

Homlokzati zöldfal rendszer termikus hatásának vizsgálata télen és nyáron

Baráth Géza¹, dr. Barótfi István², dr. Magyar Zoltán¹

Abstract

The building physics processes of the green walls until now have not investigated yet, their effects on the buildings can hardly be determined. Only a few researches were made under the climate of Hungary, thus the planning the construction of the green walls is based only on experiences, usually without the taking the thermal effects into consideration. The first results of our long term measurement shows that the thermal effects of a green wall are minor in winter, but they can be significant in summer in Hungary.

Absztrakt

A homlokzati zöldfalakban lejátszódó épületfizikai folyamatokat korábban nem vizsgálták, az épületre gyakorolt hatásokat pedig alig ismerjük. A hazai klimatikus viszonyok között kutatási eredmények alig állnak rendelkezésre, így ezeknek a szerkezeteknek a tervezése és építése csak tapasztalati úton történik, általában az épületfizikai hatások figyelembe vétele nélkül. Az általunk elvégzett mérésorozat első kiértékelése rámutat arra, hogy hazánkban a moduláris homlokzati zöldfal rendszer hatása télen szinte elhanyagolható, nyáron viszont jelentős hőelvonásra lehet számítani.

Baráth Géza a cikk témájában előadást tartott a Magyar Épületgépészek Napja 2016 Oktatás Napjának PhD szekciójában. A cikk az előadás alapján készült.

1. Bevezetés

A homlokzati zöldfal rendszerek egyre nagyobb szerepet kapnak a kortárs építészetben. A falra felfuttatott borostyán vagy vadszőlő mellett ma már a korszerű rendszerek különböző fajtái is megtalálhatók hazánkban. Ültető dézsás megoldást találunk pl. az Allee bevásárló központ homlokzatán, a francia botanikus, *Patrick Blanc* által szabadalmaztatott első korszerű rendszerhez hasonló geotextil alapú falat láthatunk a XI. Kerületi Önkormányzat épületén, hazánk egyik legnagyobb összefüggő zöldfala pedig a Sorsok Háza udvarán egy fém kazettás moduláris rendszer.

Az egyes rendszerek már kiforrottnak mondhatók, megtalálhatók azok a technikai megoldások, amelyekkel a növényzetnek megfelelő élettér biztosítható, az épület szerkezeteit pedig nem fenyegeti korrózió.

Kérdés azonban, hogy ezek hogyan hatnak az épület termikus viszonyaira, hogyan változtatják meg a belső komfortot, az épület energiaigényét.

A világ számos pontján foglalkoznak kutatók ezeknek a kérdéseknek a megválaszolásával, a legtöbb eredmény azonban Délnyugat-Európából és a Távol-Keletről származik.

Djedjig és kollégái [1] dinamikus szimulációs modellt építettek, amelynek segítségével részletesen kimutatható az árnyékolás, a párologtatásból eredő hőelvonás és a hőtároló tömegek hatása. A modellt mérésekkel validálták.

Malys és munkatársai [2] Franciaországban vizsgálták a kültéri zöldfalak és zöldtetők hatását a városi mikroklímára, és eredményeik azt mutatják, hogy a növényzet hatékonyan tudja csökkenteni a városok felett kialakuló hőszigetek jelenlétét.

Koyama és munkatársai [3] azt vizsgálták, hogy a növényzet milyen tulajdonságainak van a legnagyobb hatása a zöldfal által kifejtett hűtésre, ezáltal tudatosabbá válhat a beültetésre kerülő vegetáció kiválasztása.

Kronvall és *Rosenlund* Svédországban végzett összehasonlító méréseket [4], de egyik típusú zöldfal esetében sem tudtak jelentős hatást bizonyítani.

A fenti kutatásokból láthatjuk, a zöldfalak hatása erősen függ a klimatikus hatásoktól. Alig találunk kutatást arról, hogy hazai klimatikus viszonyok mellett hogyan viselkednek a zöldfalak az épületeinken. Antonyová és munkatársai [5] végeztek a hazaihoz igen hasonló meteorológiai viszonyok között méréseket Szlovákia területén egy vadszőlővel futtatott falon, az eredményeik alapján számottevő hűtési potenciál várható. Kutatásuk azonban nem terjedt ki moduláris szerkezetekre, és nem vizsgálták a téli állapotot.

A szakirodalom elemzése alapján elmondható, hogy a zöldfalak termikus hatása főként három komponensből áll:

- a beépített építőanyagoktól,
- az árnyékolástól és
- a növények párologtatásától.

A hazai klimatikus viszonyok mellett is jelentős termikus hatása lehet a zöldhomlokzatoknak, ezekről azonban pontos adatok még nem állnak rendelkezésre: a kutatások vagy csak futtatott növényeket vizsgáltak, vagy nagyon eltérő klimatikus környezetben végezték a méréseket. A téli hatás vizsgálata a legtöbb kutatásból teljesen hiányzik.

1 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építésmérnöki Kar, Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

2 Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar Épület- gépészet, Létesítmény- és Környezettechnika Tanszék



2. Célkitűzések

Vizsgálataink első célkitűzései az alábbiak voltak:

- Moduláris rendszerű zöldhomlokzaton egy mérési rendszer kiépítése, amellyel hosszú távú adatgyűjtés valósítható meg.
- A mérési adatok elemzése alapján annak megállapítása, hogy télen mennyire növeli a rendszer a homlokzati fal hőszigetelő képességét.
- Annak megállapítása, hogy nyáron mennyire csökken a hűtési igény, hogyan változik a hűtési hőfokhíd.

A kutatás további célkitűzése, hogy a homlokzat termikus viszonyairól megfelelő pontosságú matematikai modell, és ez alapján dinamikus szimulációs modell készüljön, amelyet a mérési adatokkal validálva az épületre gyakorolt hatás tervezhetővé válik.

3. Mérési adatgyűjtő rendszer

A méréseket egy Budapesthez közeli, meglévő zöldfalon végeztük el. A homlokzat tájolása keleti, a zöldfal pedig fémkazettás moduláris felépítésű, a beépített öntöző rendszert időautomatika vezérli. A modulokban az ültetőközeg perlit, a homlokzati szendvicspanel fal és a kazetták között pedig légérés található. A rendszer szerkezeti ábrája és a helyszín fényképe az **1. ábrán** látható.

A hőmérséklet- és a relatív páratartalom-mérő szenzorokat a homlokzat több pontján szereltük fel, különböző rétegrendi vastagságokban: a homlokzat előtt 50 cm-re, a növényzet levelei mögött a modul külső felületén, a modul hátsó felületén, és a szendvicspanel külső felületén. A szenzorok mérési adatait 5 perces időközökkel rögzítettük, egy teljes év mérési adatai állnak a rendelkezésünkre.

4. A szerkezet U -értéke télen

Télen a növényzet aktivitása szinte teljesen leáll, az öntözőrendszer sem üzemel, így az aktív párologtatással sem kell számolnunk. A rendszer kezelhető úgy, mint egy hagyományos homlokzatburkolat, így a hatása a hőátbocsátási tényezővel jól leírható. Az U -érték számításos eljárással való meghatározása azonban számos nehézségbe ütközik: a rendszer nem homogén, a modulok fém oldalfala és a köztük lévő szűk rés bonyolítja a számítást, és az ültetőközeg hővezető képes-

ségének a meghatározása is – a bizonytalan nedvességtartalom miatt – csak további mérésekkel lenne meghatározható. Ezért döntöttünk a hőátbocsátási tényező helyszíni méréssel történő meghatározása mellett, amelynek módszerét az ISO 9869-1:2014 írja le.

A szabvány szerinti eljárást azonban nem lehetett teljes mértékben betartani, ezért azt több ponton módosítani kellett. A homlokzati szendvicspanel hőátbocsátási tényezője önmagában már igen alacsony, $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ értékű, amihez képest a zöldhomlokzati rendszerrel kiegészített falszerkezet becsült hőátbocsátási tényezője nem sokban tér el, az értéke $0,21 - 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ közé várható. A különbség közel azonos a mérési módszer hibájával, így a teljes falat mérve csupán a zöldfal tulajdonságaira következtetni nem lehet, vagy csak olyan nagy hibával, ami már nem elfogadható. Ezért a mérés során csak a zöldhomlokzat két oldalán végeztünk méréseket.

A fenti szabvány szerint az U -érték az alábbi összefüggés segítségével számítható:

$$U = \frac{q}{(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

Ahol:

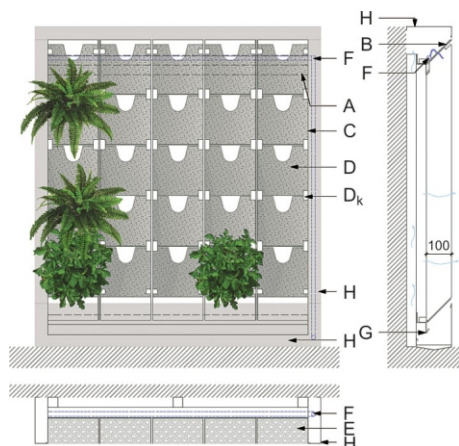
$q [\text{W/m}^2]$ – a szerkezeten keresztülhaladó hőáram;

$T_1 [^\circ\text{C}]$ – a külső hőmérséklet;

$T_2 [^\circ\text{C}]$ – a belső hőmérséklet.

A vizsgált esetben a belső oldali hőmérséklet a zöldfal mögötti légrétegben mért léghőmérséklet, míg a kinti a zöldfal előtt mért külső léghőmérséklet lesz. A beépített hőtároló tömegek tehetetlensége miatt azonban a külső hőmérséklet változásának hatása csak késleltetve jelentkezik a belső hőmérséklet változásában, így a pillanatnyi mérési adatokból a fenti összefüggéssel számított értékek több napos átlaga adja a kívánt végeredményt. A szabvány ajánlása legalább 3 napos folyamatos mérés, de amennyiben az átlagos U -érték ennyi idő alatt nem stabilizálódik, akkor a mérést folytatni kell a hetedik nap végéig. Esetünkben a két oldal hőmérsékletkülönbsége nem volt kellően nagy, így célunk annak a meghatározása volt, hogy mennyi idő szükséges a kellő pontosságú mérés elvégzéséhez.

A következő oldalon látható **2. ábra** mutatja az egy hónapig (2016. január 1-31.) tartó mérés adataiból számított hőátbocsátási tényező értékeit. A görbe alakjából leolvasható,



1. ábra. A mérési helyszín szerkezeti vázlata és fényképe

Jelölések az ábrán:

A: primer tartószerkezet;

B: modulokat tartó konzolok;

C: ültető modul;

D: modul előlap;

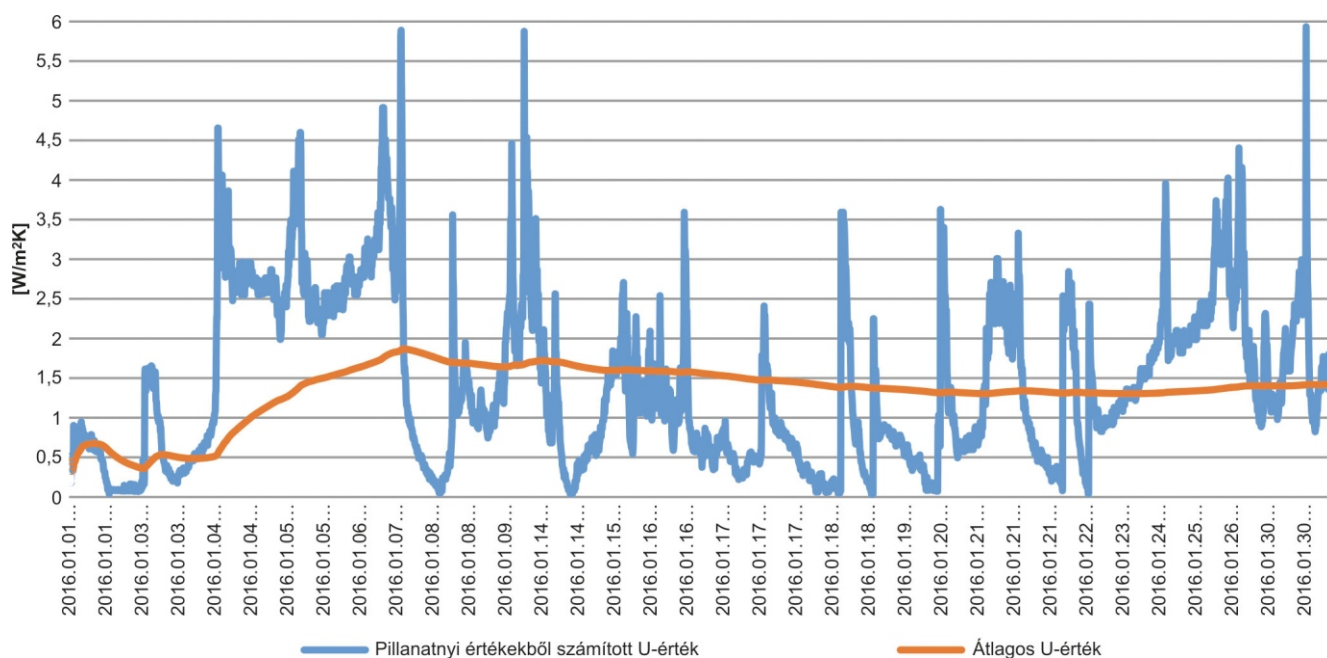
Dk: előlap rögzítő fül;

E: ültető közeg;

F: öntöző rendszer;

G: csurgalék víz elvezetés;

H: takarólemezek



2. ábra. Az átlagos U -érték változása egy hónapig tartó mérés esetén

hogy nemcsak a 3 napos, de a 7 napos mérés sem elegendő, viszont a 14 nap mérési eredményeiből meghatározott U -érték már kellő pontosságúnak ($\pm 5\%$) tekinthető. A számítást elvégeztük 2016. december hónap mérési adataival is, és ugyanezt az eredményt kaptuk.

A fenti mérésekből megállapítható, hogy a mért moduláris zöldhomlokzati rendszer hőátbocsátási tényezője $U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

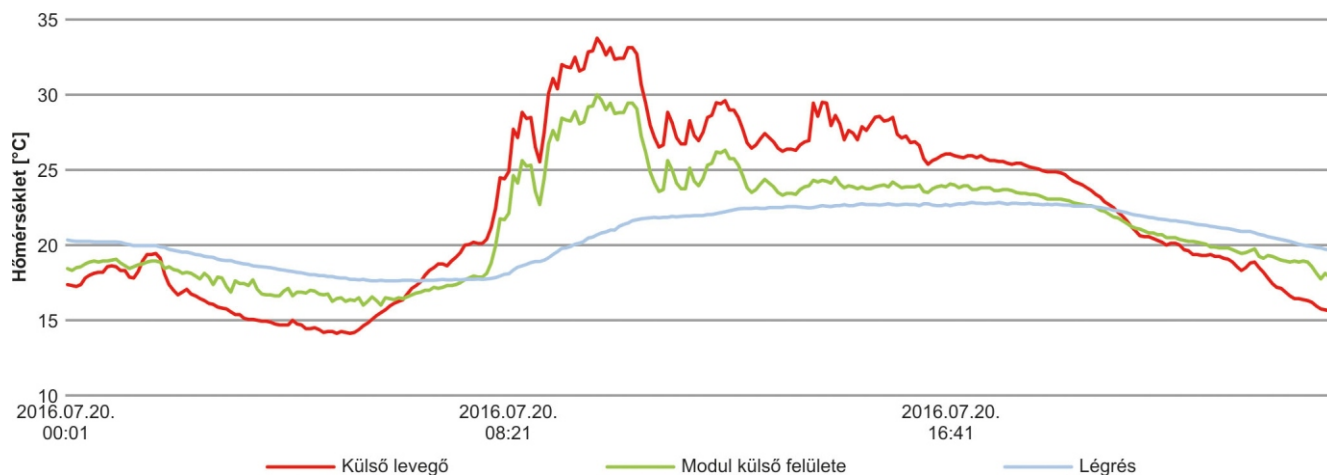
Hasznos következtetést lehetett levonni a páratartalom változásából. Az ültető modulok mögötti légrétegben a relatív páratartalom a hőmérséklet csökkenésével egy időben emelkedett, a hőmérséklet emelkedésével pedig csökkent. A nem ritkán huzamosabb időre elért 100%-os relatív páratartalom arra enged következtetni, hogy a felületeken kondenzáció is történt. Jelen esetben ez a felületek jellege miatt nem jár korróziós veszéllyel, a rendszer fejlesztője felé viszont fontos visszajel-

zés, hogy a légréteg kiszellőztetésével ezeket a kockázatokat a jövőben kerülje el.

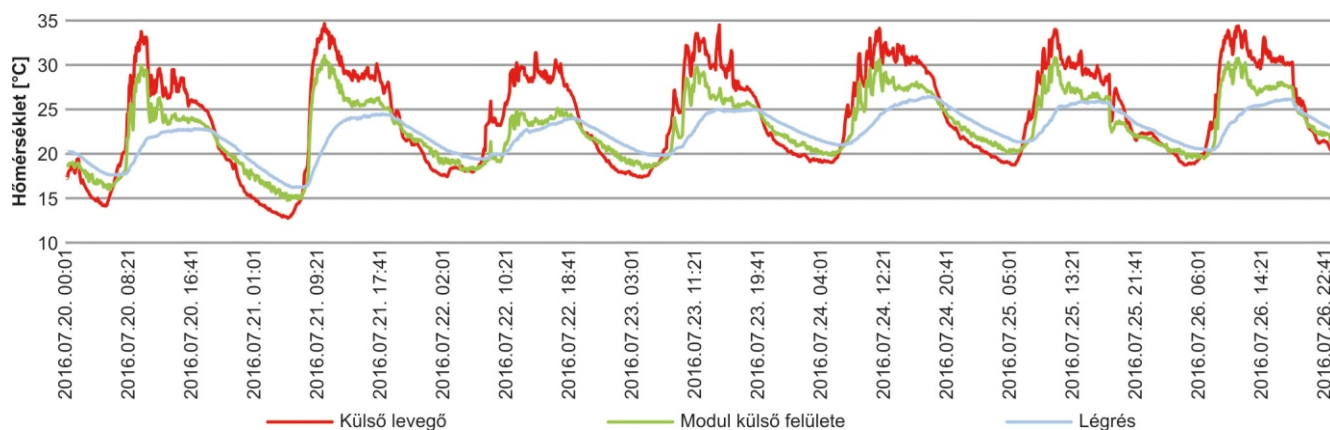
5. A szerkezet nyári üzeme, a hűtési hőfokhíd számítása

A zöldfal nyári termikus hatásának elemzésére egy júliusi hetet (2016. július 20-26.) választottunk ki. A kiválasztott időszak időjárása meleg és napsütéses volt, csapadék nem jellemezte, a zöldfal öntöző rendszerének működése pedig egyenletes volt. A növényzet életfeltételei ideálisak voltak, és a levelek párologtatása (és az ezen keresztül megvalósuló várt hűtő hatás is) zavartalan lehetett. A 3. ábra mutatja egy nap (2016. július 20.), a következő oldalon látható 4. ábra pedig a teljes mérési ciklus mért hőmérsékleteinek a változását.

A fenti grafikonokból látható, hogy napközben az ültető modul külső felületén a levelek alatt már alacsonyabb a hőmér-



3. ábra. A zöldfalon mért hőmérsékletek egy jellemző napon



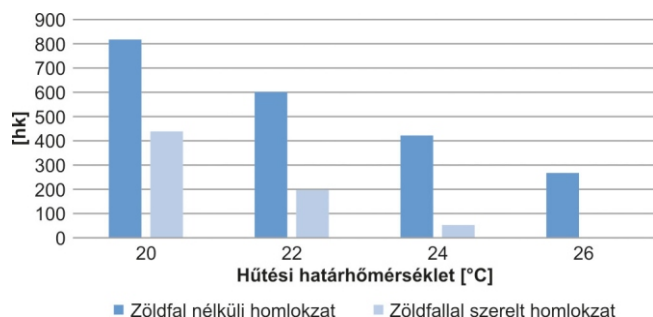
4. ábra. A zöldfalon mért hőmérsékletek egy meleg nyári héten

séklet napközben, mint a fal előtt 50 cm-re, viszont itt a hőmérsékletingadozás követi a környezet gyors változását. A modul mögötti légrétegben viszont már lényegesen alacsonyabb hőmérséklet figyelhető meg, és a változások is lassabbak. Éjszaka a külső felületi hőmérséklet a legmagasabb, a zöldfal szerkezete lassan adja le a nappal eltárolt hőt, ezzel melegítve a környezetét.

A hűtő hatást jól szemlélteti a hűtési hőfokhíd. Hűtési hőfokhíd alatt egy időszakra vetítve a külső hőmérséklet és az épület hűtési határhőmérsékletének kumulált különbségét értjük. Amikor a külső hőmérséklet alacsonyabb, mint a hűtési határhőmérséklet, az épület hűtésére nincs szükség, így erre az időszakra a hűtési hőfokhíd nulla.

A hűtési határhőmérséklet számos tényezőtől függ: a parancsolt belső hőmérséklettől, a szoláris terheléstől, a belső hőterheléstől, az épület hőtároló tömegétől stb., ezért ezt minden esetben egyedileg kell meghatározni. Vizsgálatainkat ezért több hűtési határhőmérsékletre is elvégeztük.

A zöldfal nélküli esetben a külső hőmérséklet egyértelmű: a mért adataink jól használhatóak a számításokhoz. Zöldfal esetében az ültető modulok mögötti légréteg hőmérsékletét tekintettük külső hőmérsékletnek, így a növényzet hatása jól megfigyelhető. Az 5. ábra mutatja be a hűtési hőfokhíd változását különböző hűtési határhőmérsékletek esetén, hét napra vonatkozóan.



5. ábra. A hűtési hőfokhíd változása különböző hűtési határhőmérsékletek esetén

Az ábrán látható értékekből leolvasható, hogy a zöldhomlokzat hűtési hatása mindegyik esetben megfigyelhető. A hűtési hőfokhíd aránya a két szerkezet esetén annál nagyobb, minél

nagyobb a hűtési határhőmérséklet. Amennyiben a vizsgált épület el tudja érni a 26 °C hűtési határhőmérsékletet, a zöldfállal szerelt homlokzat már egyáltalán nem fogja terhelni a belső klímát.

Összegzés

Mérési eredményeink alapján látható, hogy a zöldhomlokzatoknak a hazai klimatikus viszonyok mellett jelentős hatása lehet az épületek belső klímájára, az energiafelhasználására. A mérési eredmények alapján a zöldfal téli hőszigetelő hatása minimális, a nyári hűtőhatás azonban jelentős is lehet. A fenti vizsgálat szezonális jellegű, így a nyári hűtőhatás számszerűsítésére nem, csak meglétének bizonyítására alkalmas. A kutatás további szakaszában a zöldfal vizsgálatát részletes matematikai modell és dinamikus szimuláció segítségével fogjuk végezni.

Irodalomjegyzék

- [1] R. Djedjig, E. Bozonnet, and R. Belarbi, "Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program," *Energy Build.*, vol. 86, pp. 93–103, 2015.
- [2] L. Malys, M. Musy, and C. Inard, "A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption," *Build. Environ.*, vol. 73, pp. 187–197, 2014.
- [3] T. Koyama, M. Yoshinaga, H. Hayashi, K. I. Maeda and A. Yamauchi, "Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls," *Build. Environ.*, vol. 66, pp. 96–103, 2013.
- [4] J. Kronvall and H. Rosenlund, "Hygro-thermal and Energy Related Performance of Vertical Greening on Exterior Walls," in *Proceedings of the 10th symposium on building physics in the Nordic countries*, 2014, pp. 247–254.
- [5] A. Antonyová, P. Antony, and A. Korjenic, "Evaluation the hygrothermal effects of integration the vegetation into the building envelope," *Energy Build.*, vol. 136, pp. 121–138, 2017.