

## Zöldtetők szakirodalmi áttekintése

### Overview of green roof literature, recensions and researches

*LENKOVICS László – tanársegéd, HIRMANN András – tanszéki mérnök*

Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar  
Épületgépészeti Tanszék  
7624 Pécs, Boszorkány út 2.  
Telefon: +36 72 503 650 / 23850, Web: <http://mik.pte.hu>

#### **Abstract**

*The paper summarizes the emergence of green roofs and their literature over the course of history. Former and ongoing projects, researches and trends are also included, with respect to the ongoing green roof project at the University of Pécs.*

**Keywords:** green roof, thermal comfort, energy consumption, urban heat island mitigation, heat flux

#### **Kivonat**

*A cikk összefoglalja a zöldtetőkkel kapcsolatos szakirodalom kialakulását, a kezdetektől napjainkig folyó vizsgálatokat, kutatási irányokat, trendeket. Röviden ismertetésre kerül ezek tükrében a PTE-n futó zöldtető projekt is.*

**Kulcsszavak:** zöldtető, lapostető, hőkomfort, épület, hőáramsűrűség

## 1. TÖRTÉNELMI BEVEZETŐ

Az ember hiába hozta létre maga körül épített környezetét, továbbra is kitartóan vonzza a természet. Már időszámításunk előtt 600 körülről vannak feljegyzések II. Nabukodonozor királyról, aki felesége kedvéért – aki szülőföldje zöld vidékei után sóvárgott – buja mesterséges növényzetet alakíttatott ki palotájában; ez volt az ókori világ hét csodájának egyike, a babiloni függőkertek. Európában az itáliai reneszánsz nyomán terjedtek el a már funkcionális – fokozottabb hőszigetelő – szerepet is betöltő zöldtetők; a krónikák szerint Magyarországon már a XV. század utolsó harmadában, Mátyás király visegrádi palotájában pompás függőkertek díszítették a tetőket és a pincegádorokat is.

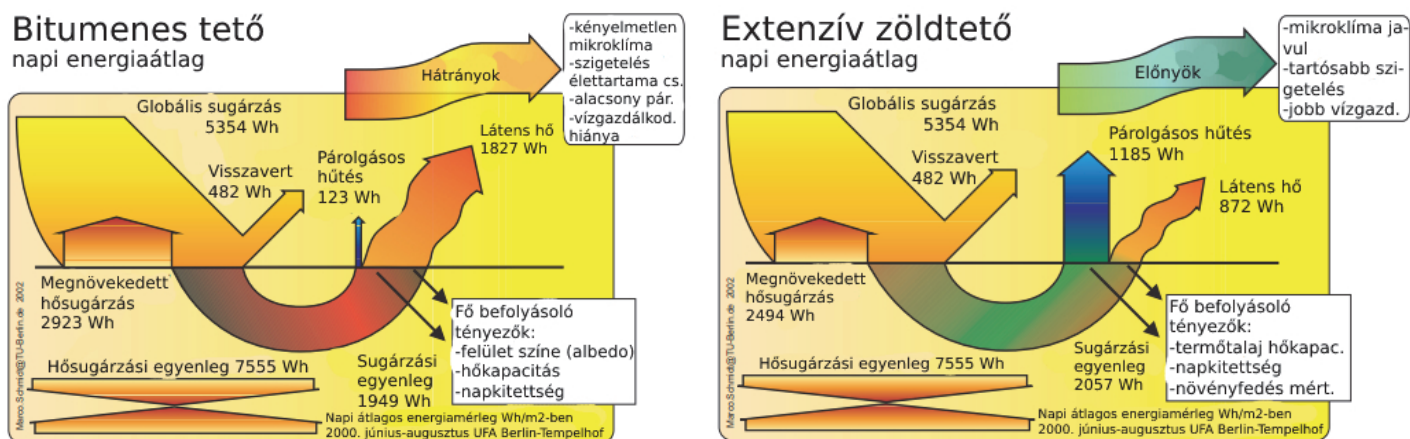
Az 1900-as évektől kezdődően a Bauhaus mozgalom tűzte zászlajára a tetőfelületek ilyen célú hasznosítását (Le Corbusier azért alkalmazott lapostetőt, hogy tetőkertet alakíthasson ki – lsd. Villa Savoye), a XX-ik század második felére pedig elérhetővé váltak azok az anyagok, technológiák valamint kialakult az az ökológiai szemléletmód, melyek nyomán elsőként megszülettek az FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (szabad fordításban: Tájépítő- és fejlesztő Kutatótársaság) zöldtető tervezési, kivitelezési és fenntartási irányelvei. [1] A társaság (mely napjainban is kb. 30.000 tagot számlál) szakmai útmutatói, szabályzatai a mai napig irányadók a témában.



1. ábra. A visevári palotakert napjainkban (<https://www.visegradmuzeum.hu/wp-content/uploads/2018/03/21854344-657x230.jpg>)

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A természettől elfoglalt földterületek „visszaszolgáltatásának” gondolatát már a zöldtetőket elsőként felkaroló Bauhaus képviselői megfogalmazták. Napjainkra az ötlet több, mint időszerű; a városokban egyre nagyobb embertömeg koncentrálódik, az új lakhatási lehetőségek miatt visszaszoruló zöldterületek pedig pótlásért kiáltanak. [2] A klímaváltozással járó özvízszzerű esőzések, fokozódó városi hősziget hatás szintén megoldandó probléma: már 2002-ben több mint 9 milliárd Euro kárt okoztak az áradások Németországban [3] [4] Célszerű ezért épített környezetünkben minél szélesebb körben vizsgálni a lehetséges megoldásokat, melyek közül a zöldtetők kiemelt szerephez juthatnak akár már a közeljövőben is; a tetőfelület nyári hővisszaverését, a környezetbe való kisugárzását egyaránt csökkenti [5]



2-3. ábra. Bitumenes lapostető és extenzív zöldtető napi energiamérlege (forrás: [3])

A zöldtetőkkel kapcsolatos kutatások közül a kezdetek óta [6] kiemelkedőek a Németországban, illetve német nyelvterületen zajlók. A neubrandenburgi műszaki egyetemen (Hochschule Neubrandenburg) Prof. Dr. Manfred Köhler vezetésével napjainkig nagyívű, széleskörű kutatások zajlanak zöldtetők, zöld homlokzatok és a klímaváltozás témájában [7] [8] A bécsi természet- és élettudományi egyetemen (Universität für Bodenkultur Wien) Dr.-Ing. Bernhard Scharf és csapatának kutatómunkája szintén kiemelt figyelmet érdemel; ők egészen addig jutottak, hogy gyakorlati szoftveres megoldást kínálnak a témában tervezőknek, beruházóknak, illetve városoknak egyaránt. Ezzel a GreenPass® programmal – melyhez saját minősítési rendszer is tartozik – a több mint tíz éves kutatási tapasztalatot ültetnek át a gyakorlatba, így segítve a sikeres zöldítési projektek megvalósulását. [9]

Az Európán kívüli kutatások közül említésre méltó a hong kongi egyetemen (EdUHK) dolgozó Prof. C.Y. Jim munkássága. Nagyon termékeny, az ISI Web of Science szerint az egyik legtöbbet idézett kutató a témában. Számátalan mérést, vizsgálatot végeztek a nedves szubtrópusi éghajlaton fekvő Hong Kong

lakóépületein [10] [11] [12] valamint szerzőtársával matematikai modelleket is alkottak a zöldtető rétegeiben végbemenő hőtranszport jelenségek leírására. A rétegekben kialakuló hőmérsékletet leíró képletet mérésekkel sikerült is validálniuk. [13] Vizsgálatai során megállapításra került az is, hogy a zöldtető hatásai, a hasznosítható növények fajtái erősen ki vannak téve az éghajlati viszonyoknak. A meleg, nedves égvön könnyen adódhatnak olyan időjárási körülmények, melyek közt hőtechnikai tekintetben nem teljesít olyan kedvezően egy zöldtető, mint a mérsékelt égvön elvárható. [14] [15]

### 3. ZÖLDTETŐK ÉS MÉRŐKÖRÖK KIALAKÍTÁSA

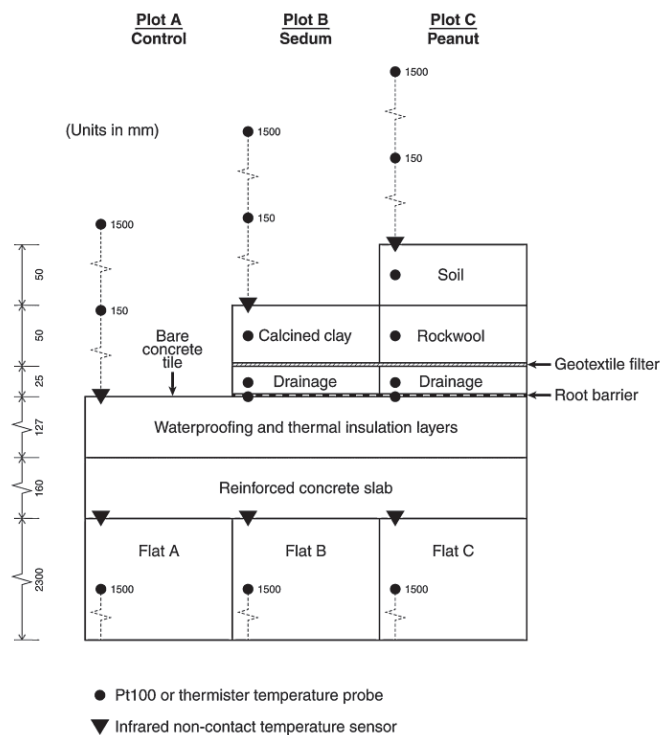
Zöldtetők alatt jellemzően az alacsony ( $5^\circ$  alatti) hajlásszögű tetőket értjük. Kis- illetve közepes hajlású tetőknél is lehetséges a kialakításuk, ahogyan függőleges ún. zöld homlokzatok építésére is számtalan példát találhatunk, jelen vizsgálódásnak azonban ezek nem tárgyai; jelen cikkben – illetve a doktori cselekményben, mely nyomán e cikk megszületett – lapostetős kialakítások vannak a vizsgálatok középpontjában.

Fontos különbséget tenni ezen felül kivitel szempontjából extenzív ill. intenzív zöldtetők között. Az extenzív egy könnyebb (már  $7-8 \text{ kg/m}^2$ -től), akár minimális rétegrendi vastagsággal kivitelezhető (min. 6-8 cm) egyszerűbb üzemeltetésű, míg az intenzív (vagy más néven tetőkert) egy dús, változatos növényzettel, esetenként akár tavakkal ellátott, fokozott ápolásra és tápanyag-utánpótlásra szoruló változat. [16] A vizsgált szakirodalmi, illetve saját mérésekben extenzív zöldtetők szerepelnek.

A hagyományos lapostetők teherhordó- majd hő- és vízszigetelő rétegei felett a zöldtetők általános rétegrendje a következő:

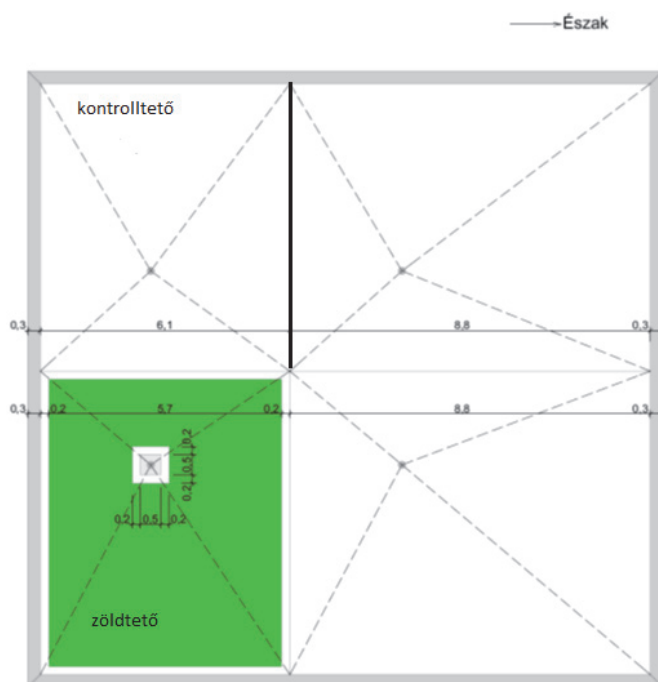
- növényzet (vegetation),
- ültető- és termőközeg (soil),
- szűrőréteg (filter),
- szivárgó- és vízmegtartó réteg (drainage),
- elválasztó- szigetelést védő réteg (root barrier).

A hagyományos tetőkkel szembeni előnyök vizsgálatához és bizonyításához zöldítés nélküli, hagyományos (kavics, bádog, bitumenlemez) fedésű kontroll-felületek is szükségesek [11] [17] Meglévő, gyengébb szigetelésű nem zöldtetős építmények utólagos felszerelésének („retrofit”) vizsgálata kimutatta, hogy – amennyiben a szerkezet elbírja a zöldtető tömegét – jelentős megtakarítási potenciált rejt magában az épületmodernizálás ilyen módja. [18]



4.ábra. Egy jellemző zöldtetős mérőkör érzékelői a szakirodalomból; összehasonlító mérésekhez eltérő rétegrendek és növényzetek (forrás: [15])

A Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karán egy-egy 45 m<sup>2</sup> alapterületű kontroll- és extenzív zöldtető került kialakításra. A hagyományos egyenes rétegtrendű, PVC lemezzel vízszigetelt kontrollfelület mellett a zöldtetőn a növénytelepítést követően, a gyökeresedés után már beállt növények hosszabb nyári szárazságot követő minimális öntözést leszámítva nem igényelnek különösebb gondozást. [21]



5. ábra. A PTE-n vizsgált zöldtető építészeti rajza (forrás: [21])

A zöldtetők számtalan pozitív hatásából (úgy, mint vízgazdálkodás, városi hősziget-hatás csökkentése, hűtőhatás párologtatás útján, kedvezőbb beltéri hőkomfort körülmények stb.) is következik, hogy ezek méréséhez, igazolásához megfelelően magas szintű műszerezettség is szükséges.

A PTE-n létesített mérési rendszerek három csoportra oszthatók:

- vízgazdálkodási - vízminőségi,
- napsugárzás-intenzitási,
- valamint hőmérsékleti mérések.

Említésre méltó, hogy szakirodalomban kutatott mérések során jellemzően nem került beépítésre külön hőáramsűrűség-mérő [12]; ehelyett átlagolással, átszámítással (a közeg hővezetési tényezője ill. hőmérséklet-gradiens felhasználásával) [13], egyszerűsítésekkel vették figyelembe a hőáramsűrűségeket [19]. A hőáram kiszámítható, ha mérjük a réteghatár-hőmérsékleteket:

$$\dot{q} = (t_1 - t_2) / R \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

ahol

t<sub>1</sub> ill. t<sub>2</sub> a hőmérsékletek egy kiválasztott réteg két oldalán [K]

R = d / λ [m<sup>2</sup>K/W]

ahol

d az adott réteg vastagsága [m]

λ az adott réteg hővezetési tényezője [W/mK]

A rétegek hővezetési tényezőjének megállapításában bizonytalansági tényező rejlik, kiváltképp hőszigetelések esetén. Ezeknél az érzékeny anyagoknál a beépítés módja komolyan befolyásolhatja ezt az értéket, ámde mivel a hőmérsékletesés hőszigetelésben a legnagyobb, így itt a legkisebb a hőmérséklet-mérési pontatlanságból származó hiba. Célszerű tehát ezt vizsgálni.

A MIK-en folyó kutatásban a kezdetektől szerepelt a dedikált hőáramsűrűség-mérő alkalmazása, de az elmúlt évekig késett a beszerzése. Most már lehetőség nyílik a hőmérsékletesés alapján számított és mért hőáramsűrűség értékek összehasonlítására, a hőmérsékletesés alapján számított értékek validálására, egyúttal a hőszigetelés hővezetési tényezőjének meghatározására valóságos, beépített állapotban. Továbbá a

számítógépes adatrögzítés során pontosabban lehet vizsgálni a zöldsítők hűtőborda hatását („heatsink-effect” [12]), valamint hőmérséklet-ingadozási csillapítását [20], melyek nem csak pozitív irányba mozdíthatják el az építmény energiamérleget, hanem kedvezőbb hőkomfortot is eredményeznek a benttartózkodóknak.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. Pályázat száma: EFOP-3.6.1.-16-2016-00004. Pályázat címe: Átfogó fejlesztések a Pécsi Tudományegyetemen az intelligens szakosodás megvalósítása érdekében.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1.] FLL: *Zöldtetők tervezési, kivitelezési és fenntartási irányelve*. ZMS Kft., Budapest, 2002.
- [2.] Hien, W.N., T.P. Yok, and C. Yu *Study of thermal performance of extensive roof top greenery systems in the tropical climate*. Building and Environment. Elsevier, 2007, 42(1), 25-54.
- [3.] Schmidt M.: *Energy saving strategies through the greening of buildings – The example of the Institute of Physics of the Humboldt-University in Berlin – Adlershof*. RIO 3 – World Climate & Energy Event. Krauter, 2003, 481-486.
- [4.] Köhler M., Schmidt M., and Laar M.: *Green roofs as a contribution to reduce the urban heat islands*. RIO 3 – World Climate & Energy Event. Krauter, 2003, 493-498.
- [5.] Barrio, E.P.D.: *Analysis of green roofs cooling potential in buildings*. Energy and Buildings. Elsevier, 1998, 27(2), 179-193.
- [6.] Hegemann W., Müller W.: *Messungen von Menge und Qualität der Abflüsse eines begrünten und eines unbegrünten Daches im Märkischen Viertel, TU Berlin*. Institut für Technischen Umweltschutz, Fachgebiet Wasserwirtschaft, Berlin, 1994
- [7.] Köhler M., Kaiser D.: *Evidence of the Climate Mitigation Effect of Green Roofs – A 20-Year Weather Study on an Extensive Green Roof (EGR) in Northeast Germany*. Buildings. MDPI, 2019, 9(7), 157-175.
- [8.] Köhler M., Kaiser D.: *Green Roof Enhancement on Buildings of the University of Applied Sciences in Neubrandenburg (Germany) in Times of Climate Change*. Atmosphere. MDPI, 2021, 12(3), 382-404.
- [9.] Scharf B., Kraus F.: *Green Roofs and GreenPass*. Buildings. MDPI, 2019, 9(9), 205-231.
- [10.] C.Y. Jim: *Passive warming of indoor space induced by tropical green roof in winter*. Energy. Elsevier, 2014, 68, 272-282.
- [11.] C.Y. Jim: *Air-conditioning energy consumption due to green roofs with different building thermal insulation*. Applied Energy. Elsevier, 2014, 128, 49-59.
- [12.] C.Y. Jim: *Building thermal insulation effect on ambient and indoor thermal performance of green roofs*. Ecological Engineering. Elsevier, 2014, 49, 265-275
- [13.] C.Y. Jim, S.W. Tsang: *Modeling the heat diffusion process in the abiotic layers of green roofs*. Energy and Buildings. Elsevier, 2011, 43(6), 1341-1350.
- [14.] C.Y. Jim: *Heat-sink effect and indoor warming imposed by tropical extensive green roof*. Ecological Engineering. Elsevier, 2014, 62, 1-12.
- [15.] C.Y. Jim: *Assessing climate-adaptation effect of extensive tropical green roofs*. Landscape and Urban Planning. Elsevier, 2015, 138, 54-70.
- [16.] Pál J.: *Növényekkel borított épületek*. Lélegzet Alapítvány – Levegő munkacsoport, Budapest, 2005.
- [17.] Scharf B., Pitha U., Trimmel H.: *Thermal performance of green roofs*. RIO 3 – World Climate & Energy Event. Krauter, 2012, 1-16.
- [18.] Castleton H.F., Stovin V., Beck S.B.M., Davison J.B.: *Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit*. Energy and Buildings. Elsevier, 2010, 42(10), 1582-1591
- [19.] Klein M. P., Coffman R.: *Establishment and performance of an experimental green roof under extreme climatic conditions*. Science of the Total environment. Elsevier, 2015, 512-513, 82-83.
- [20.] Teemusk A., Manger Ü.: *Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia*. Building and Environment. Elsevier, 2009, 44(3), 643-650.
- [21.] Lenkovic L.: *Zöldtető építése, és monitoring rendszere a PTE PMMIK karon*. XIX. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia 2015.