

NÉPSZERŰ VÁROSI FAFAJOK ÁRNYÉKOLÓKÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA SZEGEDEN

TAKÁCS Ágnes, KISS Márton, GULYÁS Ágnes, KÁNTOR Noémi

Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék
6722 Szeged, Egyetem utca 2. e-mail: takacsagi@geo.u-szeged.hu

Kulcsszavak: városökológia, városi fák, árnyékhatás, transzmisszivitás

Összefoglalás: A városi faállomány számos aspektusból kedvezően befolyásolja egy város ökológiai állapotát. Például, klímamódosító potenciálja révén a fás vegetáció pozitívan hat a városi lakosság hőérzetére és komfortérzetére. A mikroklimatikus hatások feltárása céljából végzett terepi mérések, valamint modellfuttatások is kimutatták, hogy a fák elsősorban árnyékhatásuk révén képesek enyhíteni az emberi szervezetet érő hőstressz mértékét. A napsugárzás redukciójának hatékonyságát a lombzat transzmisszivitásának (napsugárzás-áteresztőképessége) mérőszámával írhatjuk le, melynek értéke nem csupán fajonként változik, de a lombkorona évszakos változásának és egészségi állapotának is függvénye. Ebben a tanulmányban négy, magyarországi viszonyok között gyakran előforduló városi fafaj (kislevelű hárs – *Tilia cordata*, japánakác – *Sophora japonica*, nyugati ostorfa – *Celtis occidentalis* és fehér vadgesztenye – *Aesculus hippocastanum*) árnyékolóképességét vizsgáljuk. A városi fás vegetáció – közép-európai klimatikus körülmények között kifejtett – kisléptékű hatására vonatkozóan még kevés az ismeretünk, ezért munkánkkal szeretnénk elősegíteni jövőbeli, ezzel foglalkozó tanulmányok megszületését. Ebből kifolyólag nagy hangsúlyt fektetünk a kutatás módszertani alapjaira, valamint kitérünk a gyakorlati megvalósítás nehézségeire is.

Bevezetés

A klímaváltozás, valamint a városi népesség világszerte tapasztalható növekedése fontos feladatokat jelöl ki mind a városökológia, mind a gyakorlati tervezés számára. Számos olyan tanulmányra van szükség, mely a természeti környezeti tényezők időbeli, valamint térbeli folyamatait tárja fel a speciális helyzetű és szerepű városökológiai rendszerekben (MEZŐSI et al. 2007). A tudományos munkáknak egy jelentős része a városklíma-jelenség mérésére, illetve modellezésére irányul (UNGER és SÜMEGHY 2002, UNGER et al. 2011). Ezek közül hosszú évek óta kiemelt figyelem övezi a városoknak a környező területekhez képest megváltozott hőmérsékleti viszonyait, részleteiben feltárva az ún. városi hősziget jelenségét (UNGER ET AL. 2014). A zömében mesterséges anyagokból álló, összetett városi felszín és az antropogén hőtermelés hatására fellépő hőmérsékleti többlet, valamint a városok csökkent átszellőzési képessége jelentősen növelik az emberi hőterhelés mértékét, ami megfelelő adaptációs lehetőségek feltárását, illetve kidolgozását igényli.

A városi zöldfelületek – különösképpen a városi faállomány – tekinthetőek az egyik legsokoldalúbb alkalmazkodási, s egyben mitigációs stratégiának, így védelmük és kiterjedésük növelése fontos feladat (XIAO et al. 1998, TYRVÄINEN et al. 2003, BALOGUN et al. 2014, NOWAK et al. 2014, HAASE et al. 2014). A növényzet – mint az egyik legfontosabb várostervezési elem – körültekintő alkalmazása révén nem csupán esztétikus, de a fenntarthatóság elveivel nagyobb összhangban lévő városkép alakítható ki (MADUREIRA és ANDRESEN 2014). A fentiek értelmében a városökológiai kutatások egyik fő irányvonala a növényzet környezeti szerepének pontos feltárására törekszik, valamint az általuk biztosított szerteágazó ökoszisztéma szolgáltatások kvantitatív értékelésére helyezi a hangsúlyt (LOVELL és TAYLOR 2013, HAASE et al. 2014). A megfelelő indikátorok és értékelési módszerek kidolgozása rendkívül fontos a gyakorlati várostervezés segítése szempontjából, melynek jelentőségét több nemzetközi szakpolitikai dokumentum és szervezet is hangsúlyozza (PERRINGS et al. 2011, TEEB 2011). A Zöld Infrastruktúrára alapozott fejlesztés az Európai

Unió 2020-ig szóló Biodiverzitás Stratégiájának fontos célkitűzései közt is szerepel (EURÓPAI BIZOTTSÁG 2011).

A fás vegetáció több aspektusból is kedvezően befolyásolja egy település klimatikus viszonyait, így mikro- és lokális léptékű hatásaik feltárása régóta szerepel a városökológiai kutatások palettáján (ANDRADE és VIEIRA 2007). A városi ökoszisztéma szolgáltatások elemzéséhez több ízben is kidolgoztak már indikátorokat a növényzet klíma-regulációs hatásának térképezésére, más szolgáltatásokkal közös integrált értékelésére. A fák széles körben ismert hűtőhatása miatt az értékelő eljárások többsége a növényzet léghőmérséklet-csökkentő hatását veszi figyelembe valamilyen módon (DOBBS et al. 2011, BREUSTE et al. 2013). Részben abból adódóan, hogy a fák természetes árnyékoló objektumként működnek, másrészt pedig fokozzák az evapotranspiráció mértékét, a nagyobb zöldfelületek jelentősen hűvösebbek lehetnek a környező beépített területeknél (BOWLER et al. 2010, LIN és LIN 2010, NOURI et al. 2013). Ez a jelenség (ún. Park Cool Island) a felszínhőmérsékletet tekintve különösen számottevő különbségeket jelenthet, ami műholdfelvétel-alapú elemzésekkel is jól kimutatható (CAO et al. 2010, REN et al. 2013).

Fontos leszögezni ugyanakkor, hogy az emberi hőérzetet a léghőmérsékleten kívül jelentősen befolyásolja a levegő nedvességtartalma, a légáramlás, valamint az ún. átlagos radiációs hőmérséklet (mean radiant temperature) is (MAYER 2008). Utóbbi az emberi szervezetet érő rövid- és hosszúhullámú sugárzási komponensek hőhatását fejezi ki °C mértékegységben (KÁNTOR és UNGER 2011). Számos külföldi és hazai vizsgálat kimutatta már, hogy az emberi testet érő termikus terhelés nagysága nyári időszakban elsősorban ennek a paraméternek a függvénye (MAYER et al. 2008, SHASHUA-BAR et al. 2011, TAKÁCS 2013, ÉGERHÁZI et al. 2013, 2014, KÁNTOR et al. 2016). Az átlagos radiációs hőmérséklet aktuális értékét és változását egy adott helyszínen a sugárzási viszonyok határozzák meg. Elsősorban az, hogy az adott pontot milyen mértékben és mennyi ideig éri direkt napsugárzás, ami az árnyékolás függvénye. Másodsorban pedig az, hogy az ott található felszínnek milyen mértékben verik vissza a napsugárzást, illetve milyen mértékben nyelik el és sugározzák vissza hosszúhullámú sugárzás formájában, ami a felszínborítás, illetve a környező tereptárgyak anyagi minőségének függvénye (ERELL et al. 2011). Az emberi szervezetet érő nyári hőterhelés mérséklése tehát legkézenfekvőbb módon árnyékolás révén oldható meg, vagyis e szempontból (is) érdemes kiemelt figyelmet szentelni a városi fás vegetációnak.

A fentiek értelmében a növényzet hőstressz-mérséklő hatásának kutatása során az egyik legalapvetőbb feladat a városi környezetben gyakran alkalmazott fafajok árnyékolóképességének megállapítása, összehasonlítása. Az évszakosan változó időjárási háttérrel rendelkező, meleg / forró nyarú területeken olyan fafajok telepítése javasolt, melyeknek a lombfakadása tavaszra tehető, emellett teljes kifejlődésükkor kiterjedt lombkoronával rendelkeznek, s lombozatuk napsugárzásra vonatkozó *transzmisszivitása* (áteresztőképessége) viszonylag kicsi.

Jelen tanulmány néhány, hazai körülmények között gyakran alkalmazott városi fafaj árnyékolóképességének vizsgálatával foglalkozik, s Szeged első, 13 napot felölelő transzmisszivitás mérésorozatának tapasztalataira támaszkodik. A különböző fajok napsugárzás-áteresztőképességére vonatkozó adatok közvetlenül hasznosíthatók lehetnek a gyakorlatban, ugyanakkor erre vonatkozó eredményekkel még kevés kutatás szolgált ez idáig, és a méréssel kapcsolatos módszertani tapasztalat is csekély. Különösképpen igaz ez a hosszantartó, több évszakban kivitelezett vizsgálatokra. Éppen ezért, a további hasonló jellegű munkák elősegítése érdekében a méréssel kapcsolatos módszertani tapasztalatok ismertetése is dolgozatunk céljai között szerepel.






Vizsgált fajok, helyszínek és módszerek

A transzmisszivitás értékek kiszámításához szükséges mérésorozatot 2014 nyarán indítottuk el a Dél-Alföldi régió legnagyobb városában, Szegeden (é. sz. 46°15', k. h. 20°9'). A vizsgálathoz négy, közép-európai klímátikus körülmények közt gyakran előforduló városi fafajt választottunk ki:

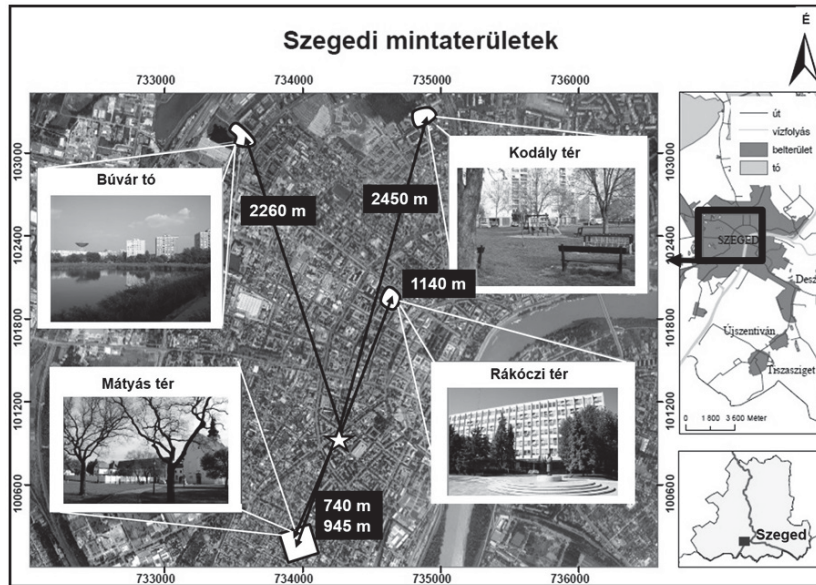
- kislevelű hárs – *Tilia cordata*
- japánakác – *Sophora japonica*
- nyugati ostorfa – *Celtis occidentalis*
- fehér vadgesztenye – *Aesculus hippocastanum* (1. táblázat).

Ezek a fajok nem csupán Szegeden képviselik magukat szép számmal, de Magyarország többi városában is gyakran láthatjuk őket parkokban, tereken vagy utcai sorfaként.

1. táblázat A vizsgálatba bevont szegedi faegyedek jellemzői
Table 1. Attributes of the investigated tree specimens in the city of Szeged

					
Latin név	<i>Tilia cordata</i>	<i>Sophora japonica</i>	<i>Celtis occidentalis</i>	<i>Aesculus hippocastanum</i>	<i>Aesculus hippocastanum</i>
Magyar név	Kislevelű hárs	Japánakác	Nyugati ostorfa	Fehér vadgesztenye	Fehér vadgesztenye
Terület	Mátyás tér	Mátyás tér	Bűvár tó	Rákóczi tér	Kodály tér
Koordináták	46°14'30"E 20°08'15"K	46°14'25"E 20°08'08"K	46°16'02"E 20°07'53"K	46°15'26"E 20°08'42"K	46°16'07"E 20°08'56"K
Teljes magasság [m]	15,5 m	12 m	9 m	15 m	13,5 m
Törzsmagasság [m]	2,5 m	3 m	1,8 m	2 m	2,5 m
Korona átmérő [m]	9 m	12 m	14 m	10 m	9 m
Törzsátmérő [cm]	70,5 cm	75 cm	70 cm	78 cm	57 cm

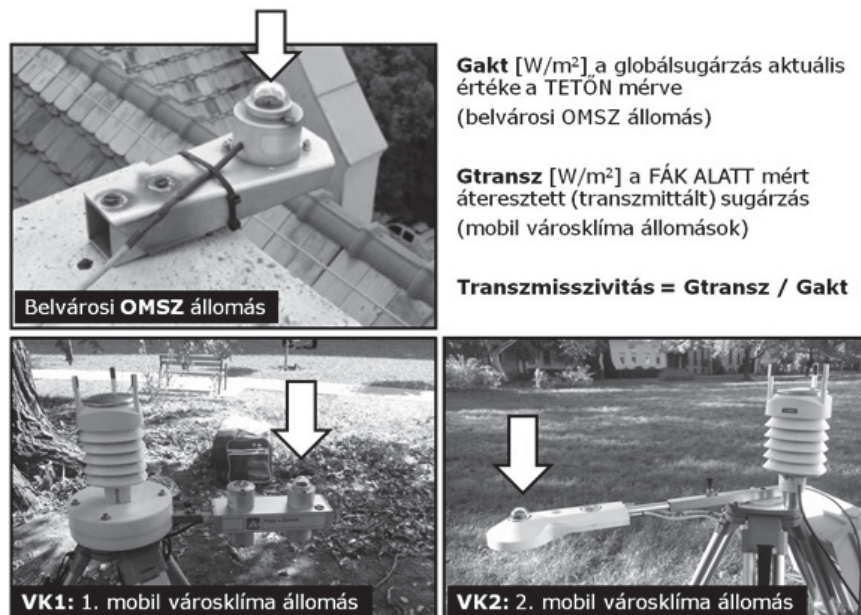
A vizsgált faegyedek és a mintaterületek kijelölésekor fontos szempont volt, hogy a kiválasztott fa egészséges és kifejlett példány legyen (1. táblázat). Továbbá arra is kiemelt figyelmet fordítottunk, hogy a mérési periódus során (tipikusan 10:00 – 16:00 között) más objektumok (vagyis más fák vagy épületek) hatása ne befolyásolja számottevő mértékben a mérési eredményeket. Az ideális mérési helyszín kiválasztása érdekében a konkrét mérésorozatot több szegedi terepbejárás előzte meg. Megfelelő állapotú és elhelyezkedésű *Tilia cordata* és *Sophora japonica* példányt a Mátyás téren találtunk (1. ábra). A kiválasztott *Celtis occidentalis* a Bűvár tó mellett áll, a vizsgálandó *Aesculus hippocastanum* egyedet pedig a Rákóczi téren jelöltük ki. Erről az utóbbi fáról azonban a nyári mérésorozat közepén láthatóvá vált, hogy a lombzatát megtámadta a vadgesztenye-aknázómoly (*Cameraria ohridella*) – ami a lomb idő előtti elvesztését okozza – így a vizsgálatok folytatásához új, egészséges egyedet jelöltünk ki a Kodály téren (1. ábra).



1. ábra A vizsgálat mintaterületei, illetve a kiválasztott faegyedek légvonalbeli távolsága a belvárosi OMSZ állomástól

Figure 1. Study areas, as well as the aerial distance of the investigated tree specimens from the inner-city weather station

A vizsgálatba bevont fák transzmisszivitás értékeinek meghatározásához szükség volt a globálsugárzás (a felső hemiszféra irányából érkező rövidhullámú sugárzás: direkt és szórt napsugárzás összessége) értékeinek mérésére egyrészt a fák lombkoronája alatt (transzmittált, vagyis áteresztett globálsugárzás – G_{transz} [W/m^2]), másrészt pedig egy égboltkorlátozástól mentes, lehetőleg közeli ponton (globálsugárzás aktuális értéke – G_{akt} [W/m^2]). A fajspecifikus transzmisszivitás értékek a két paraméter hányadosaként állnak elő: $transzmisszivitás = G_{transz} / G_{akt}$ (2. ábra).



2. ábra A transzmisszivitás számításához szükséges sugárzások mérése Kipp&Zonen sugárzásmérőkkel: a Szeged belvárosában elhelyezkedő egyetemi OMSZ állomás piranométere, valamint a fák alatti mérésekhez felhasznált mobil állomások (kiemelve a műszerek piranométereit)

Figure 2. Radiation flux density measurements with Kipp&Zonen radiometers for transmissivity calculation: pyranometer of the inner-city weather station, as well as the mobile urban climate stations under the trees, highlighting their pyranometers

A fák alatti méréseket két speciális városklíma-állomással hajtottuk végre, egy napon párhuzamosan két kiválasztott faj lombkoronája alatt (2. ábra, 2. táblázat). Az állomásokat a fatörzstől északi irányba 2 méter távolságra helyeztük, ügyelve a lombzaton áteresztett sugárzást mérni hivatott piranométer vízszintezésére és déli tájolására. A mobil városklíma-állomások felszereltsége lehetővé teszi a sugárzási mérleg rövid- és hosszuhullámú komponenseinek szeparált mérését (Kipp & Zonen nettó sugárzásmérő), valamint egyéb mikroklimatológiai paraméterek rögzítését is (Vaisala WXT 520). A két állomás csupán a sugárzásmérők típusában tér el: az egyik állomás a korábbi gyártmányú CNR 1, míg a két évvel fiatalabb állomás már CNR 4 műszerrel van felszerelve. A nettó sugárzásmérő alapbeállítása esetén egy piranométer és egy pirgeométer a felső hemiszférából, míg egy másik piranométer és pirgeométer az alsó hemiszférából érkező rövid-, illetve hosszuhullámú sugárzást detektálja.

2. táblázat A 2014-es szegedi transzmisszivitás mérések
Table 2. Transmissivity measurements in Szeged during 2014

<i>Tilia cordata</i>	<i>Sophora japonica</i>	<i>Celtis occidentalis</i>	<i>Aesculus hippocastanum</i>
2014-07-01	2014-06-27	2014-07-02	2014-07-04
2014-07-25		2014-07-24	
2014-08-28		2014-09-09	
2014-09-18			
2014-09-29		2014-09-30	
2014-10-28		2014-11-04	

A fák lombkoronájára jellemző transzmisszivitás-értékek meghatározásához a felső piranométerek által mért 1 perces átlagadatokat használtuk, mint G_{transz} értékeket (2. ábra). A globálisugárzás aktuális értékét (G_{akt}) a Szegedi Tudományegyetem Ady téri épületének tetején üzemelő piranométer (Kipp & Zonen CM 11) rögzítette, a talajszint felett kb. 18 m magasságban (1. és 2. ábra). Ez a műszer az Országos Meteorológiai Szolgálat által Szeged belvárosába telepített műszeregység részét képezi, s mint ilyen, adatsorának felbontása 10 perces. Az összevethetőség kedvéért a fák alatt mért 1 perces adatokból is 10 perces átlagértékeket képeztünk a transzmisszivitás-értékek kiszámítása előtt.

A méréssorozatot 2014 júniusának végén kezdtük el, s novemberig összesen 13 napról állt rendelkezésünkre mérési adat. Az eredeti koncepció szerint a méréseket igyekeztünk derült időjárási helyzetű napok nappali óráira időzíteni és minden faj alatt legalább havi egy alkalommal mérni egy éven keresztül, hogy a lombkorona évszakos változásának hatásait nyomon tudjuk követni (2. táblázat). A nyári időszak alatt sajnálatos módon többször előfordult, hogy a tiszta égboltviszonyok nem tartottak ki a mérési órák teljes hossza alatt.

A sugárzási adatokból számított transzmisszivitás értékek alakulását rendszerint több tényező is befolyásolja. A rendelkezésre álló néhány hónapnyi mérési eredmény elemzésével két kérdésre keressük a választ:

- Kimutatható-e a vizsgált fajok áteresztőképessége közt számottevő különbség, és ha igen, akkor milyen mértékű, s az évnek mely szakában a legjelentősebb?
- Milyen mértékben befolyásolja a lombkorona állapotváltozása (lombhullás) a napsugárzás-áteresztőképességet különböző fajok esetén?

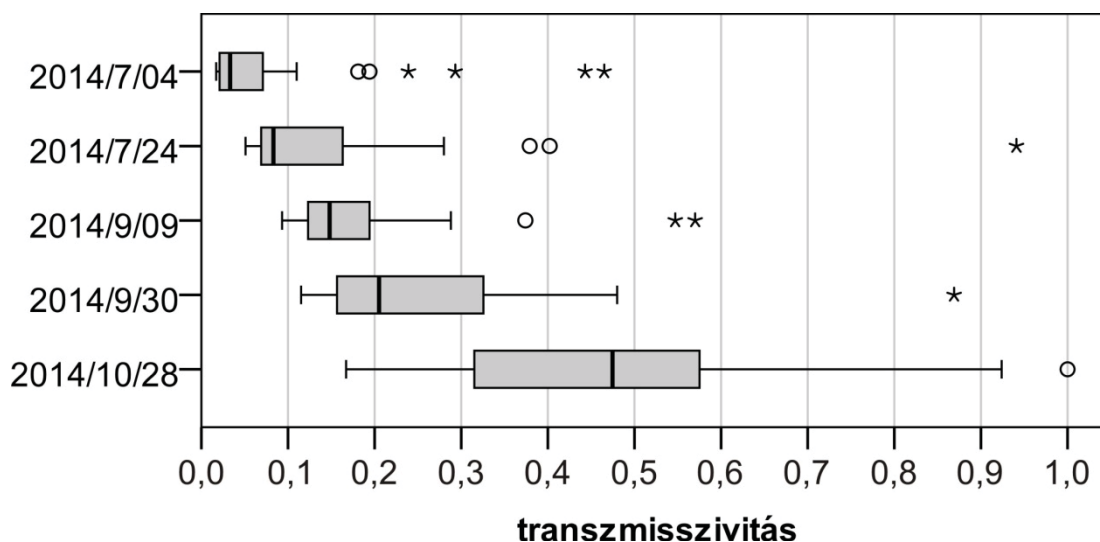
A számításokhoz, valamint az eredmények ábrázolásához a Microsoft Excel és a PASW Statistics programokat alkalmaztuk. Mivel a transzmisszivitás-mérés természeténél fogva eredményezett kiugróan magas értékeket (direkt napsugár pillanatnyi áttűzése a lombkorona résein), s a kapott adatok általában az alacsonyabb értékek körül tömörülnek, ezért a transzmisszivitás értékeket megfelelőbbnek láttuk a minta eloszlásával, pontosabban a percentilis értékekkel jellemezni, s nem csupán az extrém értékekre érzékeny számtani átlaggal. Ugyanezen megfontolásból az éves, illetve a fajközi összevetéshez elsősorban a

minták medián-értékeit (50%-os percentilis), illetve az interkvartilis tartományt (25 és 50%-os percentilis közé eső értékeket) alkalmaztuk.

Eredmények és megvitatásuk

A lombkorona évszakos állapotváltozása

Mivel a vadgesztenye mérési napjai közül került ki a legtöbb olyan eset, amikor a mérés majdnem teljes hossza alatt derült égboltviszonyok uralkodtak, így a lombzat változásával összefüggő napsugárzásáteresztő-képesség változását ennek a fajnak a példáján mutatjuk be. A vizsgált nyári és őszi napokra kapott transzmisszivitás-értékek gyakorisági eloszlását a 3. ábra dobozdiagramjai szemléltetik, s tömören a 3. táblázat foglalja össze a különböző napi eloszlásokra jellemző statisztikákat. A vadgesztenye lombjának hervadása, illetve lehullása tisztán leolvasható a kapott eredményekből: nyárból ősze fordulva a transzmisszivitás-értékek számottevően megnövekedtek, ahogyan ez az eloszlásokat jellemző valamennyi percentilis-érték emelkedéséből látható. Míg a vadgesztenye lombkoronájának teljességgel ép állapotában (2014. július 4-én) a számított transzmisszivitás-értékek fele 0,033 alatt maradt, addig az utolsó mérési napon (2014. október 28-án) a medián értéke már 0,475-nek adódott (3. ábra, 3. táblázat).



3. ábra Az *Aesculus Hippocastanum* transzmisszivitás értékeinek gyakorisági eloszlását mutató dobozdiagramok különböző napokon

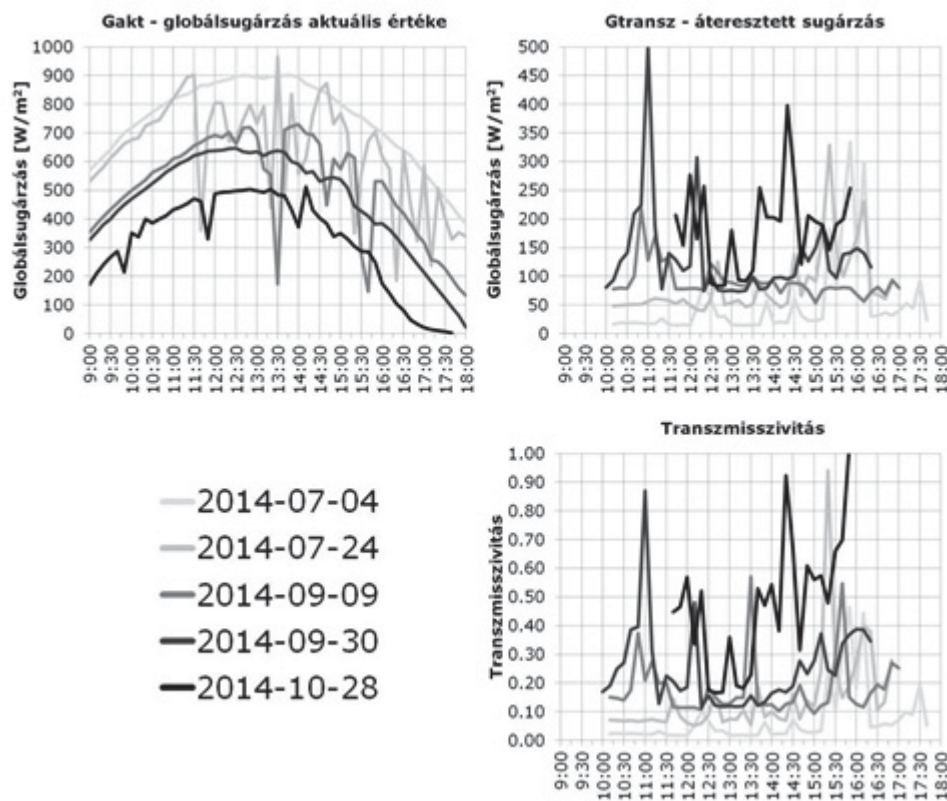
Figure 3. Box-plots indicating the frequency distribution of the *Aesculus Hippocastanum*'s transmissivity in different days of the year

3. táblázat Az *Aesculus Hippocastanum* egyedre számított transzmisszivitás eloszlását leíró percentilis értékek a különböző mérési napokon

Table 3. Percentile values characterizing the distribution of *Aesculus Hippocastanum*'s transmissivity in different times of the year

Dátum	percentilisek				
	10	25	50	75	90
2014-07-04	0.017	0.021	0.033	0.071	0.208
2014-07-24	0.061	0.069	0.083	0.166	0.278
2014-09-09	0.114	0.123	0.148	0.195	0.284
2014-09-30	0.119	0.155	0.205	0.337	0.387
2014-10-28	0.173	0.293	0.475	0.584	0.767

Néhány fontosabb megállapítás alátámasztásához szükségesnek tartottuk, hogy a transzmisszivitás, illetve az áteresztett és az aktuális globálsugárzás napi változásait grafikusán is ábrázoljuk (4. ábra). A globálsugárzás-görbék harangalakja tanúskodik arról, hogy a kiválasztott napokon szinte mindvégig derült időjárási körülmények uralkodtak (leszámítva a július végi napot). Annak ellenére, hogy nyárból az ősz vége felé haladva a napmagasság csökkenésével párhuzamosan a globálsugárzás aktuális értékei is csökkentek (G_{akt} maximális értékei az első nap 900 W/m²-es értékéről az utolsó napon közel 500 W/m²-re csökkentek), a fa alatt mért áteresztett sugárzás (G_{transz}) egyre magasabb értékeket vett fel. Az áteresztett sugárzás mennyisége az első napon mindvégig az aktuális globálsugárzás 50%-a alatt maradt, ezzel szemben az utolsó mérési napon az esetek több mint felében meghaladta az 50%-ot. A fent említetteknek megfelelően ennek az a triviális magyarázata, hogy a fa lombkoronája nyáron még teljesen ép volt, így jelentős mértékű árnyékolásra volt képes. A G_{transz} értékeinek az utolsó mérési napon látható, dél körüli jelentősebb visszaesése a törzs, illetve a fő vázágak árnyékhatásának következménye (4. ábra).



4. ábra A globálsugárzás napi menete az *Aesculus Hippocastanum* mérési napjain, valamint a faj napsugárzás áteresztőképességének évszakos változása

Figure 4. Daily course of global radiation on the measurement days of *Aesculus Hippocastanum*, as well as the yearly change of solar permeability in the case of this species

Az eredeti mérési koncepció gyenge pontjára rámutató jellegzetességre lehetünk figyelmesek a 2014. szeptember 9-i mérési nap példáján (4. ábra). Helyi nyári időszámítás szerinti 13:30 és 15:40 órákor a transzmisszivitás-értékek hirtelen megugrása tapasztalható, mely azonban nem magyarázható az áteresztett sugárzás értékeinek emelkedésével, azok ugyanis közel ugyanolyan értéken maradtak az egész nap folyamán (különösen 11:30 után). A transzmisszivitás, vagyis a lombzat áteresztőképességének megemelkedése csupán látszólagos ezekben az esetekben, s valójában a globálsugárzás hirtelen visszaesésének számlájára írható (G_{transz}/G_{akt} hányados nevezőjének csökkenése eredményezi, s nem a számláló emelkedése). Amennyiben ez a „háttéradat” (G_{akt}) a vizsgált fák közvetlen

környezetéből (vadgesztenye esetén ugyancsak a Kodály térről) származna, s nem a 2450 méter távolságban elhelyezkedő belvárosi OMSZ állomásról, úgy a fa alatti átérésztett sugárzás (G_{transz}) adatnak is vissza kellett volna esnie az említett időpontokban. Ehelyett valószínűleg az történt, hogy az egyetemi állomás piranométerére egy-egy rövid időszakra árnyékot vetett egy nagyobb felhő, melynek hatása azonban a két pont közötti távolság révén nem érvényesült a fás mérőhelyen.

Fajok közötti eltérések

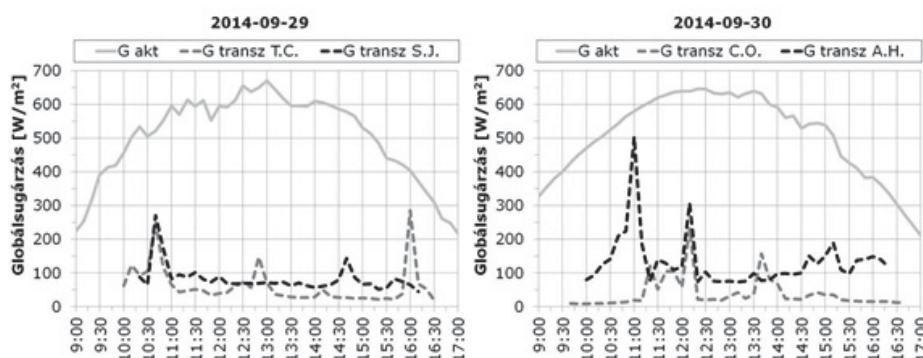
Mivel az előző bekezdésekben vázolt probléma (látszólagos transzmisszivitás-növekedés) több, változékony égboltviszonyokkal jellemezhető mérési napon is felmerült, a fajközi összehasonlítást olyan mérési napok példáján végezzük el, amikor a folyamatosan derült égboltnak köszönhetően ennek hatása egyértelműen kizárható. Megfelelő időjárási háttérükből és közelségükből kifolyólag a szeptember végi mérési napokat választottuk ki e célra (4. táblázat, 5. és 6. ábrák).

4. táblázat A különböző fajokra számított transzmisszivitás eloszlását leíró percentilis értékek a szeptember végi mérési napokon (2014-09-29 és 2014-09-30)

Table 4. Percentile values characterizing the distribution of transmissivity in different species in the end of September (29/Sep/2014 and 30/Sep/2014)

Faj	percentilisek				
	10	25	50	75	90
<i>Celtis occidentalis</i>	0.020	0.032	0.041	0.069	0.166
<i>Tilia cordata</i>	0.046	0.050	0.077	0.129	0.225
<i>Sophora japonica</i>	0.105	0.107	0.129	0.160	0.208
<i>Aesculus hippocastanum</i>	0.119	0.155	0.205	0.337	0.387

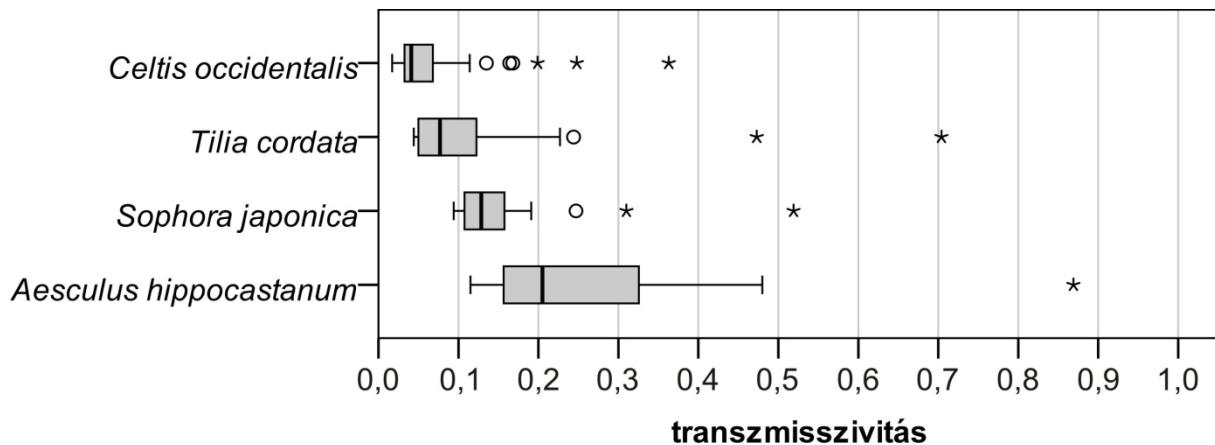
Az 5. és 6. ábrákon, valamint a 4. táblázat értékeiben látható, hogy 2014. szeptember 29-én párhuzamosan vizsgált *Tilia cordata* és *Sophora japonica* közül az utóbbi lombozata jellemezhetőbb nagyobb átérésztőképességgel. A különbség a következő napon vizsgált *Celtis occidentalis* és *Aesculus hippocastanum* között még markánsabb; utóbbi egyértelműen nagyobb és változékonyabb átérésztőképességgel jellemezhető. Míg a *Celtis occidentalis* transzmisszivitás értékei az esetek 75%-ában 0,07 alatt maradtak és a kiugró értékek sem emelkedtek soha 0,04 fölé, az *Aesculus hippocastanum* értékei mind 0,1, sőt az esetek felében 0,2 feletti, valamint sokkal nagyobb értékűek a kiugrások (5. és 6. ábra).



5. ábra A különböző fajok (*T.C.* – *Tilia Cordata*, *S.J.* – *Sophora Japonica*, *C.O.* – *Celtis Occidentalis* és *A.H.* – *Aesculus Hippocastanum*) napsugárzás átérésztőképességének összevetése két egymást követő derült őszi napon (G_{akt} – a globálisugárzás aktuális értéke, G_{transz} – a fa alatt mért átérésztett sugárzás)

Figure 5. Comparison of the solar permeability of different species (*T.C.* – *Tilia Cordata*, *S.J.* – *Sophora Japonica*, *C.O.* – *Celtis Occidentalis* és *A.H.* – *Aesculus Hippocastanum*) on consecutive and clear autumn days (G_{akt} – actual value of global radiation, G_{transz} – transmitted radiation measured under the tree)

A négy fafaj transzmisszivitás-értékeinek gyakorisági eloszlását szemléltető dobozdiagramokra (6. ábra) tekintve egyértelműen felállítható az árnyékoláshatékonyági sorrend. A legerősebb árnyékhatással a *Celtis occidentalis* rendelkezik, 0,041-es medián értékkel, valamint igen szűk interkvartilis (0,032–0,069) terjedelemmel (4. táblázat). Ezt a fajt a *Tilia cordata* követi (medián: 0,077), majd a *Sophora japonica* (0,129), s végül az *Aesculus hippocastanum* (0,205). A szeptember végi állapotban utóbbi faj nem csupán nagyobb transzmisszivitás értékekkel bír, de azok eloszlása is tágabb interkvartilis tartományt ölel fel (0,155–0,337). Ezzel szemben a többi faj átérésztőképességét jellemző értékek sokkal szűkebb tartományban összpontosulnak.



6. ábra A négy vizsgált fafaj szeptember végi (2014-09-29 és 2014-09-30) állapotát jellemző transzmisszivitás értékek

Figure 6. Transmissivity values of different tree species at the end of September (29/Sep/2014 and 30/Sep/2014)

Terepi tapasztalatainkkal összecseng az *Aesculus hippocastanum* szeptember végi utolsó helye az árnyékolási rangsorban: a négy vizsgált fa közül ez a faj kezdi ugyanis legkorábban lehullajtani a leveleit, így magasabb transzmisszivitása a fán lévő kevesebb levéllel magyarázható. Ezt a fajt a *Tilia cordata* és a *Celtis occidentalis* követi az őszi lombvesztés időzítését tekintve (nagyjából egy időszakban), majd a *Sophora japonica* zárja a lombhullási sort. Ehhez képest a *Sophora japonica* nagyobb átérésztőképességgel rendelkezett a szeptember végi napokon, mint a *Tilia cordata* és a *Celtis occidentalis*, ami tehát nem a fán lévő levélmennyiséggel, hanem a levelek összfelületével, illetve a levélsűrűséggel (LAI – leaf area index, LAD – leaf area density) van összefüggésben. A *Tilia cordata* és a *Celtis occidentalis* egyrészt nagyobb méretű levelekkel, másrészt jóval sűrűbb levélzettel rendelkeznek, mint a *Sophora japonica*.

Fontos megjegyezni azonban, hogy a lombfakadási sorrend is hasonlóképpen alakul tavasszal: az *Aesculus hippocastanum* nyitja és a *Sophora japonica* zárja a sort. Ezért egy későbbi, minden évszakot magában foglaló elemzés jóval realisabb képet fog majd nyújtani a vizsgált fajok árnyékoló képességének hatékonyságáról, illetve arról, hogy a különböző évszakok bioklimatikus viszonyait tekintve mennyire kedvező (vagy éppen kedvezőtlen) az árnyékolóhatásuk.

Következtetések és kitekintés

A tanulmányunkban bemutatott néhány hónapos mérésorozat adatai nem elegendőek általánosan alkalmazható következtetések levonására az egyes fafajok pontos árnyékoló-képességével kapcsolatban. Ugyanakkor, az eredményeink alapján jól felismerhetőek a lombhullató fák transzmisszivitás értékét befolyásoló tényezők (lombozat évszaki változása, felhősödés) hatásai. Ezek a megállapítások pedig módszertani segítséget adhatnak a témával kapcsolatos mélyebb elemzésekhez, valamint további fajok vizsgálatához.

A felhősödésre és a mérőpontok közötti távolságra visszavezethető probléma több fafaj esetében többször eredményezte a transzmisszivitás értékek hirtelen megugrását a G_{transz}/G_{akt} hányados nevezőjének csökkenése, s nem pedig a számláló emelkedése által. Továbbá, olyan szituációk is előfordultak néha, melyek során a fák alatt magasabb globálsugárzás értéket mértünk, mint a tetőn. Az ilyen esetekre az a magyarázat adható, hogy míg az egyetemi épület tetejére telepített műszerre árnyékot vetett egy adott felhő (és így az ott mérhető G_{akt} lecsökkent), addig a tőle távolabb lévő mérési tereket zavartalanul érthette a direkt sugárzás. Sőt a felhők oldaláról nagymértékben szóródó rövidhullámú sugárzási komponensek jelentősen megnövelhetik a más pontokon mért globálsugárzás aktuális értékét (annak szórt komponensét), melyek így a haranggörbeszerű lefutáshoz képest magasabbra szökő értékeket is tartalmazhatnak (UNGER és SÜMEGHY 2002). A transzmisszivitás értékek ilyen látszólagos megugrásának problémáját a 2015-ös mérések során a mérési koncepció újrarendelésével igyekeztünk orvosolni.

A 2015-ben kivitelezett – tavasztól őszig tartó – újabb mérésorozatban elhagytuk az egyetem tetejére telepített piranométer által szolgáltatott 10 perces felbontású globálsugárzás adatokat, mint referenciaértékeket. Ehelyett a vizsgált területeken, a fák közelében mértük a G_{akt} értékeket is. Az egyik mobil városklíma-állomást (VK1) továbbra is a fák lombkoronája alá helyeztük, a másikat (VK2) pedig ugyanazon területnek egy nyitott, nagy égbolttáthatósági indexszel (SVF – sky view factor) jellemezhető pontjára.

A „látszólagos transzmisszivitás-növekedés” problémájának megoldódása mellett a percenkénti adatregisztrációnak köszönhetően jóval több mérési adathoz jutottunk 2015-ben. Összességében az új mérési elrendezés sokkal részletesebb, többretű analízist tett lehetővé, mint az egyszerű transzmisszivitás-számítás (TAKÁCS ET AL. 2016).

Az egyes faegyedekre vonatkozó mérések és számítások mellett szintén indokolt annak a vizsgálata, hogy az utcai fasorok vagy nagyobb facsoportok klimatikus hatása hogyan érvényesül mikro-, illetve lokális léptékben, továbbá, hogy a nagyobb területeket érintő városfejlesztési beavatkozások tervezésekor mely városrészeket és milyen fajok telepítésével érdemes előnyben részesíteni. Ennek érdekében hosszabb távú kutatásai céljaink között szerepel a különböző közterület-kialakítási alternatívák hőstresszmérséklő hatásának összevetése, valamint egy hazai nagyváros (Szeged) faállományának bioklíma-javító hatásának térképezése.

A hazai települési zöldfelület-menedzsment egyik aktuális kérdése a legmegfelelőbb zöldfelület-értékelési módszerek kidolgozása, illetve a meglévők aktualizálása a klímatudatos várostervezés igényeinek megfelelően. Ehhez nagyban hozzájárulhatnak – az árnyékhatásra vonatkozóan – a kutatásaink egyedszintű eredményei. A városi fajok lokális léptékű sugárzás- és bioklíma-módosító hatására vonatkozó térképezési módszertan kidolgozása és első alkalmazása pedig az EU Biodiverzitás Stratégiájában szereplő szakpolitikai célokhoz is hozzájárulhat.

Irodalom

- ANDRADE H., VIEIRA R. 2007: A climatic study of an urban green space: The Gulbenkian park in Lisbon (Portugal). *Finisterra* 42: 27–46.
- BALOGUN A.A., MORAKINYO T.E., ADEGUN O.B. 2014: Effect of tree-shading on energy demand of two similar buildings. *Energy and Buildings* 81: 305–315.
- BOWLER D.E., BUYUNG-ALI L., KNIGHT T.M., PULLIN A.S. 2010: Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* 97: 147–155.
- BREUSTE J., QURESHI S., LI J. 2013: Scaling down the ecosystem services at local level for urban parks of three megacities. *Hercynia* 46: 1–20.
- CAO X., ONISHI A., CHEN J., IMURA H. 2010: Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning* 96: 224–231.
- DOBBS C., ESCOBEDO F.J., ZIPPERER W.C. 2011: A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape Urban Planning* 99: 196–206.

- ÉGERHÁZI L.A., KÁNTOR N., GÁL T. 2013: Evaluation and modelling the micro-bioclimate conditions of a popular playground in Szeged, Hungary. *International Review of Applied Sciences and Engineering* 4: 57–61.
- ÉGERHÁZI L.A., KOVÁCS A., TAKÁCS Á., ÉGERHÁZI L. 2014: Comparison of the results of two micrometeorological models and measurements. *Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis* 47–48: 33–42.
- ERELL E., PEARLMUTTER D., WILLIAMSON T. 2011: *Urban microclimate: Designing the spaces between buildings*. Earthscan, London.
- EURÓPAI BIZOTTSÁG 2011: Életbiztosításunk, természeti tőkénk: a biológiai sokféleséggel kapcsolatos, 2020-ig teljesítendő uniós stratégia. – COM (2011) 244, Brüsszel, 19 pp.
- HAASE D., LARONDELLE N., ANDERSSON E., ARTMANN M., BORGSTRÖM S., BREUSTE J., GOMEZ-BAGGETHUN E., GREN A., HAMSTEAD Z., HANSEN R., KABISCH N., KREMER P., LANGEMEYER J., RALL E.L., MCPHEARSON T., PAULEIT S., QURESHI S., SCHWARZ N., VOIGT A., WURSTER D., ELMQVIST T. 2014: A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation. *Ambio A Journal of the Human Environment* 43: 413–433.
- KÁNTOR N., UNGER J. 2011: The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment – the mean radiant temperature. *Central European Journal of Geosciences* 3: 90–100.
- KÁNTOR N., KOVÁCS A., TAKÁCS Á. 2016: Small-scale human-biometeorological impacts of shading by a large tree. *Open Geosciences* 8: 231–245.
- LIN B.S., LIN Y.J. 2010: Cooling Effect of Shade Trees with Different Characteristics in a Subtropical Urban Park. *HortScience* 45: 83–86.
- LOVELL S.T., TAYLOR J.R. 2013: Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology* 28: 1447–1463.
- MADUREIRA H., ANDRESEN T. 2014: Planning for multifunctional urban green infrastructures: Promises and challenges. *Urban Design International* 19: 38–49.
- MAYER H. 2008: KLIMES – a joint research project on human thermal comfort in cities. *Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg* 17: 101–117.
- MAYER H., HOLST J., DOSTAL P., IMBERY F., SCHINDLER D. 2008: Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. *Meteorologische Zeitschrift* 17: 241–250.
- MEZŐSI G., MUCSI L., RAKONCZAI J., GÉCZI R. 2007: A városökológia fogalma, néhány elméleti kérdése. In: Mezősi G. (szerk.): *Városökológia. Földrajzi Tanulmányok I.* JATEPress, Szeged, pp. 9–17.
- NOURI H., BEECHAM S., KAZEMI F., HASSANLI A.M., ANDERSON S. 2013: Remote sensing techniques for predicting evapotranspiration from mixed vegetated surfaces. *Hydrology and Earth System Sciences* 10: 3897–3925.
- NOWAK D.J., HIRABAYASHI S., BODINE A., GREENFIELD E. 2014: Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution* 193: 119–129.
- PERRINGS C., DURAIAPPAN A., LARIGAUDERIE A., MOONEY H. 2011: The Biodiversity and Ecosystem Services Science-Policy Interface. *Science* 331: 1139–1140.
- REN Z., HE X., ZHENG H., ZHANG D., YU X., SHEN G., GUO R. 2013: Estimation of the Relationship between Urban Park Characteristics and Park Cool Island Intensity by Remote Sensing Data and Field Measurement. *Forests* 4: 868–886.
- SHASHUA-BAR L., PEARLMUTTER D., ERELL E. 2011: The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology* 31: 1498–1506.
- TAKÁCS Á. 2013: Mikro-bioklimatológiai vizsgálatok egy szegedi sétálóutca példáján. Diplomamunka, Szegedi Tudományegyetem.
- TAKÁCS Á., KISS M., HOF A., TANÁCS E., GULYÁS Á., KÁNTOR N. 2016: Microclimate modification by urban shade trees – an integrated approach to aid ecosystem service based decision-making. *Procedia Environmental Sciences* 32: 97–109.
- TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity 2011: *TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*. www.teebweb.org.
- TYRVÄINEN L., SILVENNOINEN H., KOLEHMAINEN O. 2003: Ecological and aesthetic values in urban forest management. *Urban Forestry and Urban Greening* 1: 135–149.
- UNGER J., SÜMEGHY Z. 2002: *Környezeti klimatológia*. JATEPress, Szeged.
- UNGER J., SAVIC S., GÁL T. 2011: Modelling of the annual mean urban heat island pattern for planning of representative urban climate station network. *Advances in Meteorology Paper* 398613.
- UNGER J., LELOVICS E., GÁL T., MUCSI L. 2014: A városi hősziget fogalom finomítása a lokális klímazónák koncepciójának felhasználásával – példák Szegedről. *Földrajzi Közlemények* 138: 50–63.
- XIAO Q., MCPHERSON E.G., SIMPSON J.R., USTIN S.L. 1998: Rainfall interception by Sacramento's urban forest. *Journal of Agriculture* 24: 235–244.

SHADING EFFICIENCY OF DIFFERENT URBAN TREE SPECIES
– INVESTIGATION OF POPULAR URBAN SHADE TREES IN SZEGED, HUNGARY

Á. TAKÁCS, M. KISS, Á. GULYÁS, N. KÁNTOR

University of Szeged, Department of climatology and landscape ecology
6722–Szeged, Egyetem Str. 2, e-mail: takacsagi@geo.u-szeged.hu

Keywords: urban ecology, urban tree, shading effect, transmissivity

Abstract: Trees provide several beneficial services for the residents in urban ecosystems. By interception of stormwater, they reduce the risk of flood events; improve the air quality by filtering out air pollutants, as well as they enhance the well-being of citizens due to their aesthetical value and microclimate regulation services. Several studies, based on field measurements or numerical simulations, have already demonstrated that trees have major potential to mitigate the level of human heat stress, first and foremost due to their shade. The efficiency of shadowing, i.e. the sunshine reduction can be characterized with the tree canopy transmissivity (solar permeability), which varies not only among species but depends also on the annual change of the foliage as well as its health conditions. There is a lack of knowledge concerning the bioclimatic effect of urban forestry and single trees in Central-European climate conditions. Therefore the aim of this study is to investigate the solar radiation reduction capacity of four species used frequently as urban trees in Hungarian towns: small-leaved linden – *Tilia cordata*, pagoda tree – *Sophora japonica*, common hackberry – *Celtis occidentalis*, as well as horse-chestnut – *Aesculus hippocastanum*. We have considerably little knowledge about the small-scale microclimatic effects of urban trees among Central European circumstances. With our work, we would like to aid future studies, therefore, we put an emphasis on discussing methodological issues of measurements practical implementation.