

**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM  
FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

**DOKTORI ÉRTEKEZÉS**

**TÉZISEK**

**AZ ÁTLAGOS VÁROSI HŐSZIGET  
TERÜLETI SZERKEZETÉNEK MODELLEZÉSE  
ÉS A MODELL KITERJESZTÉSE**

***BALÁZS BERNADETT***

**TÉMAVEZETŐ:**

***DR. UNGER JÁNOS***

**SZTE, ÉGHAJLATTANI ÉS TÁJFÖLDRAJZI TANSZÉK**

**SZEGED**

**2008**

## Bevezetés, célkitűzés

Ma a világban több mint 6,6 milliárd ember él és ennek fele város lakó. A Föld városi népessége jóval nagyobb ütemben növekszik, mint az össznépeség, ezért világszerte (így hazánkban is) mind több ember él urbanizált térségben.

A városi környezet jelentősen eltér a környező természetes területektől, hiszen más a felszín geometriája, anyagi- és levegő összetétele, és számolni kell az antropogén hő kibocsátással is. Eredményeként kialakul egy lokális léptékű klímamódosulás, a városi hősziget (urban heat island – UHI). Ez egy pozitív termális módosulás, tehát a város általában melegebb a környezeténél.

A városi környezet okozta klímamódosulás nemcsak az ott élők komfortérzetét, egészségét (pl. hőstressz, orvosepidemiológiai problémák stb.), és a növények fenológiai fázisát változtatja, hanem gazdasági hatással is van a város lakókra, hiszen – elsősorban a mérsékelt éghajlati övre koncentrálva – télen kevesebb energia elegendő a fűtéshez, nyáron viszont több szükséges a hűtéshez. Tehát ez a jelenség ma a világon egy nagyon aktuális, igen sok embert érintő problémaként jelentkezik. Emiatt a felmérése, tanulmányozása, ezen belül modellezése és előrejelzése, valamint építészeti és városrendezési eljárások kifejlesztése a mérséklésére nagyon fontos feladatcsoportot jelent.

Ehhez kapcsolódóan *dolgozatom célja az*, hogy – szegedi és debreceni hőmérsékleti és felszínborítottsági adatok alapján – egy könnyen hozzáférhető és előállítható bemeneti adatokon alapuló többváltozós modellt készítsék az átlagos hősziget területi eloszlásának közelítésére, majd e modellt kiterjesszem más, hasonló éghajlati és földrajzi adottságú városokra, ahol nem állnak rendelkezésre hőmérsékleti mérés adatok.

A cél eléréséhez a következő lépések szükségesek:

1. A felszínparaméterek és az UHI közötti kapcsolat vizsgálata.
2. Olyan paraméterek létrehozása, amelyek információt hordoz az adott terület (vagy környezetének) beépítettségéről és a városon belüli elhelyezkedéséről.
3. A hősziget éves átlagos területi szerkezetét közelítő többváltozós modell-egyenlet készítése szegedi és debreceni adatok alapján.
4. A modell megbízhatóságának vizsgálata, érvényességének meghatározása.
5. A modell validálása olyan adatbázisokon, amelyek függetlenek a modellhez felhasznált szegedi és debreceni adatoktól, viszont hasonló éghajlati-földrajzi adottsággal rendelkező városokból származnak.
6. A modell kiterjesztése olyan különböző méretű, de hasonló éghajlati-földrajzi adottságokkal rendelkező városokra, ahol nem áll rendelkezésre hőmérsékleti mérés.

## Vizsgált területek

A következő hazai és határmenti alföldi városokra terjedt ki a vizsgálat: Arad, Békéscsaba, Debrecen, Hajdúböszörmény, Hajdúdorog, Hajdúnánás, Hódmezővásárhely, Karcag, Kecskemét, Makó, Orosháza, Szeged, Temesvár. Szegedre és Debrecenre a modell megalkotásához, a hajdúsági városokra a modell validációjához van szükség, míg a modell kiterjesztése a többi városra vonatkozik.

A vizsgált területek a mintegy 100 000 km<sup>2</sup> kiterjedésű síkságon, az Alföldön fekszenek. A Trewartha-féle éghajlati felosztást tekintve a síkság a D.1 (kontinentális éghajlat, hosszabb meleg évszakkal) klímaövezetbe tartozik.

Debrecen 211 000 lakosával az ország második legnagyobb települése, míg Szegeden 170 000 fő él. Mindkét város fontos oktatási, kulturális és kereskedelmi központ. Debrecen szerkezete sajátosan féloldalas, míg Szeged struktúrájának sajátosságait a Tiszára, mint tengelyre támaszkodó sugárutas-körutas rendszer adja.

Hajdúböszörmény, Hajdúnánás és Hajdúdorog Debrecenhez közel fekvő, hasonló természetföldrajzi adottságokkal és szerkezettel rendelkező városok, az Alföldön gyakori 30, 20 és 10 ezer fő körüli lakossággal. Jellegzetes hajdúvárosok, azok koncentrikus, körutas szerkezetével.

Arad, Békéscsaba, Hódmezővásárhely, Karcag, Kecskemét, Makó, Orosháza és Temesvár lakosság száma a 22 ezer és 308 ezer fő közötti intervallumot fedi le.

## A többváltozós hősziget intenzitás-eloszlási modell elemei

### ***A modell függő változójának meghatározása: UHI intenzitás***

A következőkben bemutatott hőmérsékleti adatgyűjtés egy nagyobb, az SZTE Éghajlati és Tájföldrajzi Tanszékén több éve folyó városklíma-kutatási projekt keretében zajlott, amelynek részese voltam magam is.

Az UHI intenzitás meghatározásához a hőmérsékleti adatokat mobil mérések során gyűjtöttük Szegeden és Debrecenben. A vizsgált területeket 500 m oldalhosszúságú cellákra osztottuk fel. Szeged 107 (26,75 km<sup>2</sup>), Debrecen 105 (26,25 km<sup>2</sup>) cellából áll (Unger et al., 1999; Szegedi and Kircsi, 2003b), amelyek lefedik a város belvárosi, elővárosi övezeteit. Egy-egy külterületi cella mindkét városban referenciaterületként szolgál a hőmérsékleti adatok összehasonlításához, tehát hogy ezekhez viszonyítva mekkora a pozitív hőmérsékleti többlet a belterületen (R jelölésű cella).

A szükséges hőmérsékleti adatokat meghatározott útvonalon haladó mérőautók segítségével gyűjtöttük. Kétszer egy éves mérési periódusban mértünk Szegeden (1999. márc. – 2000. febr. és 2002. ápr. – 2003. márc.) (Unger et al., 2001a; Sümeghy and Unger, 2003a), illetve egyszer egy éves mérési periódusban Debrecenben (2002. ápr. – 2003. márc.) (Szegedi

and Kircsi, 2003b). A vizsgált területeken a kellő számú, elegendően reprezentatív mintát a 10 naponta végrehajtott mérések biztosítják. Debrecenben és Szegeden 29 mérés történt pontosan egy időben. A kb. 3 óra időtartamú mérések kiterjedtek – az esőt kivéve – minden időjárás-helyzetre. A korábbi kutatások tapasztalatai alapján az adatgyűjtést úgy kellett időzíteni, hogy az UHI maximális kifejlődésének várható időpontja – naplemente után 4 órával – körüli időszakra essen (Boruzs és Nagy, 1999; Oke, 1981). A mért értékek átszámításánál felhasználtuk, hogy a hőmérséklet nagyjából lineárisan változik a naplementét követő néhány órában (Oke and Maxwell, 1975).

A mért hőmérsékleti értékeket cellánként átlagoltuk és átszámítottuk az adott mérési napra jellemző referenciaidőre. Az abszolút UHI intenzitást, azaz a város és környezetének napi maximális hőmérsékleti különbségét ( $\Delta T$ ), a következőképpen értelmezhetjük cellánként (Unger et al., 2001a):

$$\Delta T = T_{\text{cella}} - T_{\text{cella(R)}} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

ahol  $T_{\text{cella}}$  = az aktuális városi cella hőmérséklete;  $T_{\text{cella(R)}}$  = a külterületi referencia cellának a hőmérséklete. Az éves átlagos  $\Delta T$  értékeket a 29 mérés  $\Delta T$  értékeinek cellánkénti átlaga adja.

Ennek eredményeként Szegeden a mért éves átlagos maximális UHI intenzitás  $3,0 \text{ }^\circ\text{C}$  (Sümeghy and Unger, 2003a), Debrecenben pedig  $2,4 \text{ }^\circ\text{C}$  (Szegedi and Kircsi, 2003b). Az abszolút maximális hősziget-intenzitás Szegeden megközelíti a  $7 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot ( $6,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ), míg Debrecenben a  $6 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot ( $5,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Szegeden a legnagyobb hőmérséklet különbséget a város és a környezete között egy kora tavaszi napon mértük (márc. 24.), míg Debrecenben a nyár derekán (júl. 15.).

Szegeden a hősziget alakja meglehetősen koncentrikusnak mondható, míg Debrecenben nem ölt ilyen szép szabályos formát. A különbség a városok eltérő szerkezetéből adódik.

### ***A modell független változóinak meghatározása***

Az UHI intenzitásának területi eloszlását legnagyobb mértékben a város mesterséges felszínborítottsága befolyásolja. A *beépítettségi arány* ( $B_0$ ) a városi felszín sajátosságait egyszerűen, szemléletesen jellemezi, amely jelen dolgozatban egy adott cellára vonatkozóan a mesterséges területek (pl. utak, tetők, parkolók, burkolt felületek stb.) %-os arányát mutatja az adott cella teljes területéhez viszonyítva. Ennek meghatározása LANDSAT műholdfelvételeken történt Normalizált Vegetációs Index kiértékelésével.

Az előző paramétert felhasználva *további felszínparamétereket* vezettem be, tekintettel arra, hogy egy adott cella környezetében lévő cellák beépítettsége befolyásolhatja az adott cella hőmérsékletét. A  $B_1$  és  $B_2$  származtatott változók (koncentrikus területi kiterjesztés a cellák körül) meghatározhatók a  $B_0$  beépítettségi mutatóból.

Az is fontos, hogy tudjuk, az adott cella milyen távolságra helyezkedik el a város peremétől. Ezt a *távolságot* ( $D$ ) tekinthetjük úgy, mint egy olyan paramétert, ami jellemezi egy terület (vagy pont) városon belüli elhelyezkedését. Ugyanis, ha veszünk egy-egy területet a külvárosban és a városközpontban, ahol közel azonos az épületek felépítése és sűrűsége, azt figyelhetjük meg, hogy a belvároshoz viszonyítva a külvárosban egy mérsékeltébb  $\Delta T$  tapasztalható.

### **Az eredmények tézisszerű összefoglalása**

**1. Megvizsgáltam a változók eloszlását**, e szerint a  $\Delta T$ ,  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $D$  változók adatai jól közelíthetők normális eloszlással. A normalitásra vonatkozó hipotézist a Kolmogorov-Szmirnov próba minden esetben 95%-os megbízhatósági szinten elfogadta. Így a felszínparaméterek és a  $\Delta T$  közötti kapcsolat lineárisan jellemezhető a legjobban. A lineáris kapcsolat szorosságát a determinációs együttható magas értékei támasztották alá.

**2. Létrehoztam új kombinált városi paramétereket** ( $B_0'$ ,  $B_1'$ ,  $B_2'$ ), ahol a felszíni paraméterek a távolság természetes alapú logaritmusával vannak megszorozva (vagy súlyozva) cellánként, azért, hogy a távolság ( $D$ ) és a fentebb említett felszínparaméterek ( $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ) együttes szerepét figyelembe lehessen venni.

**3.** Ez követően mennyiségileg is meghatároztam a kapott kombinált városi felszínparaméterek és az éves átlagos UHI intenzitás közötti kapcsolatot. Egy általános, felszínparamétereken alapuló **többsváltozós modellt készítettem** Szeged és Debrecen adatai alapján, amely egy közelítést ad az átlagos hősziget területi szerkezetére olyan alföldi városokban, ahol nem áll rendelkezésre hőmérsékleti mérés. A többsváltozós modellem elemei a következők voltak:

- $\Delta T$ , mint függő változó ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- $B_0'$ ,  $B_1'$ ,  $B_2'$ , mint független változók (dimenzió nélkül).

Vizsgálataim eredményei szerint a városi felszín paraméterei és az UHI átlagos intenzitás közötti kapcsolatok jól leírhatók lineáris függvényekkel, ezért a modell megalkotásakor is lineáris közelítéssel éltem, hasonlóan a *Bottyán and Unger* (2003) és *Bottyán et al.* (2005) munkáiban alkalmazottakhoz. Eredményül a következő empirikus modell-egyenletet kaptam:

$$\Delta T = 0,001032*B_0' + 0,002455*B_1' + 0,002629*B_2' \quad (r^2 = 0,97)$$

A többsváltozós modell kifejlesztésénél megvizsgáltam, hogy a beléptetéses lineáris regressziós eljárással milyen sorrend alakul ki a távolsággal kombinált felszínparaméterek között. Az első belépő paraméter a  $B_1'$  mutató volt, amely 96,3%-ban határozza meg az éves átlagos UHI intenzitást. Ezt követi a  $B_2'$  (96,9%), majd kis különbséggel a  $B_0'$  paraméter (97,1%), de mindkét mutató javított a modell megbízhatóságán.

**4. A modell megbízhatóságáról** el lehet mondani, hogy Szegeden, illetve Debrecenben a mért és a modellezett éves átlagos  $\Delta T$  különbségtérkép nagy részén a hőmérséklet eltérés  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  alatt marad, ami azt tükrözi, hogy a modell jól reprodukálja az eredeti hőmérsékleti mezőt. Az egyenlet együtthatóinak szignifikancia szintje kisebb, mint  $0,001$ . A kapott statisztikai mutatók szerint a három paraméternek a hőmérsékleti többlet kialakításában betöltött szerepe  $97\%$ . Így a modell-egyenlet alapján készített közelítés megbízhatósága rendkívül jónak mondható.

A **modell érvényességét** a kiterjesztés során a modellhez együttesen felhasznált szegedi és debreceni adatokban a paraméterek intervallumhatárai jelölik ki: akkor kapunk megbízható eredményt, ha a vizsgálandó terület értékei ezekbe az intervallumokba esnek. Továbbá a modell akkor ad jó közelítést, ha a vizsgálandó terület földrajzi adottságai hasonlóak a szegedi és debreceni viszonyokhoz.

**5. A modellt validáltam** két olyan független adatbázison, amely hasonló földrajzi adottsággal rendelkező városokból származik.

Az egyik adatbázis adatai három alföldi városból – Hajdúböszörményből, Hajdúdorogról és Hajdúnánásról – származnak (Szegedi, 2005). Az éves átlagos mért és modellezett UHI intenzitás közötti összefüggést a három városban rendelkezésemre álló összesen 15 elempár segítségével határoztam meg. Az elempárok átlagos abszolút eltérése kisebb, mint  $0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A mért és a modellezett  $\Delta T$  értékei között erős pozitív kapcsolat áll fenn, amit a determinációs együttható magas értéke ( $r^2 = 0,816$ ,  $n = 15$ ) támaszt alá, ennek a kritikus értéke ugyanis 15 elem esetén,  $1\%$ -os szignifikancia szinten  $r^2 = 0,397$  ( $r = 0,63$ ). Tehát azon null-hipotézis, miszerint a két paraméter között nincs kapcsolat, egyértelműen elvethető, továbbá  $99\%$ -os biztonsággal állítható, hogy a két paraméter között reális kapcsolat áll fenn. A regressziós egyenes körüli szórás csupán  $0,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A másik adatbázis adatait Szegeden gyűjtötték egy korábbi mérési periódusban (1999–2000) (Unger et al., 2001b). A mért  $\Delta T$  és a modellezett hősziget kapcsolatát összesen 103 elempár felhasználásával vizsgáltam meg. Itt is erős pozitív kapcsolat áll fenn e két paraméter között: a determinációs együttható értéke  $0,651$ , ami magasnak mondható, hiszen ennek a kritikus értéke – 103 elem esetén,  $1\%$ -os szignifikancia szinten –  $r^2 = 0,063$ . Tehát azon null-hipotézis, miszerint a két paraméter között nincs kapcsolat, egyértelműen elvethető. A regressziós egyenes körüli szórás csak  $0,31\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A két adatbázist együttesen vizsgálva (118 elempár), egy még szorosabb kapcsolat mutatható ki a modellezett hősziget értékeivel. Ezt a determinációs együttható magas értéke ( $r^2 = 0,781$ ,  $n = 118$ ) tükrözi, ennek a kritikus értéke ugyanis 118 elem esetén,  $1\%$ -os szignifikancia szinten  $r^2 = 0,063$ . Tehát azon null-hipotézis, miszerint a két paraméter között nincs kapcsolat, egyértelműen elvethető, továbbá  $99\%$ -os biztonsággal állítható, hogy a két paraméter között reális kapcsolat áll fenn. Itt a regressziós egyenes körüli szórás mindössze  $0,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**6.** Az általános *modellt kiterjesztetem* más, különböző méretű, de hasonló földrajzi adottságokkal (domborzattal és éghajlattal) rendelkező alföldi városokra annak kimutatására, hogy e településeken mennyire erős és milyen a mintázata az éves átlagos hőszigetnek. Mint korábban említettem, ehhez mindössze a városokról készült műholdfelvételekre volt szükség, melyekből meghatározhatók a modell független változói, tehát a beépítettség, valamint – a távolság figyelembevételével – a belőle származtatott mutatók.

A következőkben lakosság szám alapján, nagyság szerinti sorrendbe állítva mutatom be azokat a településeket (Karcag, Makó, Orosháza, Hódmezővásárhely, Békéscsaba, Kecskemét, Arad, Temesvár), melyek területére alkalmaztam a kapott modell-egyenletet.

A legkisebb vizsgált városban, Karcagon a modellezett hősziget alakja kissé É-D irányban megnyúlt. A maximális  $\Delta T$  0,96 °C, amely a legmagasabb beépítettségű cella felett alakul ki (45,5%). Az egész városban az alacsony  $B_0$  értékek a jellemzőek, ami a város falusias jellegű, laza beépítettségére utal.

Az UHI igen szép szabályos formát ölt Makón. A hősziget a városközpont felett a legerősebb (1,60 °C), itt található a legmagasabb beépítettségű cella is (53%). A város aránylag egyenletesen beépített, nagy részén a 30–50%-os  $B_0$  értékek jellemzőek.

Bár a legnagyobb modellezett intenzitási érték (1,69 °C) Orosházán a belváros felett alakul ki ( $B_0 = 69\%$ ), a magas beépítettségű ipari területek (pl. ÉK-en az üvegyár) megnyújtják az izotermákat ÉK-i irányba. Lakosságának száma (30 500 fő) azonos Hajdúböszörményével, mégis a modellezett maximális  $\Delta T$  értéke lényegesen magasabb. Ez magyarázható azzal, hogy a két város igen eltérő karakterű, ugyanis Hajdúböszörményben a nagy kertek, zöld felületek hangsúlyosak, míg Orosházán számottevőek az ipari területek.

Hódmezővásárhelyen a közelítés szerint a legnagyobb  $\Delta T$  érték (2,07 °C) a városközpont felett alakul ki, viszont a legmagasabb beépítettségű cella nem itt található, hanem ettől keletre (77%) az ipari parkok és a bevásárlóközpontok területén. A város dél-keleti peremén egy nagy ipari létesítmény áll, ami az izotermákat maga felé húzza.

A modellezett hősziget Békéscsabán is a városközpont felett a legerősebb (1,90 °C), itt található a legmagasabb beépítettségű cella is (72,5%). A város peremi területein létesült nagy ipari parkok és bevásárlóközpontok módosítják az izotermák futását.

Kecskemét modellezett hőszigete klasszikus kifejlődésű, egy centrummal rendelkezik a történelmi városközpont felett. Itt éri el a  $\Delta T$  a maximumát (2,69 °C), a legnagyobb beépítettségű cella felett (78%). A város déli részén nagy burkolt felülettel rendelkező bevásárlóközpontok és ipari parkok fordulnak elő, így a hősziget még itt is eléri a 2–2,25 °C-ot.

Arad hasonló méretű város, mint Szeged és Debrecen. Modellezett hőszigete többközpontú, a város déli részén keresztülhaladó Maros módosító hatást gyakorol a környezetére. A  $\Delta T$  maximális értéke Szegedéhez közeli, 2,95 °C. A legmagasabb beépítettségi értékkel rendelkező cella a város dél-nyugati felén található (85%).

Temesvár vizsgált területe már közel  $50 \text{ km}^2$ . E város esetében a modell egy kis mértékű extrapolációjáról van szó. A modellezett hősziget maximális értéke Szegedével azonos,  $2,97 \text{ }^\circ\text{C}$ . A településen két intenzitási csúcs mutatható ki, melyek csak érintik a történelmi városmagot. Ugyanis a belvárosban viszonylag nagy zöld felületek fordulnak elő, így a legmagasabb beépítettségi értékkel rendelkező cella sem ott található, hanem a város keleti felén, ipari területen ( $84,7\%$ ). A  $\Delta T$  legmagasabb értékei olyan cellákhoz köthetők, amelyek ipari területeken fekszenek.

### **Kitekintés**

Az eredményeknek nagy lehet a gyakorlati jelentősége, hiszen a hőmérséklet különbség a belváros és a külterületek között még egy olyan nagyságú városban is, mint Szeged elérheti akár a  $6\text{--}7 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot, átlagosan pedig a  $2\text{--}3 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot is, ráadásul a városon belül szintén nagy területi különbségek alakulhatnak ki. A modell-egyenletből kapott átlagos területi UHI szerkezeteknek az ismerete a későbbiekben hasznos alapinformáció lehet a városok fejlesztési terveinek kialakításakor. Célszerű figyelembe venni már tervezésekor is az épületek klímamódosító hatásait, illetve a zöld felületek növelésével, az épülettömbök megfelelő tagolásával csökkenthetők a hőtöbbletből származó káros hatások.



## ***A szerzőnek az értekezés témájában megjelent közleményei***

*Azokat a cikkeket, amelyeket közvetlenül felhasználtam az értekezésben és a Társszerzői Nyilatkozat is vonatkozik rájuk, az évszám után \* jelöli.*

- Balázs B., Gál T. és Unger J., 2004: Az átlagos maximális városi hősziget-intenzitás statisztikai modellezése a település felszínparaméterei segítségével. Egyetemi Meteorológiai Füzetek No. 19., ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest, 158–161.*
- Balázs B., Gál T., Zboray Z. and Sümeghy Z., 2005: Modelling the maximum development of urban heat island with the application of GIS based surface parameters in Szeged (Part 1): Temperature, surveying and geoinformatical measurement methods. Acta Climatologica Univ. Szegediensis 38–39, 5–16.*
- Balázs B., Gál T., Zboray Z., Sümeghy Z. és Unger J., 2005: Háromdimenziós adatok előállítása térinformatikai módszerekkel Szeged városklíma kutatásához. A környezettudomány elmélete és gyakorlata, Tudományos konferencia, Szeged. CD.*
- Balázs B., Geiger J., Unger J., Sümeghy Z. és Gál T., 2006\*: Geoinformatikai alkalmazások a hősziget statisztikai modellezésében. 3. Magyar Földrajzi Konf, Budapest, CD.*
- Balázs B. és Unger J., 2007\*: A hősziget statisztikai modellezése geoinformatikai alkalmazásokkal. Egyetemi Meteorológiai Füzetek No. 21., ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest, 40–44.*
- Balázs, B., Geiger, J. and Sümeghy, Z., 2007\*: Annual mean urban heat island versus 2D surface parameters: modelling, validation and extension. Acta Climatologica Univ. Szegediensis 40–41, 5–15.*
- Balázs, B., Unger, J., Gál, T., Sümeghy, Z., Geiger, J. and Szegedi, S., 2008\*: Simulation of the mean urban heat island using 2D surface parameters: empirical modeling, verification and extension. Meteorological Application (in press)*
- Bottyán, Z., Balázs, B., Gál, T. and Zboray, Z., 2003: A statistical approach for estimating mean maximum urban heat excess. Acta Climatol Univ. Szegediensis 36-37, 17-26.*
- Sümeghy, Z., Unger, J., Balázs, B. and Zboray, Z., 2003: Seasonal patterns of the urban heat island. In Klysik K, Oke TR, Fortuniak K, Grimmond CSB and Wibig J (eds): Proceed Fifth Int Conf on Urban Climate Vol. 1. University of Lodz, Lodz, Poland, 135-138.*
- Unger, J., Bottyán, Z., Kovács, P., Balázs, B. and Géczi, R., 2003: A statistical model for estimating mean maximum urban heat island. In Klysik K, Oke TR, Fortuniak K, Grimmond CSB and Wibig J (eds): Proceed Fifth Int Conf on Urban Climate Vol. 1. University of Lodz, Lodz, Poland, 155-158.*

- Gál T., Balázs B. és Unger J., 2004: A városi hősziget területi szerkezetének és a város geometriáját jellemző főbb paraméterek kapcsolata. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek No. 19., ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest*, 153–157.
- Sümeghy Z., Balázs B., Bottyán Zs. és Unger J., 2004: A városi hősziget statisztikai modellezése felszínparaméterek felhasználásával. In Kovács-Pálffy P et al (eds): *Délvidéki tájakon. GEO 2004. Magyar Földtudományi Szakemberek VII. Világtalálkozója, Szeged*, D2
- Gál, T., Balázs, B. and Geiger, J., 2005: Modelling the maximum development of urban heat island with the application of GIS based surface parameters in Szeged (Part 2): Stratified sampling and the statistical model. *Acta Climatologica Univ Szegediensis* 38–39, 59–69.
- Gál T., Balázs B., Geiger J., Sümeghy Z. és Unger J., 2005: Az átlagos maximális városi hősziget intenzitás modellezése felszínparaméterek felhasználásával, Szegeden. A környezettudomány elmélete és gyakorlata, Tudományos konferencia, Szeged. CD
- Unger, J., Balázs, B., Sümeghy, Z. and Gál, T., 2006\*: Multiple variable model for estimating the maximum UHI using 2 and 3 dimensional surface parameters. *Preprints 6th Int Conf on Urban Climate, Göteborg, Sweden*, 334–337.
- Unger J., Gál T., Balázs B. és Sümeghy Z., 2006: A városi felszíngeometria és a hőmérséklet területi eloszlása közötti kapcsolat Szegeden. In Kiss A, Mezősi G és Sümeghy Z (szerk): *Táj, környezet és társadalom. Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére. SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged*, 735–746.
- Unger J., Gál T., Balázs B. és Sümeghy Z., 2006: A városi felszín összetett geometriájának hatása a városi hőszigetre Szegeden. *3. Magyar Földrajzi Konf, Budapest*, CD.
- Unger, J., Gál, T., Balázs, B. and Sümeghy Z., 2006: Relationship between the intra-urban variation of sky view factor approximated by a software based tool and air temperature. *Preprints 6th Int Conf on Urban Climate, Göteborg, Sweden*, 346–349.
- Unger, J., Sümeghy, Z., Gál, T. and Balázs, B., 2006\*: Statistical modelling of the urban heat island using 2 and 3D surface parameters in Szeged, Hungary. *Volume of Abstracts. 8th Conf on Meteorology-Climatology-Atmospheric Physics, Athens*, 169.