

Szlivka F. Dániel¹

ZÖLDTETŐK ENERGETIKAI JELENTŐSÉGE, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A TALAJRÉTEG HŐTECHNIKAI PARAMÉTEREIRE²

Az energiatudatos építés egyik fontos eleme a lapostetők zöldesítése, amely esztétikai értékén túl jelentős energetikai előnyökkel is szolgál. Nyugat-Európában már hosszú idő óta kihasználják a benne rejlő lehetőségeket. Az utóbbi években hazánkban is egyre népszerűbbé válik a zöldtetők létesítése. Jelen tanulmány azt hivatott összefoglalni, hogy melyek azok az energetikai szempontok, amelyeket érdemes figyelembe venni a zöldtetők tervezésénél. Különböző számítási-, és mérési módszerek ismertetésével támasztjuk alá, hogy milyen jelentős szerepe lehet a zöldtetőknek az épületek energetikai méretezésénél és számításánál, amely végső soron költségmegtakarítást eredményez. Ezekkel a módszerekkel meghatározható a talajréteg hővezetési tényezője, amely ezután használható a teljes szerkezet hőátbocsátásának számításához.

ENERGETIC SIGNIFICANCE OF GREEN ROOFS, WITH PARTICULAR EMPHASIS ON THERMODYNAMICAL PARAMETERS OF SOIL

An important part of energetically conscious planning is installing green roofs on building tops. This has many energetic advantages, while it is simply aesthetic. Opportunities of green roofs are in use in Western-Europe for a long time, and nowadays, more and more fine examples can be caught in our country, as well. This article is to summarize energetic aspects, which are worth to consider in planning green roofs. We confirm important role of green roofs in energetic calculations of building structures with citing different methods of measurement and calculation. Aim of these methods is to specify heat conductivity of soil, which is used for the calculation of heat permeability of the whole roof structure.

1. A TÉMA IDŐSZERŰSÉGE ÉS JELENTŐSÉGE

Napjainkban egyre inkább előtérbe kerül az energiatudatos építés, amelynek okozója az energia költségének növekedése. Ez mintegy elősegíti, és gyorsítja az olyan építésmódok fejlődését, amelyek arra törekszenek, hogy a megvalósuló épület fenntartására-, és működtetésére fordított energia a lehető legkevesebb legyen. Ennek egyik eleme lehet a zöldtető létesítése a teljes épületen, vagy akár annak csak egy részén.

A nemzetközi tetőzöldesítési gyakorlat, valamint a már ismert hazai zöldtetős kísérletek alapján megállapítható, hogy ma már reális lehetőség van az épületek által elfoglalt zöldterületek viszapótlására. A városokban nagy számban meglévő és épülő lapostetők ökológiailag aktív felületekké alakíthatóak át.

Az első szakmai szabályzat, ami lefektette a zöldtetők irányelveit az 1982-ben megjelent FLL

¹ okl. építészmérnök, doktorandusz, Óbudai Egyetem, szlivkad@gmail.com

² Lektorálta: Prof. Dr. Szabolcsi Róbert, egyetemi tanár, HVK SZE/Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronikai és Autótechnikai Intézet, szabolcsi.robort@bgk.uni-obuda.hu

(Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau – Kutatástevékenység tájfejlesztés, tájépítés) szabvány volt.³ 1984-ben követte a „Vizsgálati-folyamat gyökérállóság és gyökérálló lemezek területén”. 1990 óta az FLL az irányadó mind extenzív, mind pedig intenzív zöldtetők tervezésénél, kivitelezésénél és karbantartásánál.

A zöldtetők energetikai jelentőségét viszont csak az utóbbi években kezdték felismerni, de erre vonatkozó irányelv, szabályzat még nem készült. Éppen ezért jelen értekezés hiánypótló szerepet tölt be a szakmában.

2. CÉLKITŰZÉS

A zöldtető hőfizikai problémái gazdasági-, valamint ökológiai okokból is nagyon fontosak az épületfizika területén. Ami a zöldtetők vízháztartásbeli tulajdonságait, viselkedését illeti, a kutatások ezen a területen a legelőrehaladottabbak. Éppen ezért ezeket az eredményeket felhasználva szükségesnek tartom megvizsgálni a talajréteg hővezetési tulajdonságait és az épületre gyakorolt hatásait, mert ez az a terület, ahol vannak ugyan bizonyos eredmények, de ezek semmiképpen sem nevezhetőek tudományosnak. A legfontosabb cél az lenne, hogy szabványos keretbe foglaljuk a zöldtető rétegeinek hőtechnikai tulajdonságait és ezeket felhasználni az épületekhez kötelezően csatolandó hőtechnikai számítások során.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Hőtani modell, hőveszteség számítások

A zöldtetők hőtani vizsgálatához egy olyan modellt alkalmazunk, amely tetőt, mint egy többrétegű szerkezetet veszi figyelembe, amelynek legfelső rétege a növényzettel ellátott talaj. Mind a tartószerkezet, mind a hőszigetelés és egyéb rétegek hőtechnikai adatai rendelkezésre állnak, feladatunk, hogy a modell és a mérések által a talajréteg időben változó tulajdonságait meghatározzuk.

A tető többrétegű vízszintes szerkezetére merőlegesen hővezetéssel halad a hő. A hővezetés, vagy más néven kondukciónál, a hőenergia a molekulák, elemi részecskék helyváltoztatásos elmozdulása nélkül adódik át a melegebb helyről a hidegebb helyre.

Adott pillanatban az adott közeg valamennyi pontjában fennálló hőmérsékleti értékek összessége a hőmérsékletmező, vagy hőmérsékleti tér. Amennyiben ez független az időtől, a mező állandósult (stacioner), egyébként nem állandósult (instacioner). A stacioner, azaz időben állandósult hővezetés elvén alapul a többrétegű szerkezet hőmérsékleti diagram meghatározása. $q = \lambda (-gradT)$, azaz a fajlagos hőáram arányos a negatív hőfok-gradienssel. A következő ábrákon azt vizsgáltuk meg, hogy a különböző rétegszerkezetű tetők esetén hogyan alakul a téli illetve nyári hőfokelési görbe.

A méréseken alapuló mértékadó külső hőmérséklet télen -15 °C , nyáron pedig $+50\text{ °C}$ a csupasz bitumen szigetelésű tető esetében. A belső hőmérsékletet állandó 20 °C értéknek tekintjük. Ezek a peremfeltételek biztosítják a stacioner hővezetést, így meghatározhatók az egyes réteghatárok hőmérsékletei.

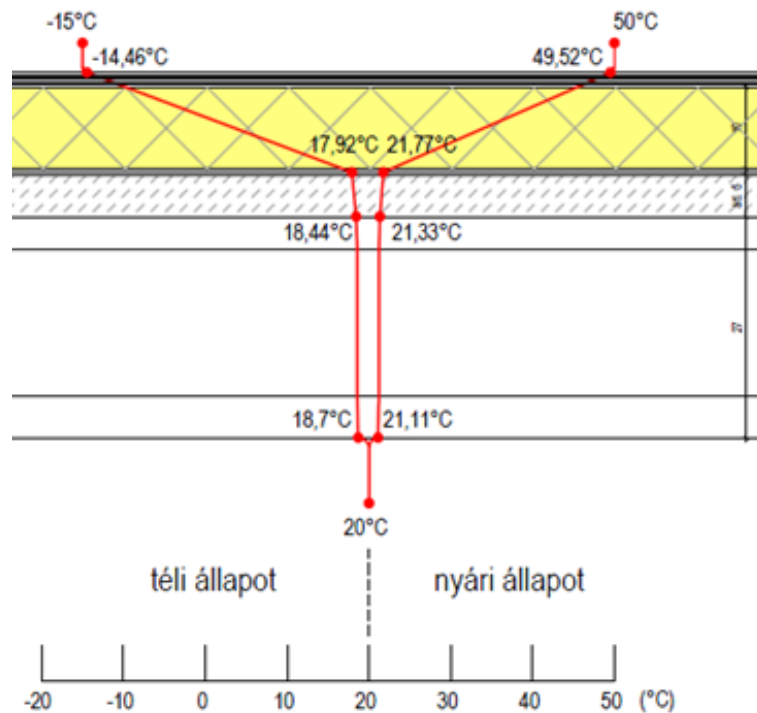
³ FLL Zöldtetők tervezési, kivitelezési és fenntartási irányelve – Zöldtetők irányelve – Magyar kiadás, ZMS Kft., 2002.

Szolnoki Tudományok Közlemények XVII.

A fenti esetben kiszámoltuk a téli és nyári hőveszteséget a $q=U \times \Delta t$ összefüggés alapján, ahol U a hőátbocsátási tényező, amelynek jelen esetben $0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ az értéke, Δt pedig a külső és belső hőmérséklet különbsége.

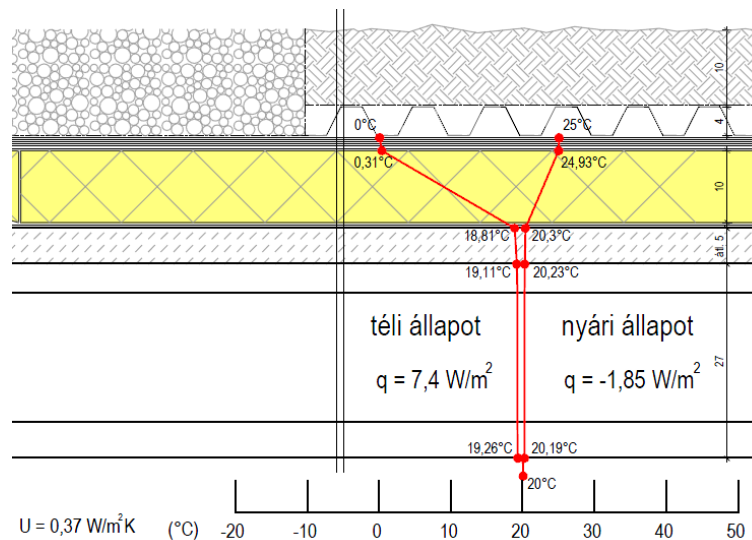
$$q_{\text{téli}} = 12,95 \text{ W/m}^2, \quad q_{\text{nyári}} = -11,1 \text{ W/m}^2,$$

tehát télen ennyi hő távozik a tetőn keresztül, nyáron pedig ennyi hő érkezik a belső térbe.



1. ábra Csúszás tető téli és nyári hőfokelési görbéje

Rétegek belülről kifelé: körüreges vasbeton födémpanel, lejtbeton, párazáró réteg, 10 cm vastag XPS hőszigetelés, 2 rtg. mod. bitumen lemez csapadékvíz elleni szigetelés



2. ábra Zöldető téli és nyári hőfokelési görbéje

Rétegek belülről kifelé: körüreges vasbeton födémpanel, lejtbeton, párazáró réteg, 10 cm vastag XPS hőszigetelés, 2 rtg. mod. bitumen lemez csapadékvíz elleni szigetelés, geotextíliával kasírozott műanyag szivárgóréteg, 10 cm vtg. ültetőközeg

Zöldtető esetében a mérések alapján a szigetelés felső síkján a hőmérséklet télen 0 °C körül alakul, nyáron pedig nem melegszik +25 °C fölé. A belső hőmérsékletet itt is állandó 20 °C értéknek tekintjük. Ezek a peremfeltételek biztosítják a stacioner hővezetést, így meghatározhatók az egyes réteghatárok hőmérsékletei.

Ez utóbbi esetben is kiszámoltuk a téli és nyári hő veszteséget a $q=U \times \Delta t$ összefüggés alapján, ahol U a hőátbocsátási tényező, amelynek jelen esetben is 0,37 W/m²K az értéke, Δt pedig a külső és belső hőmérséklet különbsége. Ez azt jelenti, hogy magát a zöldtetőt nem vettük figyelembe a hőátbocsátási tényező számításakor, csak a szigetelés síkján lévő hőmérsékletre való hatását, amely a mérési eredményekből adódott.

Ez esetben a téli és nyári hőveszteség az ábrán olvasható, amiből jól látszik, hogy mindkét évszakban jóval kisebb az abszolút érték, azaz télen mintegy 43%-kal kevesebb hő távozik, nyáron pedig 83%-kal kevesebb hő érkezik a belső térbe.

4. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A zöldtetőn végzett eddigi mérések eredményei arra adtak lehetőséget, hogy a stacioner hővezetés elvét használva hőfokesési görbéket számíthassunk ki a kétféle tetőhöz, és ezáltal a zöldtető hőcsillapítása számíthatóvá vált. A 3. pontban részletezettek szerint elvégeztük ezeket a számításokat, amiket az alábbi táblázatban foglaltunk össze.

Tető típusok	Nyári hőveszteség (W/m ²)	Téli hőveszteség (W/m ²)
Csupasztető (10 cm hőszigetelés)	-11,1	12,95
Duo tető (2×10 cm hőszigetelés)	-7,38	8,61
Extenzív zöldtető (10 cm hőszigetelés + 10 cm ültetőközege)	-1,85	7,40

1. táblázat Különböző tetőtípusok téli és nyári hővesztesége

A 3. pontban közölt ábrák között nem szerepel a duo-tető, mert ez csak annyiban különbözik a csupasztetőtől, hogy a csapadékvíz szigetelés fölött még egy réteg hőszigetelést építenek be a hőcsillapítás érdekében. A táblázatból látszik, hogy az ültetőközeggel ellátott zöldtető a duo-tetőhöz képest is jelentős energia megtakarítást jelent.

5. A TALAJ HŐTECHNIKAI PARAMÉTEREI

A fentiekben említettük, hogy a talajréteg hőtechnikai adatait a számításoknál nem vettük figyelembe. Ahhoz, hogy pontos eredményeket tudjunk felmutatni, fontos, hogy meghatározzuk a tetőre felkerülő talajkeverék paramétereit, amelyekkel alátámaszthatjuk a mérési eredményeket.

5.1. A talaj hőtani jellemzői

Ahhoz, hogy meg tudjuk határozni a hő terjedését a talajban állandósult illetve nem állandósult hőáram mellett, ismernünk kell az alapvető hőfizikai jellemzőit.

A talajok hővel szembeni viselkedését két tényező alapján lehet értelmezni. Ezek a fajlagos hőkapacitás, és a hővezető képesség.

a) Fajlagos hőkapacitás (C_v)

Azzal a hőmennyiséggel egyenlő, amely egységnyi térfogatú vagy tömegű talaj hőmérsékletét 1 °C-kal képes növelni. Mértékegysége J/m³K vagy J/kgK. A térfogategységre számított fajlagos hőkapacitást (C_v) az egységnyi tömegre megadott hőkapacitás (fajhő, C_m) és a talaj térfogattömegének (ρ) szorzata adja, azaz $C_v = C_m \cdot \rho$. A szilárd fázist alkotó anyagok hőkapacitásában nincs jelentős különbség, ezért a hőkapacitást elsősorban a víztartalom befolyásolja. Minél tömörebb és minél nedvesebb a talaj, annál nagyobb a hőkapacitása.

b) Hővezető képesség (λ)

Az a hőmennyiség, ami egységnyi hőmérsékleti gradiens (m-kénti, 1 K hőmérséklet-különbség) esetén, a talaj egységnyi keresztmetszetű felületén 1 másodperc alatt átáramlik. Mértékegysége W/mK.

A talaj gyenge hővezető képessége a szigetelőréteggént funkcionáló laza talajfelszín szélsőséges hőingadozását és a felszín alatti réteg egyenletesen alacsony hőmérsékletét vonja maga után.

A zöldtetők esetén éppen ezt a tulajdonságot szeretnénk kihasználni, miszerint a talajréteg szigetelőként funkcionálhat épületeinken, de mivel értéke nem állandó, bizonyos határok között mozog, ezért további vizsgálatokat igényel pontosítása.

Míg a talaj hőkapacitás értékét meglehetősen nagy pontossággal meg tudjuk határozni, addig a hővezető képesség esetén számos probléma merül fel. A következőkben többféle módszert mutatunk be a talaj hővezetési tényezőjének a megállapítására, amelyek azon alapulnak, hogy a különböző talaj összetevők – úgy mint homok, agyag, iszap – méréssel illetve számítással meghatározott hővezetési tényezőinek értékét összehasonlítják.

c) Hődiffúziós tényező

Az aktív felület hőegyensúlyának egyik komponense a talajban fellépő hőáram, G (W/m²). Homogén közegben a Fourier-törvény alapján a következőképpen lehet kifejezni.

$$G = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (1)$$

ahol λ a hővezető képesség (W/mK), $\partial T / \partial z$ a hőmérséklet gradiens (K/m). A nem állandósult állapotban a hőáram a talajban a következő egyenlettel írható le.

$$C_v \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (2)$$

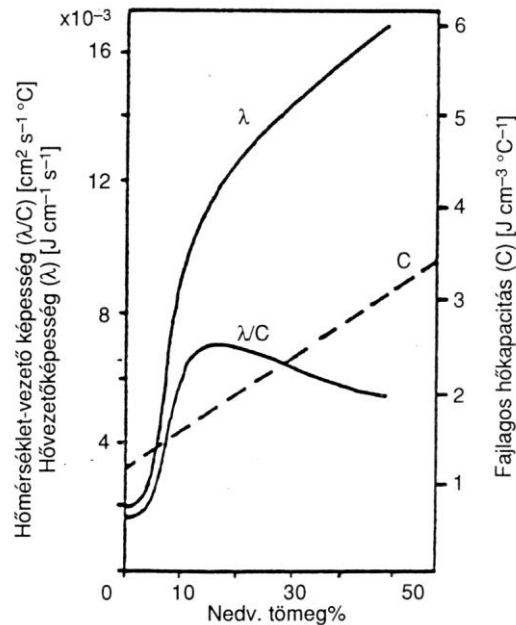
ahol C_v (J/m³K) a talaj hőkapacitása, t (s) az idő. Izotróp közegben az egyirányú hővezetés a következőképpen fejezhető ki:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad (3)$$

ahol α a hővezetési tényező és a hőkapacitás hányadosa, a talaj hődiffúziós tényezője.

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_v}. \quad (4)$$

Az α értéke a talaj felmelegedésre való hajlamát mutatja, és nagymértékben függ a nedvességtartalomtól. A talaj víztartalmának növekedésével egy ideig meredeken emelkedik, majd a maximum elérése után ismét csökken. A legnagyobb hőmérséklet-vezető képessége tehát a közepesen nedves talajnak van.



3. ábra A talaj fajlagos hőkapacitásának (C), hővezető képességének (λ) és hőmérséklet-vezető képességének ($K_T = \lambda/C$) változása a nedvességtartalomtól függően⁴

5.2. Hővezetési tényező számítása

A következőkben ismertetjük a különböző módszereket a talaj hővezető képességének mérésére illetve számítására.⁵

1. Módszer

A talaj hővezetésének meghatározása történhet oly módon, hogy mérjük a hő eloszlást állandó hő bevitel mellett egy pontszerű vagy vonalszerű hőforrás segítségével. Ebben az esetben a talaj felmelegedését a benne elhelyezett hőforrástól bizonyos távolságban észlelt hőmérsékletváltozásokkal lehet nyomon követni. Az α hődiffúziós tényező értékét a következő összefüggés adja.

$$\alpha = \frac{x^2}{2t_m}, \quad (5)$$

ahol x a hőforrás és a mérés helyének távolsága (cm), t_m a hőforrás behelyezésétől a maximális hőmérséklet eléréséig eltelt idő (s). A hővezetési tényező ezután: $\lambda = \alpha \cdot C_v$.

⁴ STEFANOVITS P., FILEP GY., FÜLEKY GY. Talajtan, 4. átdolgozott, bővített kiadás, Mezőgazda Kiadó, 1999., pp. 131-190.

⁵ USOWICZ BOGUSLAW, USOWICZ LUKASZ Thermal conductivity of soils — comparison of experimental results and estimation methods

2. Módszer

A de Vries-model a következő feltevésen alapszik. A talajt, mint három összetevő keverékét kezeli. Levegő, víz és szilárd részecskék halmaza. A talaj hővezetését az összetevők hővezetéseinek súlyozott átlagaként számítja ki. A víztartalmat nem csak folyékony vízként veszi figyelembe, hanem vízgőz formájában is. A levegő-vízgőz keverék hővezetési tényezőjét egyszerűen a két komponens hővezetési tényezőinek összegeként számolja.

3. Módszer

Az ún. nulla-illesztés módszere abból áll, hogy a nedvességtartalmat és a hőmérsékletet kis időközönként mérjük különböző mélységi pontokon. Kezdeti feltételként egy referencia szinten megbecsüljük a hővezetést. Ezen a referencia mélységi ponton a hővezetési tényező értéke a következő ($i=r$ mélységben).

$$\lambda_i = \frac{G_i}{\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_i} \quad (6)$$

A talaj hőáram sűrűsége, G , a referencia szint fölötti minden pontra a következő kifejezésből adódik:

$$G(z) = G(z_r) - \int_{z_r}^z \left(C_v \frac{\partial T}{\partial t} \right) dz \quad (7)$$

ahol C_v a hőkapacitás. A nulla-illesztés módszerében a talaj hővezetését az ún. kalometriás módszerrel és a hőmérséklet gradiens módszerével számoljuk, még hozzá oly módon, hogy a számítást azon a ponton kezdjük, ahol zéró hőmérséklet gradiens fordul elő.

4. Módszer

A Laplace transzformáció módszere, amely integrálja a Laplace transzformációt a talaj hővezetésének egyenletével.

$$\frac{d^2 L[T(z,t)]}{dz^2} - \frac{s}{\alpha} L[T(z,t)] = 0 \quad (8)$$

ahol a Laplace idő szerinti transzformáció a következőből adódik:

$$L[T(z,t)] = \int_0^{\infty} T(z,t) \exp(-st) dt \quad (9)$$

ahol $s \geq 5.0/t_{\max}$ a Laplace paraméter, t_{\max} pedig a kísérlet leghosszabb időtartama.

A transzformációt arra használjuk, hogy a talaj hődiffúzióját megállapítsuk, miközben a hőkapacitást mérjük, vagy számítjuk. A hővezetési tényezőt pedig a hőkapacitás és a hődiffúziós tényezőszorzataként kapjuk meg.

$$\lambda = \alpha \cdot C_v \quad (10)$$

5. Módszer

A statisztikai-fizikai modell a hőellenállás összefüggésein (Ohm-törvény, Fourier-törvény), a Kirchhoff-törvényeken és a polinomiális eloszláson alapszik. A talaj térfogat egysége a modell szerint szilárd részecskékből valamint víz és levegő részecskékből áll. Úgy kezeljük, mint egy elemi részecskékből álló rendszert, ebben az esetben gömbök, amelyek egymáson fekvő rétegeket képeznek. Feltételezzük, hogy a rétegek, illetve az egyes részecskék közötti kapcsolat megfelel egy sorosan illetve párhuzamosan kapcsolt hőellenállások rendszerének. A rendszer eredő ellenállását összehasonlítjuk az egységnyi térfogatú talajminta összes lehetséges részecske kombinációjából adódó hőellenállással, és így lehetőségünk van megbecsülni a talaj hővezetési tényezőjét.

6. Módszer

Numerikus módszer az egy dimenziós hővezetés egyenletének a megoldásán alapszik. Ez esetben a hődiffúziós együtthatót konstansnak feltételezzük, a hőkapacitást az alábbi egyenletből számoljuk, így megkaphatjuk a hővezetési tényezőt a (10) egyenletből.

$$C_v = (c_s + 4.19 \cdot 10^3 \theta_w) \rho, \tag{11}$$

ahol c_s a szilárd talajrészecskék fajhője (753 J/kgK), θ_w a talaj víztartalma (kg/kg), ρ pedig a talaj porozitása (kg/m³).⁶

Konklúzió

A szakirodalomban fellelhető fenti módszerek mindegyike jól használható a talaj hővezetésének megállapítására, feltéve, ha nincsenek magas hőmérséklet gradiensek és elhanyagoljuk a talaj páratartalmának hatását a hővezetésre. Ezek fennállása esetén a statisztikai-fizikai modell vagy a de Vries-módszer használható megbízhatóan, de ez utóbbi különös körtekintést igényel, főleg a súly értékek számításánál.

Az alábbi táblázatban megfigyelhetjük az egyes módszerekkel ugyanazokra a körülményekre számított hővezetési tényező értékeinek alakulását.

Átlagos léghőmérséklet	Nedvesség tartalom	Hőkapacitás	Hővezetési tényező (W/mK)						
			Módszerek						
(°C)	(m ³ /m ³)	(MJ/m ³ K)	1	2	2#	3	4	5	5#
25,2	0,259	2,34	1,13	1,21	1,55	1,13	1,04	1,15	1,17
32,3	0,282	2,43	1,20	1,34	1,63	0,96	1,09	1,17	1,19
26,9	0,276	2,40	1,18	1,34	1,59	1,13	1,14	1,17	1,19

2. táblázat Hővezetési tényezők számított értékei a fenti módszerekkel, 2# – de Vries-modell páratartalommal, 5# – statisztikai-fizikai modell páratartalommal ⁷

⁶ SIKORA AND KOSSOWSKI, Thermal conductivity and diffusivity estimations of uncompacted and compacted soils using computing methods. Polish J. Soil Sci., 26(1), 19-26, 1993.

⁷ USOWICZ BOGUSLAW, USOWICZ LUKASZ Thermal conductivity of soils — comparison of experimental results and estimation methods, pp. 7.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eddigi eredményekből és tapasztalatokból az alábbi következtetéseket tudjuk levonni.

- A stacioner hővezetési modell elegendő ahhoz, hogy a zöldtetőt a hővesztesség számításban figyelembe vegyük, de csakis a mérések eredményei alapján.
- Ahhoz, hogy egy olyan modellt tudjunk fölállítani, amely önmagában alkalmas a zöldtető hőtechnikai paramétereinek számításához, szükség van a nedvességtartalom mérésére is, ezáltal az instacioner állapot bevezetésére.
- A tárgyalt módszerek segítségével elegendően nagy pontossággal meghatározható a talajréteg hővezetési tényezője, így az időszakos nedvességtartalom meghatározásával a zöldtető rétegek számításba vehetők az épület hőtechnikai méretezésénél.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ALEXANDRI, E. AND P. JONES Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: Comparison with experimental results. *Building and Environment*, pp. 2835-2849., 2007
- [2] BARRIO, E.P.D., Analysis of green roofs cooling potential in buildings. *Energy and Buildings*, pp. 179-193., 1998
- [3] FLL Zöldtetők tervezési, kivitelezési és fenntartási irányelve – Zöldtetők irányelve – Magyar kiadás, ZMS kft., 2002
- [4] HIDY I., PREKUTA J., VARGA G. Flóratetők Tervezési és kivitelezési szempontjai, proNatur Kft, Budapest, 1995
- [5] HIEN, W.N., T.P. YOK, AND C. YU. Study of thermal performance of extensive rooftopgreenery systems in the tropical climate. *Building and Environment*, pp. 25-54., 2007
- [6] KÖHLER, M. Energetic Effects of Green roof system on the Urban Climate near to the ground, IGRA-Proceedings, 2004, pp. 72-79.
- [7] KÖHLER, M. Energetic aspects of green roofs, World Green Roof Congress, Conference transcript, Berlin, pp. 79-86., 2009
- [8] HORVÁTHNÉ PINTÉR JUDIT (szerk.) Zöldtetők tervezési és kivitelezési irányelvei, 2005: Második változatlan utánnnyomás, ÉMSZ, 2005
- [9] USOWICZ BOGUSLAW, USOWICZ LUKASZ Thermal conductivity of soils — comparison of experimental results and estimation methods, Eurosoil conference, 2004
- [10] SUNDAY E. ETUK, IDARA O. AKPABIO, E.M. UDOH Comparision of the thermal properties of clay samples as potential walling material for naturally cooled building design, *Journal of environmental sciences*, Vol. 15, No. 1. pp.65-68, 2003
- [11] GORDON MCINTOSH, BRENTON S. SHARRATT Thermal properties of soil, *The Physics Teacher*, Vol. 39., 2001
- [12] STEFANOVITS P., FILEP GY., FÜLEKY GY. Talajtan, 4. átdolgozott, bővített kiadás, Mezőgazda Kiadó, 1999., pp. 131-190.