenergia-hasznosító rendszerek megfelelő árnyékolását és átszellőztethetőségét biztosítsuk. A nap elleni védelmet általában konzolokkal és a szerkezetbe épített árnyékolókkal oldják meg, melyek nem csupán a nem kívánt napsugárzás ellen védenek, de legtöbb esetben a szerkezet hővezetési ellenállását is növelik, ezáltal az energiagyűjtő szerkezet hőveszteségeit csökkentik.

A cikk további részében indirekt napenergia-hasznosító szerkezetekkel foglalkozunk.



Energiagyűjtő falak története

A hagyományos energiagyűjtő falak alapján képező szerkezetet Edward S. Morse amerikai zoológus és orientalista 1881-ben védette le az Amerikai Egyesült Államokban a „Lakások felmelegítése és szellőztetése napsugarak segítségével” című szabadalmában. A passzív napenergia-hasznosítással foglalkozó kutatók az energiagyűjtő falak gondolatát azonban a Perzsa-öböl építészetében, az épületek masszív falazatát a külső tértől elválasztó, átszellőztethető, ablakkal ellátott közlekedőfolyósokból eredeztetik [7]. Az energiagyűjtő falakat manapság mégis Félix Trombe francia mérnök nevéhez kötik, aki az 1960-as években Jacques Michel építésszel együtt fejlesztette ki a jelenleg ismét reneszánszába élő gravitációs átszellőztetett energiagyűjtő szolárfalat, melyet Trombe-falnak is nevezünk (1. ábra). Az évek során a szolárfalak számos változata alakult ki, többek között a vízfalak, a fázisváltó falak vagy a transzparenszigetelésű falak, melyek szintén az energiagyűjtő tömegfalak analógiáját követik.



1. ábra: Félix Trombe Napháza [4]

Követelményértékek hagyományos energiagyűjtő falakra

Az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V.24.) TNM rendelet 2015. január 1-jétől új, költségoptimalizált követelményszinteket is tartalmaz az általános követelményszint mellett. A rétegtervi hőátbocsátási tényezőkre vonatkozó követelményértékek között megjelent az eddig nem szabályozott „Hagyományos energiagyűjtő falak (pl. tömegfal, Trombe-fal)”, melyek hőátbocsátási tényezőjének $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ követelményértéket kell teljesítenie. Ezzel a jogszabályalkotó lehetővé tette a hazai viszonyok között működő, hatékony energiagyűjtő falak tervezését és építését az épületenergetikai rendelet szabályozásában is, mivel az általános követelményszinten homlokzati fal besorolás mellett ($U_m = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$) gyakorlatilag nem volt megvalósítható az energiagyűjtő falak koncepciója. Az energiagyűjtő falszerkezetek esetében a nagyobb veszteséget az indirekt sugárzási nyereségek kompenzálják, és optimális tervezés esetén meg is haladják, az a szerkezeten hőveszteségek helyett nyereségeket realizálhatunk.

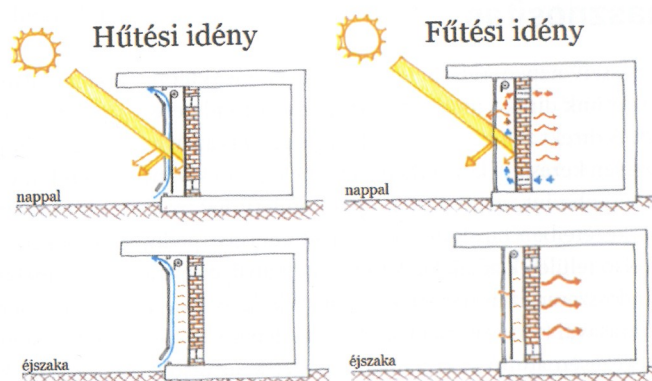
Hagyományos energiagyűjtő falak működése

Az energiagyűjtő fal nagy tömegű, jó hővezető-képességű és jelentős fajlagos hőkapacitással rendelkező külső határoló falból és az elé épített üvegezésből áll. Az üvegezés és a fal között légrés található. A légrésben mozgatható árnyékolószerkezet található, mely lehűtött állapotban kettéosztja azt. A tömegfal külső felületét nagy hőelnyelő képességű, sötét felületképzéssel látják el. Az ablakon átjutó nappalról érkező sugárzás jelentős részét (felhúzott árnyékolószerkezet mellett) ez a felület nyeli el. A nagy hőtároló- és jó hővezető-képességű fal az elnyelt energiát késleltetve juttatja a helyiségbe. Az árnyékoló az éjszakai veszteségáramokat csökkenti télen, nyáron napközben a túlzott felmelegedés ellen véd. Az üvegfelület ellátható kiszellőztetést segítő szárnyakkal, melyeknek elsődleges célja a nyári hővédelem, de a csappantyúk éjszakai zárva tartásának párvédelmi okai is vannak. Amennyiben a szolárfal átszellőztetett, Trombe-féle kivitelű, a szellőzők gravitációs hajtóerővel képesek a

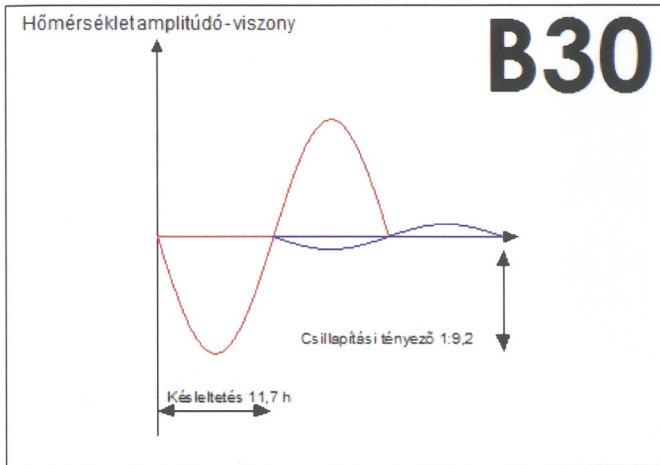
belső levegő segítségével, jóval kisebb késleltetéssel a hőt a fűtendő helyiségbe szállítani. Az átszellőztetett szolárfalak működésének sematikus rajza a 2. ábrán látható.

Az energiagyűjtő falak hatékonysága a helyiség felé a fal hővezetésének és a hőkapacitásának növelésével javítható. Ez azonban a falon keresztül kifelé haladó veszteségek növekedésével is együtt jár, melyet a nyereségektől mentes időszakban hőszigetelő és sugárzást át nem eresztő bevonattal ellátott árnyékoló- és üvegszerkezetekkel csökkenthetünk. A légrés előtti szerkezeteket jó hőszigetelőnek és a rövidhullámú sugárzást átteresztőnek, a hosszú hullámút pedig minél inkább át nem eresztőnek kell kialakítani, míg a légrés utáni tömegfalnak a minél masszívabb, jelentős hőtároló képességgel rendelkező anyagból célszerű készülnie (beton, vasbeton, tömör téglavályog, vízfal). A szellőzőnyílás napfénymentes időszakokban jelentős veszteségeket

produkálhat, azonban a téli időszakban a kialakuló légáramlás miatt gyorsan bejuttatja a fűtött térbe a hőt, és a tömegfalrész miatt éjszaka késleltetéssel adja le a falban eltárolt hőmennyiséget. A levegő keringési sebessége a rendszerben és a szerkezet hatásfoka egymással arányos, számos esetben kiegészítő ventilátor segíti a hatékony

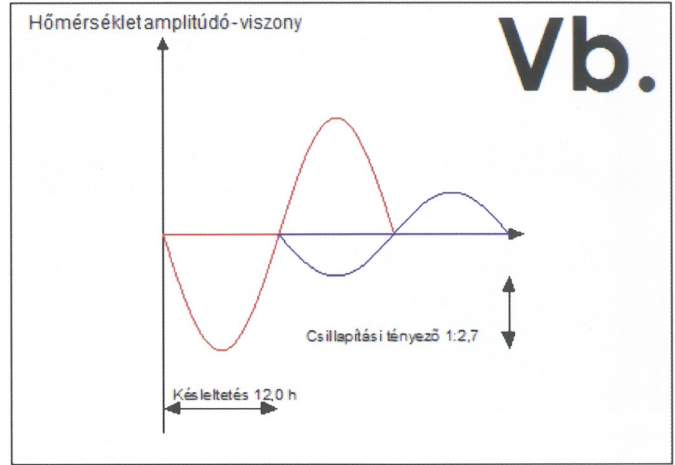


2. ábra: Átszellőztetett energiagyűjtő falak működése [8]



Szerkezetviselkedés: 24 órás periódus

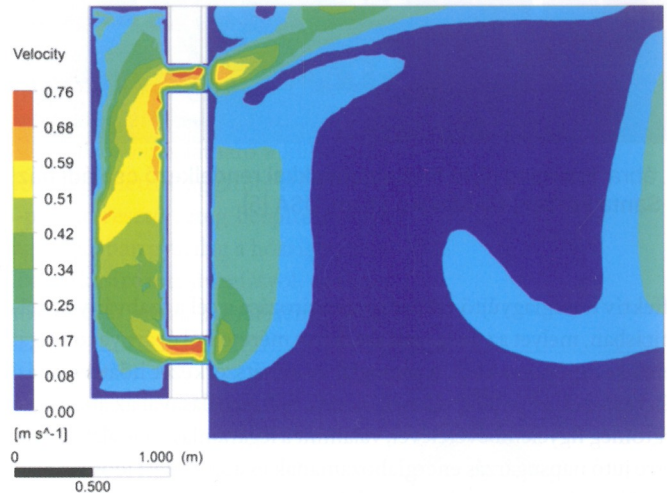
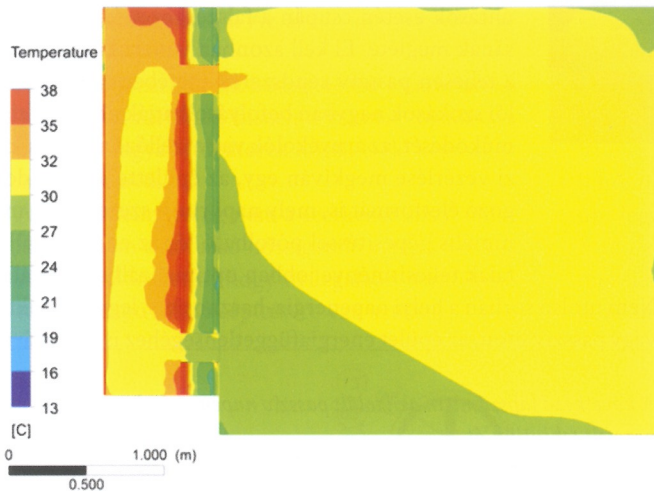
Hőtárolás	Hőmérsékletamplitúdó-viszony (TAV)	Csillapítási tényező	Késleltetés
Külső 121,8 [kg/m ²]	0,108258	$\frac{1}{9,2}$	11,7 [h]
Belső 127,7 [kg/m ²]			



Szerkezetviselkedés: 24 órás periódus

Hőtárolás	Hőmérsékletamplitúdó-viszony (TAV)	Csillapítási tényező	Késleltetés
Külső 229,4 [kg/m ²]	0,360261	$\frac{1}{2,7}$	12,0 [h]
Belső 246,4 [kg/m ²]			

3. ábra: Tömegfalak csillapítása és késleltetése [9]



4. ábra: Trombe-fal CFD szimulációi, balra: hőmérséklet-eloszlás, jobbra: légsebesség [2]

levegőáramoltatást az átszellőztetett energiagyűjtő falakban. A begyűjtött hőmennyiség a tömegfal vastagságától és a szellőző nyílások méretétől függően 50–70%-ban hővezetéssel, késleltetve jutja a begyűjtött energiát a fűtendő térbe [3].

Tervezési és számítási eljárások

A hazai épületenergetikai rendeletben a hagyományos energiagyűjtő falak által termelt többletenergiát a fajlagos hőveszteségtényezőben (q) vehetjük figyelembe részletes számítási módszer alkalmazása esetén. A számítás módszerül a 7/2006 TNM rendelet az MSZ EN ISO 13790:2008 szabványban található eljárást jelöli ki, mely eljárással az átszellőztetett szolárfalak hőveszteségeit és hőnyereségét határozhatjuk meg. A szabvány két fontos egyszerűsítéssel is él, miszerint a szellőzőnyílások automatikusan záródnak, amennyiben a légréteg hidegebb, mint a kondicionált belső tér levegője. Valamint a légáramlás állandó, szabályozott térfogatárammal történik, ha a szolárfal légrétege melegebb, mint a belső tér. A két megkötés teljesen passzív rendszer esetében gyakorlatilag kivitelezhetetlen,

mivel olyan idealizált állapotot feltételez, amely csak hibrid rendszerek esetén megvalósítható. Utóbbi esetben azonban megfelelő megoldást nyújt a számítás. Az átszellőztetésre vonatkozó számítási lépések (pl. az átszellőzésből származó nyereség- és veszteségáramok) elhagyásával a szabványos számítási eljárással az átszellőzés nélküli tömegfalak energiamérlege is meghatározható.

A Trombe-falakra vonatkozó számítások során meghatározzuk a nem átszellőztetett energiagyűjtő fal hőveszteségeit (H_0), mely a szerkezet állandósult állapotában lép fel, valamint a hozzáadott hőveszteségtényezőt (ΔH), mellyel az átszellőztetett légréteg miatti többlethőveszteségeket vesszük figyelembe, többek között a konstans átszellőző légtérfogat, a szoláris nyereségek és a légréteg hőveszteségeinek függvényében. A többlethőveszteséget tehát figyelembe kell vennünk, azonban a 7/2006. TNM rendelet szerinti számításban az energiagyűjtő fal esetében közvetlenül írhatjuk be a falra jellemző ΣAU szorzatot a $H_0 + \Delta H$ összegeként W/K mértékegységben. A rendelet által támasztott rétegtervi hőátbocsátási tényezőre vonatkozó követelményérték a szerkezet hőveszteségéből a felületek ismeretében meghatározható. A nyereségek számítása során egy



5. ábra: Energiagyűjtő földtégla falakkal rendelkező családi ház a Santa Fé-ben, Új-Mexikó állam, USA [6]

effektív energiagyűjtő felület meghatározása a cél a szabványos számításban, melyet az üvegezett szerkezet méreteiből és árnyékoltságát leíró komponensekből, a tömegfal és előtét szerkezet hőátbocsátási tényezőinek és felületi ellenállásainak felhasználásával az átszellőző légtömeg figyelembevételével, valamint a légáramlás ideje alatt a felületre jutó napsugárzás energiahozamának és a számítási időszak alatt a felületre jutó energiahozamnak hányadosa segítségével számíthatunk. A hosszas számítás után megkapott effektív felületet a számítási időszak (pl. a fűtési idény) sugárzási energiahozamával szorozva megkaphatjuk az indirekt sugárzási nyereséget (Q_{sid}), melyet felhasználhatunk a hazai rendelet szerinti számítás során.

A szabványos számítás csak a hőtechnikai jellemzőkre koncentrál, azonban nem foglalkozik a szerkezet egyik legfontosabb jellemzőjével, a késleltetési idővel. Az energiagyűjtő szerkezetek esetében lényeges, hogy a begyűjtött energia $12 \pm 1-2$ órával késleltetve jusson a belső térbe, tehát az esti, éjszakai órákban a fűtés visszacsabályozható legyen, a levegő kondicionálását pedig a tömegfal el tudja látni. Egy 30 cm vastagságú vasbeton vagy B30-ból készülő tömegfal késleltetése közel van az ideális 12 órához (3. ábra), míg a mai hőszigetelő téglafalak esetében ez az érték 18–20 órát is meghaladhat.

A passzív rendszerű Trombe-falak esetén tehát valójában nem ismert, csak becsült a számítási módszer szerinti méretezés, mivel az átszellőző légtér fogatot a természetes áramlás szimulációjával határozhatnánk csak meg pontosabban. Ezért a kutatók ilyen rendszerek tervezése esetén hő- és áramlási szimulációk készítésével tudják az adott rendszer viselkedését modellezni [1, 2], lásd például a 4. ábrát. Ezen szimulációk jelenleg mindig az adott épületre és napenergia-hasznosító rendszerre szólnak, általános megoldásuk, illetve közelítő eljárások egyelőre nem ismertek.

Energiagyűjtő falak alkalmazhatósága

A hagyományos energiagyűjtő falakat, Trombe-falakat eddig csak nagyon környezettudatos, zöld és a low-tech építészet kedvelő tervezők választották. Az 5. ábrán például egy energiagyűjtő falakkal bőven rendelkező amerikai földtégla épület látható építés közben, majd megépült állapotában. Az építőipari termékek és technológiák fejlődésével, a jogszabályi környezet kedvező alakulásával mára azonban Magyarországon is szélesebb körben alkalmazhatóvá váltak a hagyományos energiagyűjtő tömegfalak. Építésüket pedig nem csupán új épületek esetén vehetjük fontolóra, de meglévő nagy tömegű, kedvező késleltetési idejű falazattal rendelkező épületek esetén utólagosan felújítás keretén belül is, mely így nemcsak a veszteségek csökkentéséről, de a nyereségek növeléséről is szól. Hazánkban számos vályogból vagy B30-as blokk-téglából épült épület esetén jelenthet környezettudatos és az átlagtól eltérő megoldást a tömegfalak utólagos kialakítása. A kritérium a felújítások esetén csupán a falszerkezetek déli tájolásának megléte. El kell azonban ismerni azt is, hogy a teljesen passzív rendszerek esetében a felhasználói szokások nagyban befolyásolhatják a tömegfalak működését, az árnyékolók vagy szellőzőnyílások kézi vezérlése megkíván egy, az épülettel együtt dolgozó életformát is, mely napi rutin szerencsére minimális gépesítéssel pótolható, és az energiagyűjtő falak teljesítménye jobban optimalizálhatóvá válik.

Nem utolsó sorban a helyi napenergia-hasznosítás, legyen az aktív vagy passzív úton, az épület energiatünetlenségéhez is hozzájárul.

A következő lapszámban az izolált passzív napenergia-hasznosítás szerkezeit tekintjük át.

Hivatkozások

- [1] A. Briga-Sá et al., Energy performance of Trombe walls, Energy and Buildings 74, 2014.
- [2] B. K. Koyunbaba, Z. Yilmaz, The comparison of Trombe wall systems with single glass, double glass and PV panels, Renewable Energy 45, 2012.
- [3] K. Hami et al., The thermal performance of Trombe walls, Energy 39, 2012.
- [4] Nagy Balázs: *Hagyományos energiagyűjtő falak*, Építési Megoldások 2015/2.
- [5] Nagy Balázs: *Passzív napenergia hasznosítás tervezése Magyarországon*, BME Magasépítési Tanszék, 2012.
- [6] <http://ouradobehome.blogspot.hu/>
- [7] O. Saadatian et al., Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 2012.
- [8] Szikra Csaba: *Szoláris épületek*, BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék, 2010.
- [9] Varga Adrienn: *Passzív napenergia hasznosítás lehetőségeinek vizsgálata*, BME Magasépítési Tanszék, 2014.