

Szegedi Tudományegyetem  
Földtudományok Doktori Iskola

**NÉPSZERŰ VÁROSI FAFAJOK  
ÁRNYÉKOLÓKÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA  
SZEGEDI PÉLDÁK ALAPJÁN**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Báló-Takács Ágnes**

Témavezetők:

**Dr. Gulyás Ágnes**  
egyetemi adjunktus

**Dr. Kántor Noémi**  
tudományos munkatárs

SZTE Természettudományi és Informatikai Kar  
Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék

**Szeged  
2018**

## 1. Előzmények és célkitűzés

A 21. századra jellemző a városok térhódítása, a városlakók számának növekedése, környezetünk nagymértékű átalakítása. Napjainkban a Föld lakosságának mintegy 51%-a él városban, vagy városias jellegű környezetben, s ez a szám egyre csak növekszik. A klímaváltozás, valamint a városi népesség világszerte tapasztalható növekedése fontos feladatokat jelöl ki mind az elméleti városökológia, mind a gyakorlati tervezés számára. Ezért minél több olyan tanulmányra van szükség, mely a természeti környezeti tényezők időbeli és térbeli folyamatait tárja fel a városi rendszerekben. Napjainkban a globális klímaváltozás által támasztott kihívások miatt számos kutatás irányul a városklímával kapcsolatos jelenségek mérésére és modellezésére, illetve a városi növényzet környezeti (például klímamódosító) szerepének értékelésére, a zöldfelületek védelme, illetve kiterjedésük növelése érdekében.

Ugyanakkor a városi fás vegetáció közép-európai klimatikus körülmények között kifejtett klímamódosító hatásáról még igen hiányosak az ismereteink, mind lokális (város, városrész), mind pedig mikro (egyes közterek) léptékben, átfogó magyarországi vizsgálat pedig ebben a témában ez idáig nem született.

Az urbanizációs ártalmak súlyosbodása, valamint a globális klímaváltozás problémájának köztudatba kerülése révén egyre több figyelem összpontosul a városi vegetáció, azon belül is a fák által nyújtott szolgáltatásokra. A városi közterületek komfortviszonyai nagymértékben javíthatók, a nyári termikus terhelés jelentős mértékben csökkenthető a fás vegetáció megfelelő alkalmazása révén (köszönhetően a fák árnyékhatásának és evapotranspirációs hűtésének). A fák a termikus terhelés mellett redukálják a városi élettér egyéb káros hatásait (zajszennyezés, légszennyezés), javítják a városi vízháztartást (mérséklik a heves esőzések révén kialakuló áradások kockázatát), szén-dioxidot kötnek meg és oxigént bocsátanak a légtérbe. Az előbb felsorolt, fizikai szinten is megfogható ökoszisztéma-szolgáltatások mellett a városi vegetáció közvetett módon is hozzájárul a városlakók jólétéhez. Mivel a települési zöld infrastruktúra az egyik legsokoldalúbb tényező a klímaváltozás káros hatásaihoz való adaptáció szempontjából és ebben

döntő szerep jut a fás vegetációnak, ezért az erre irányuló kutatások napjainkban felértékelődnek.

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 redukációjának hatékonyságát a lombzat transzmisszivitásával (napsugárzásáteresztő képesség) írhatjuk le, melynek értéke nem csupán fajonként változik, de a lombkorona évszakos változásának és egészségi állapotának is a függvénye. A fa morfológiai jellemzői (a korona záródása, mérete, annak típusa, a levelek állása, a lombkorona sűrűsége, valamint szélessége) határozzák meg a növény lombkoronáján valóban átjutó napsugárzás mennyiségét. Azok a fák, melyek széles és alacsony lombkoronával rendelkeznek, kevésbé változó árnyékot adnak, mint a magas és keskeny fák. A levelek bizonyos mértékig áttetszőek és ennek megfelelően bizonyos mértékben átteresztik a napsugárzást, szemben a teljesen átlátszatlan törzssel és faágakkal. A gyakorlati tervezés elősegítése céljából fontos lehet az egyes városi fafajok lombzatára jellemző, évszakosan változó transzmisszivitás értékek meghatározása, illetve a különböző fajok termikus sugárterhelést mérséklő kapacitásának kimutatása.

Kutatásom egyik fő mozgatórugója az volt, hogy részletesen megvizsgáljam néhány, hazánkban gyakran alkalmazott városi fafaj árnyékolással összefüggő sugárzasmódosító, ezen keresztül bioklíma- módosító hatását. Ennek vonatkozásában azonban a helyszíni mérésekkel kapcsolatos módszertani tapasztalat igen csekély. Különösen igaz ez a hosszan tartó, több évszakban kivitelezett vizsgálatokra. Ilyen eredményekkel még nemzetközi viszonylatban is nagyon kevés kutatás szolgált ez idáig.

Kutatómunkám során a következő kérdések megválaszolására törekedtem:

- Milyen strukturális, morfológiai és állapotjellemzőkkel írható le a szegedi belvárosi faállomány? (2. fejezet)
- Milyen módszerrel mutatható ki a leghatékonyabban, illetve leghitelesebben a fás vegetáció mikroklíma módosító hatása, különös tekintettel a besugárzásra? (3-4. fejezet)
- Milyen fajok közötti, illetve szezonális különbségek rajzolódnak ki a transzmisszivitás mértékében? (3-4. fejezet)

- Milyen komplex klímamódosító potenciál (sugárzási mérleg, lég-hőmérséklet, légnedvesség) tulajdonítható a leggyakoribb városi fajoknak? (5. fejezet)

## 2. Adatbázisok és kutatási módszerek

### A faállomány felmérése

2012-ben a Szegedi Tudományegyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszéke (a Szegedi Környezetgazdálkodási Nonprofit Kft.-vel együttműködésben) részletes fakataszter létrehozásába kezdett, amely naprakész adataival segíti a fenntartó operatív feladatainak ellátását és emellett megfelelő adatbázist teremt a faállomány városökológiai szerepének tudományos vizsgálataihoz. A szegedi faállomány felmérésébe több ponton is bekapcsolódtam (meglévő adatok leellenőrzése, újak felvétele), majd egy idő után magam koordináltam a terepi felméréseket, valamint azok térinformatikai rendszerbe (Greenformatic) történő rögzítését.

A felmért faállomány fajösszetétele igen gazdag, s a fakataszter nagy segítségemre volt abban, hogy kiválasszam a vizsgálandó fajokat (illetve helyszíneket) a későbbi mikrometeorológiai vizsgálataimhoz.

### Mikrometeorológiai mérések

A transzmisszivitás értékek kiszámításához négy, Közép-Európában gyakran előforduló városi fafajt választottam ki: kislevelű hárs (*Tilia cordata*), japánakác (*Sophora japonica*), nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis*) és fehér virágú vadgesztenye (*Aesculus hippocastanum*). A vizsgált faegyedek és a mintaterületek kijelölésekor fontosnak tartottam, hogy a kiválasztott fa egészséges és kifejlett példány legyen, továbbá arra is kiemelt figyelmet fordítottam, 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.

A vizsgálatba bevont fák transzmisszivitás értékeinek meghatározásához szükség volt a globálsugárzás (a felső hemiszféra irányából érkező rövidhullámú sugárzás) értékeinek mérésére egyrészt a fák lombkoronája alatt (transzmittált, vagyis áteresztett globálsugárzás –  $G_{\text{transz}}$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]), másrészt pedig egy égboltkorlátozástól mentes, lehetőleg közeli ponton

(globálsugárzás aktuális értéke –  $G_{akt}$  [ $W/m^2$ ]). A terepi méréseket az Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék két speciális, bioklimatológiai vizsgálatokra is alkalmas mobil városklíma-állomásával hajtottam végre. A globálsugárzás aktuális értékét a 2014-es és a 2015-ös évi méréssorozat során különböző forrásból szereztem be.

Az első mérési sorozatnál (2014-ben) a Szegedi Tudományegyetem Ady téri épületének tetején lévő piranométer által mért globálsugárzás értékeket használtam referenciaként. Ez lehetővé tette, hogy a fák alatti méréseket a két mobil állomással párhuzamosan hajtsam végre, vagyis ugyanazon a napon két kiválasztott fafaj lombkoronája alatt. Az első év tapasztalatai alapján azonban változtatnom kellett a mérési koncepción, a fák alatti mérőpontok és az egyetemi referenciaállomás közötti távolságból adódó, gyakran eltérő mértékű felhőborítottság miatt. Ez a probléma abban nyilvánult meg, hogy több esetben indokolatlanul megugrottak a transzmisszivitás értékek.

A megbízhatóbb transzmisszivitás értékek eléréséhez a 2015-ös mérések során elhagytam az egyetem tetejére telepített piranométer által szolgáltatott globálsugárzás adatokat, ehelyett a fák közelében mértem a globálsugárzás aktuális értékét a vizsgált mintaterület egy nyitott, nagy égboltnálhatósági indexszel (SVF – sky view factor) jellemezhető pontján, melyet a mérési időszak során nem árnyékolt be semmilyen tereptárgy. Az egyik állomást a mintaterület egy árnyékos pontjára tettem, a fatörzstől északi irányba 2 m távolságra, a másikat pedig a terület egy napos pontjára.

A műszerek (Vaisala WXT 520, valamint Kipp & Zonen gyártmányú nettó radiométer) 1,1 m, illetve 1,2 m magasságban 1 perces időközönként rögzítették a meteorológiai paramétereket (lég hőmérséklet, relatív nedvesség, szélsébség), valamint a sugárzási mérleg komponenseit (a felső, valamint az alsó hemiszférából érkező rövid- és hosszuhullámú sugárzási fluxusok). A sugárzásmérő műszereket déli irányba tájoltam és vízszinteztem. A nettó radiométer alapbeállítása esetén egy piranométer és egy pirgeométer a felső hemiszférából, míg egy másik piranométer és pirgeométer az alsó hemiszférából érkező rövid-, illetve hosszuhullámú sugárzást detektálta. A fák lombkoronájára jellemző transzmisszivitás értékek meghatározásához a nettó radiométerek felső piranométerei által mért áteresztett napsugárzás adatokat használtam.

A közel másfél éves mérésorozatot (2014. június – 2015. október) mindig igyekeztem derült időjárási helyzetű napok nappali óráira időzíteni és minden faj alatt legalább havi egy alkalommal mérni lombfakadástól lombvesztésig, hogy a lombkorona évszakos változásának hatásai nyomon követhetők legyenek. A 2014-es évben 13 napról, a 2015-ös évben 36 napról áll rendelkezésemre mérési adat. A 2014-es évben a nyári időszak alatt sajnálatos módon többször előfordult, hogy a tiszta égboltviszonyok nem tartottak ki a mérési órák teljes hossza alatt.

Az adatok feldolgozásához, a statisztikai jellegű vizsgálatokhoz, valamint az eredményeim megjelenítéséhez Microsoft Excel, SPSS Statistics 20, ESRI ArcGIS 10.3 és CorelDRAW X3 szoftvereket használtam.

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 tömörültek, ezért a transzmisszivitás értékeket megfelelőbbnek láttam a minta eloszlásával, pontosabban a percentilis értékekkel jellemezni a szakirodalomban általában alkalmazott számtani átlag helyett.

### **3. Eredmények és következtetések**

#### **I. Szegedi fakataszter-adatbázis létrehozása és strukturális elemzése** (*Gulyás et al. 2015, Takács et al. 2015a*).

Részvételemmel, illetve koordinálásommal a 2013-tól 2016-ig terjedő terepi fafelmérések révén a szegedi fakataszter 9870 faegyed adatait tartalmazó adatbázissá bővült. A tudományos értekezésem faállományadatbázis-elemzése azonban csak a belvárosi állományra vonatkozik (5197 faegyedet tartalmaz).

- A felmért faállomány fajösszetétele igen gazdag (110 különböző faj), de az egyedek mintegy 60%-a 10 domináns fajhoz tartozik. Emellett 48 olyan faj van az adatbázisban, amely esetében 5-nél kisebb az egyedszám.
- A feltérképezett egyedeknél az őshonos fajok az egész állomány 43%-át teszik ki, melyek közül a legnagyobb számban a hárs nemzetségből származó egyedek találhatók (1321 példánnyal). A nem

őshonos fajok közül a legnagyobb számban a japánakác, a nyugati ostorfa, a bugás csörgőfa egyedei vannak jelen.

- A felmért állományban a legnagyobb törzsátmérővel a japánakác és a juharlevelű platán rendelkezik, megközelítik az 50 cm-t, ugyanakkor ezeknél a fajoknál tapasztaltam a legnagyobb szórást is. A nyugati ostorfánál is nagy szórás mutatkozik, kisebb átlagos törzsátmérő mellett. A legkisebb törzsátmérővel az ezüsthárs, a bugás csörgőfa és a gömb kőris rendelkezik, a két utóbbi faj esetén a legalacsonyabb a szórás.
- A törzsátmérőből (szakirodalmi adatok alapján) következtetni lehet a fa korára, így ezen adatok alapján koreloszlás-vizsgálatot végeztem. A koreloszlást vizsgálva megállapítható, hogy az eddig felmért állomány átlagéletkora 36 év, a 15–45 éves korosztály teszi ki a teljes állomány 66%-át. A juharlevelű platán és a japánakác törzsátmérőben tapasztalt jellegzetességei arra utalnak, hogy a két faj egyedeinek koreloszlása nagyon diverz. Ugyanez a széles diverzitás jellemzi a nyugati ostorfát is, azzal a különbséggel, hogy a faj szisztematikus telepítése a városban később kezdődött. A jelenlegi adatbázisban az egyedek mindössze 0,5%-a tartozik a 90 év feletti korosztályba, ami arra is utal, hogy város faállománya jórészt az 1879-es árvízvet követő újjáépítés után eredeztethető.
- Az adatbázis alapján megállapítható, hogy az egészségi állapot tekintetében különösen rossz egészségi állapotban vannak a vadgesztenyék a nagyarányú vadgesztenyelevél-aknázómoly fertőzöttség miatt. Az idősebb koreloszlású állományoknál (pl. nagylevelű hárs, juharlevelű platán és japánakác) általában rosszabb az egészségi állapot, több esetben megjelennek a legrosszabb egészségi állapotra vonatkozó kategóriák. Jelenleg a legjobb egészségi állapotú az ezüst hárs állomány, ami részben a fiatal koreloszlásból adódhat.

A naprakész fakataszter nagyon fontos előrelépés a magyarországi nagyvárosok faállomány-nyilvántartásában, mely előfeltétele a hatékony zöldfelületi menedzsmentnek, ugyanakkor fontos kiindulópontja minden további tudományos elemzésnek is.

## **II. A városi vegetációra vonatkozó mikrometeorológiai mérési módszertan kritikai áttanulmányozása, illetve a városi fafajok transzmisszivitás vizsgálati módszertanának fejlesztése** (Takács *et al.* 2015b, 2015c, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d).

- A nemzetközi szakirodalmi elemzés alapján megállapítható, hogy a témában eddig végzett mérések módszertanilag igen heterogének. Hátráltatta a szisztematikus összehasonlíthatóságot és elemzést például a különböző pontosságú piranométerek alkalmazása, az eltérő mérési metodikák (egy ponton, több ponton, a műszer mozgásával stb.) vagy a referenciaadatok heterogenitása (több különböző magasságból származó adat), de előfordult olyan tanulmány is, melynél nem is volt reprodukálható a módszertan. A nemzetközi vizsgálatok sok esetben nem rendelkeznek folyamatos adatsorral (a tanulmányozott nemzetközi példák esetén 14-ből 9), ezért nem alkalmasak a vegetációs periódus teljes időszakának jellemzésére. A reprezentativitás érdekében saját vizsgálataimat ezért a vegetációs időszak több – lehetőleg derült égboltviszonyokkal jellemezhető – napján végeztem el (2014 során 13, 2015 során 36 terepi vizsgálati nap), előre meghatározott mérési protokollt követve.
- Tapasztalataim alapján szükség volt a transzmisszivitás számításához szükséges sugárzási mérési módszertan megváltoztatására. Az első mérési sorozat elemzése közben ugyanis arra a következtetésekre jutottam, hogy a nagyobb távolságból (1-2 km) származó globálsugárzás-értékek nem megfelelően használhatók referenciaértékként, különösen változóan felhős időszakok során. Több esetben fordult elő ugyanis, hogy a fák alatt magasabb besugárzásértéket detektáltunk, mint az égboltkorlátozástól mentes tetőn. A 2015-ös év megváltoztatott mérési koncepciója – a hitelesebb transzmisszivitás értékek mellett – többretű analízist tett lehetővé, köszönhetően a helyszínen felállított két mobil állomás azonos és gazdag felszereltségének.



### **III. Gyakran alkalmazott városi fafajok transzmisszivitás értékeinek összevetése, árnyékolóképesség szempontú sorrend felállítása (Takács et al. 2015b, 2015c, 2016a, 2016b).**

- A 2014-es vizsgálati periódusban – a gyakori felhősödésből, illetve a tetőn lévő referencia piranométer alkalmazásából adódó – látszólagos transzmisszivitás növekedés jelentősen beszűkítette a hiteles transzmisszivitás értékek kiszámítását lehetővé tevő napok számát. A négy fafaj összevetéséhez megfelelően közel eső, teljesen derült mérési napokra 2014. szeptember végén volt lehetőségem. A legefektívebb árnyékhatással a nyugati ostorfa rendelkezik, 0,04-es medián értékkel, ezt a fajt követi a kislevelű hárs (0,08), majd a japánakác (0,13), és végül a vadgesztenye (0,21). Az őszi lombhullási sorrendet a vadgesztenye kezdi, mely összecseng az árnyékolási sorrenddel (vagyis megmagyarázza a magas transzmisszivitási értéket), majd a kislevelű hárs és a nyugati ostorfa követi, s végül a japánakác zárja a sort. Ez utóbbi faj nagyobb áteresztőképessége szeptember végén tehát nem a korai lombvesztéssel (vagyis a fán lévő levélmennyiséggel), hanem a levélsűrűséggel van összefüggésben.

### **IV. A lombkorona évszakos változásának jelentősége a transzmisszivitás tekintetében (Takács et al. 2016a, 2016b, 2016c).**

A nemzetközi szakirodalomban általában megfigyelhető tendenciával (egy faj – egy egyed – egy napos mérésből származó átlagos transzmisszivitás érték a nyári és esetleg a téli évszakra) szemben mérési eredményeim lehetővé tették a transzmisszivitás folyamatos nyomon követését a teljes vegetációs periódus során.

- A 2014-es méréssorozatban kevesebb mérési napon uralkodtak végig teljesen derült égboltviszonyok, így ekkor csupán a vadgesztenye példáján tudtam szemléltetni a jelenséget. Míg a vadgesztenye lombkoronájának teljesen ép állapotában (2014. július 4-én) a transzmisszivitás értékek mediánja 0,033-nek, addig az utolsó mérési napon (2014. október 28-án), szinte teljes lombhullás esetén 0,475-nek adódott.

- A jóval több derült mérési napot felölelő 2015-ös méréssorozat lehetővé tette a vegetációs perióduson belüli változások folyamatos nyomon követését a kislevelű hárs, a japánakác és a vadgesztenye esetében is. A lombkorona teljes kifejltségével összhangban, adott faj esetén mindig nyáron mérhetőek a legalacsonyabb transzmisszivitás értékek, vagyis ekkor a leghatékonyabb az árnyékolás (kislevelű hárs: 0,035; vadgesztenye: 0,084; japánakác: 0,113). A tavaszi érték a kislevelű hárs (0,057) és a vadgesztenye (0,090) esetén némiképp nagyobb a nyárinál, míg a japánakác esetén a nyárral azonos (0,113). Ez – tekintetbe véve a tavaszi mérések igen közeli dátumát – a japánakác korábbi lombfakadását bizonyítja. Mind a három faj esetén magasabb transzmisszivitás értékeket figyelhetünk meg kora ősszel (hárs: 0,073; vadgesztenye: 0,099; japánakác: 0,133), mint tavasszal. A három faj közül a legmarkánsabb éves változásokat a kislevelű hárs esetén kaptam (lombfakadás után: 0,057; nyáron: 0,035; kora ősszel: 0,073), de még ez esetben is csupán pár századnyi különbségről beszélhetünk.

**V. Egy adott faj eltérő (különböző méretű és korú) egyedei közötti transzmisszivitás különbségek a vegetációs időszak alatt (Takács et al. 2016c).**

- A 2015-ös mérési adatbázis alapján bebizonyítottam, hogy ugyanazon faj (vadgesztenye) eltérő egyedei között is jelentős transzmisszivitásbeli különbségek mutathatók ki. Az idősebb egyednél a teljes vegetációs időszakban sokkal kisebb transzmisszivitás értékek voltak jellemzők, mint a fiatalabb egyednél. Tavasszal 0,020 értéket mutatott az idősebb egyed, nyáron 0,016 értéket mértem, késő ősszel pedig 0,037-et. A fiatalabb egyednél tavasszal 0,087-es értéket mértem, nyáron 0,084-et, ősszel pedig 0,104-et.
- A fajon belüli (egyedi eltérésekből adódó) transzmisszivitás különbség mértéke összemérhető a különböző fajok közti transzmisszivitás különbség mértékével (lásd IV. tézispontban szereplő értékeket). Ebből kifolyólag, ha a szakirodalomban csak egy faegyed mérési adatainak átlagolásával kapják meg a közölt transzmisszivitás érté-

keket egy-egy fajra, akkor az nagyban torzíthatja az eredményt. Éppen ezért fontosnak tartom a jövőbeli vizsgálatoknál, hogy minden vizsgált fafaj esetén több „tipikus méretű és tipikus alakú” faegyed alatti mérésre alapuljanak a közölt transzmisszivitás eredmények. Kutatási tapasztalataim emellett arra is rámutatnak, hogy az árnyéket szolgáltató fa fajánál olykor nagyobb jelentőségű az, hogy az illető faegyed egészséges, és kifejtett példány-e.

## **VI. A városi fák komplex mikroklíma-módosító hatásának kimutatása** (Takács *et al.* 2016d).

A 2015-ös felmérési periódus nyári adatbázisa alapján részletesen elemeztem a vizsgált, öt db (négy külön fajba tartozó), magányosan álló faegyed módosító hatását a léghőmérsékletre, légnedvességre, valamint a sugárzási mérleg összetevőire. Az elemzésbe bevont mérések mindegyik fa esetében hasonló globálsugárzási viszonyok között történtek: derült nyári napokon a nap legmelegebb óráiban (10:00 és 16:00 között).

- A hőmérséklet-módosító hatás tekintetében megfigyelhető, hogy a japánakácnak és a nyugati ostorfának a legjobb a hűtőhatása (előbbi esetében a hőmérséklet mediánja 0,8 °C-kal, utóbbi esetében 0,7 °C-kal csökkent). Ennek oka, hogy ezek a fák rendelkeznek a legnagyobb átmérőjű lombkoronával. Kisebb mértékű hűtési potenciált mutatott a kislevelű hárs (0,5 °C), az idősebb vadgesztenye (0,5 °C) és a fiatalabb vadgesztenye (0,4 °C), melyek keskenyebb és kisebb lombkoronával rendelkeznek.
- A légnedvesség esetében a tendenciák épp ellenkezőek, a relatív páratartalom értéke enyhe szisztematikus emelkedést mutat mind az öt vizsgált fa alatt. Ennek oka, a megnövekedett evapotranspiráció lehet.
- Mérési eredményeim bizonyították, hogy a fák az előbbi mikroklíma-paramétereknél jóval nagyobb hatást gyakorolnak a sugárzási fluxusokra (különösen a globálsugárzás értékére). A jelentős sugárzásmódosító hatás az előző tézispontokban megfogalmazott transzmisszivitásbeli különbségekben is jól kirajzolódik, de még szemléletesebb a sugárzási komponensek egyenkénti elemzése esetén.

- A felülről érkező rövidhullámú sugárzás ( $K_u$ ) minden vizsgált faj esetében szignifikánsan alacsonyabb volt a fák alatt. Az eredmények alapján a legmagasabb transzmisszivitás értékkel jellemezhető japánakác esetében a  $K_u$   $681 \text{ W/m}^2$ -rel csökkent. Abszolút értékben a legnagyobb csökkenést a kislevelű hárs esetében mértem ( $741 \text{ W/m}^2$ ), melyet szorosán követ az idősebb vadgesztenye ( $735 \text{ W/m}^2$ ), majd azt követi a nyugati ostorfa ( $727 \text{ W/m}^2$ ) és végül a fiatalabb vadgesztenye ( $714 \text{ W/m}^2$ ). A japánakác kisebb mértékű  $K_u$ -t csökkentő potenciálja minden bizonnyal a fajra jellemző, ritkább lombkorona szerkezettel és a kisebb méretű levelekkel magyarázható.
- A  $K_u$  csökkenése következtében az alulról érkező rövidhullámú sugárzás ( $K_d$ ) mennyisége is csökkent. A kislevelű hárs esetében, az eltérő felszíni borítás miatt (aszfalt) alacsonyabbak az értékek ( $110 \text{ W/m}^2$ ), mint a többi vizsgált egyed esetében, melyek a zöldfelülethez köthetőek. Az árnyékoló fák relatív  $K_d$  módosítása hatékonynak tűnik (91–95%-os csökkenés) a napon mért értékekhez hasonlítva, azonban abszolút értékben ez csak  $110$ – $146 \text{ W/m}^2$  volt.
- A hosszúhullámú sugárzási komponensek esetében ( $L_u$ ,  $L_d$ ) jóval kisebb mértékű módosulást tudtam kimutatni. Az alulról érkező hosszúhullámú sugárzás ( $L_d$ ) értékét a kislevelű hárs  $95 \text{ W/m}^2$ -rel csökkentette, a nyugati ostorfa pedig  $56 \text{ W/m}^2$ -rel, ami 16%-os, illetve 10%-os csökkenést jelent.
- A felülről érkező hosszúhullámú sugárzásnál ( $L_u$ ) valamivel nagyobb mértékű módosítást figyeltem meg. A nyugati ostorfa  $67 \text{ W/m}^2$  értékkel növelte  $L_u$  értékét, ami a szélesebb fakoronának, a sűrűbb lombkorona-struktúrának, valamint a rövidebb törzsmagasságnak tulajdonítható. A japánakác esetében is hasonló a lombkorona átmérője, viszont a lombozata kevésbé sűrű és sokkal kisebb levelekből áll, így ennél a felülről érkező hosszúhullámú sugárzás növekedése mindössze  $29 \text{ W/m}^2$ .
- A fa koronájának a sugárzási komponensekre gyakorolt hatása a rövidhullámú tartományban ( $K_u$ ) nagyobb (legalább 90%), mint a hosszúhullámú tartományban (legfeljebb 16%). Ez azért kiemelten fontos, mert az emberi hőháztartás esetleges felborulásáért is  $K_u$  komponens tehető a leginkább felelőssé.

Kutatásaim eredményei lehetőséget teremtenek arra, hogy az eddiginél sokkal pontosabb módon fejezzük ki a városi környezetben a fás vegetáció mikroklima-módosító hatását. Hozzájárulnak a fák által nyújtott klímaregulációs ökoszisztéma-szolgáltatás elemzésében a hatékonyabb indikátorfejlesztéshez, valamint a gyakorlati tervezés számára nyújtanak hathatós segítséget a klímatudatosabb köztér- és épületenergetikai fejlesztésekhez. Jelenleg például egy olyan épületenergetikai szoftverfejlesztéshez nyújtanak alapadatokat, amely által a tervező árnyaltabb módon veheti figyelembe az épületet körülvevő fás vegetáció energetikai hatását.

## A tézisek alapjául szolgáló publikációk

1. **Takács Á**, Kiss M, Gulyás Á, Tanács E, Kántor N (2016a): Solar permeability of different tree species in Szeged, Hungary. *Geographica Pannonica* 20, 32-41.
2. **Takács Á**, Kiss M, Gulyás Á, Kántor N (2016b): Népszerű városi fafajok árnyékolóképességének vizsgálata Szegeden. *Tájökológiai lapok* 14, 21-32.
3. **Takács Á**, Kovács A, Kiss M, Gulyás Á, Kántor N (2016c): Study on the transmissivity characteristics of urban trees in Szeged, Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin* 65, 155-167.
4. **Takács Á**, Kiss M, Hof A, Tanács E, Gulyás Á, Kántor N (2016d): Microclimate modification by urban shade trees - an integrated approach to aid ecosystem service based decision-making. *Procedia Environmental Sciences* 32, 97-109.
5. **Takács Á**, Kiss M, Tanács E, Varga L, Gulyás Á (2015a): Investigation of tree stands of public spaces in Szeged. *Journal of Environmental Geography* 8, 33-39.
6. **Takács Á**, Kántor N, Gulyás Á, Kiss M (2015b): A városi fás vegetáció humán bioklimatológiai jelentősége – gyakori szegedi fafajok árnyékolóhatásának vizsgálata. In: *Keresztes G.* (szerk.) Spring Wind 2015 Conference book [Tavaszi szél 2015 Konferenciakötet]. Doktoranduszok Országos Szövetsége, Eger, 571–587.
7. **Takács Á**, Kiss M, Gulyás Á, Kántor N (2015c): Microclimate regulation potential of different tree species:transmissivity measurements in Szeged, Hungary. In: *ICUC9 extended abstracts*. 9<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate, Toulouse, 6 p.
8. Gulyás Á, Kiss M, **Takács Á**, Varga L (2015): Szeged közterületi faállományának vizsgálata. In: *Rakonczai János, Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna* (szerk.) Tovább egy zöldebb úton: A Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport részvétele a ZENFE programban (2013-2015), Szeged, 67-79.

## A disszertáció témaköréhez kapcsolódó további publikációk

1. **Takács Á**, Gál CV, Gulyás Á, Kiss M, Kántor N (2017): Radiation conditions at a central European square in a hot summer day – a case study from Szeged, Hungary. In: *97th AMS Annual Meeting and 13th Symposium of the Urban Environment*. Seattle, 1372.
2. Kántor N, Kovács A, **Takács Á** (2016): Small-scale human-biometeorological impacts of shading by a large tree. *Open Geosciences* 8, 231-245. (IF<sub>2016</sub>: 0,475)
3. Kántor N, Kovács A, **Takács Á** (2016): Seasonal differences in the subjective assessment of outdoor thermal conditions and the impact of analysis techniques on the obtained results. *Internacional Journal of Biometeorology* 60, 1615-1635. (IF<sub>2016</sub>: 2.204)
4. Kiss M, **Takács Á**, Pogácsás R, Berkes L, Gulyás Á (2015): Klimatológiai vonatkozású városi ökoszisztéma szolgáltatások értékelése Szeged példáján. *Természetvédelmi Közlemények* 21, 130-138.
5. Kiss M, **Takács Á**, Gulyás Á (2015): Evaluating climate-related ecosystem services of urban tree stands in Szeged (Hungary). In: *ICUC9 extended abstracts*. 9<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate, Toulouse, 6 p.
6. Kiss M, **Takács Á**, Pogácsás R, Gulyás Á (2015): The role of ecosystem services in climate and air quality in urban areas: Evaluating carbon sequestration and air pollution removal by street and park trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports* 23, 36-46. (IF<sub>2016</sub>: 2.149)
7. Égerházi LA, Kovács A, **Takács Á**, Égerházi L (2014): Comparison of the results of two microclimatological models and measurements. *Acta Climatologica et Chorologica* 47-48, 33-42.
8. **Takács Á**, Kiss M, Gulyás Á (2014): Some aspects of indicator development for mapping microclimate regulation ecosystem service of urban tree stands. *Acta Climatologica et Chorologica* 47-48, 99-108.
9. **Takács Á**, Tanács E, Kiss M, Gulyás Á (2014): Urban tree crown projection area mapping with object based image analysis for urban ecosystem service indicator development. In: *Gavril Pandi, Florin Moldovan* (szerk.) *Air and Water Components of the Environment*. Cluj-Napoca, Románia, 486 p.