

# A VÁROSI HŐMÉRSÉKLETI TÖBBLET TERÜLETI ELOSZLÁSÁNAK STATISZTIKUS MODELLEZÉSE A BEÉPÍTETTSÉGI PARAMÉTER ALAPJÁN, SZEGEDEN ÉS DEBRECENBEN

*Bottyán Zsolt<sup>1</sup> – Unger János<sup>2</sup> – Szegedi Sándor<sup>3</sup> – Gál Tamás<sup>4</sup>*

## 1. Bevezetés

A városi települések leginkább kutatott éghajlati sajátossága az ún városi hősziget (Urban Heat Island, UHI), mely az erősen urbanizált részek és a külterületek között kimutatható jelentős hőmérsékleti különbségben realizálódik. A hősziget intenzitása a városi területek esetében szignifikáns időbeli és térbeli változást mutat (Oke, 1997; Kuttler, 1998). Általánosságban elmondhatjuk, hogy a hősziget markáns kifejlődéséhez kedvező időjárási helyzetet a csapadék hiánya, a szélcsend vagy gyenge szél és a kevés felhőzet jellemzi. A kialakult hősziget intenzitásának maximumát leggyakrabban néhány órával napnyugta után tapasztalhatjuk (Oke and Maxwell, 1975).

A városi hőmérsékleti többlet – a hősziget – kialakításában meghatározó szerepet játszó fizikai folyamatok rendkívül bonyolultak, hiszen időbeli lefutásuk gyors és egy erősen változó geometriájú és sokféle anyagminőségű városi felszínen keresztül fejtik ki hatásaikat. Ennek ellenére, a szakirodalomban fellelhetőek az UHI intenzitás becslésére statisztikus modellek: pl. szélesség, területhasznosítási típusok, népesség alapján (Park, 1986); rövidhullámú besugárzás, szélesség és felhőzet mennyisége alapján (Chow et al., 1994); beépítettség arány, magasság, szélesség, idő, hőmérsékleti amplitudó alapján (Kuttler et al., 1996); beépítettség arány, égbolt-láthatósági index, épületmagasság, vízfelszín arány alapján (Bottyán and Unger, 2003).

Munkánk során – a fentiekből kiindulva – statisztikus modellek segítségével adunk becslést az átlagos maximális UHI intenzitás területi eloszlására Szegeden és Debrecenben, figyelembe véve a városi felszínnek eltérő beépítettségi tulajdonságát, valamint az évszakos változékonyságot.

## 2. Vizsgált területek és módszerek

Szeged és Debrecen földrajzi elhelyezkedése (orográfiai zavaró tényezőktől mentes síkságon fekszenek), népességszámuk (kb. 160,000 illetve 220,000 lakos) és a különböző városmorfológiai típusok fellelhetősége (sűrű beépítettségű belváros, nagy panelházak alkotta lakótelepek, ipari körzetek, családi házas kertvárosi övezetek, parkok zöldterületei, és a külterületek mezőgazdasági földterületei) különösen alkalmassá teszi e két várost arra, hogy egy viszonylag zavartalan városi klíma jellegzetességeit tanulmányozzuk.

A vizsgálathoz szükséges hőmérsékleti értékeket a 2002. április és 2003. március között mérőautóval történt egyidejű – mindkét helyen egyszerre történő – mérésorozat szolgáltatta. Ennek során mindkét városban egyidejűleg két-két mérőautóval előre rögzített útvonalon haladva gyűjtöttük az adatokat. A kapott hőmérsékleti értékek különböző meteorológiai viszonyok között mért adatok, ami a feldolgozás szempontjából alapvető fontosságú. Az adatgyűjtéshez és a további vizsgálatokhoz két egységes – mindkét város jelentős részét lefedő – 0,5x0,5 km-es felbontású gridhálót fektettünk le a vizsgált területre, melyeken belül meghatároztuk a mérési útvonalak északi és déli hálózatát (1 - 2. ábra). A mért adatokat

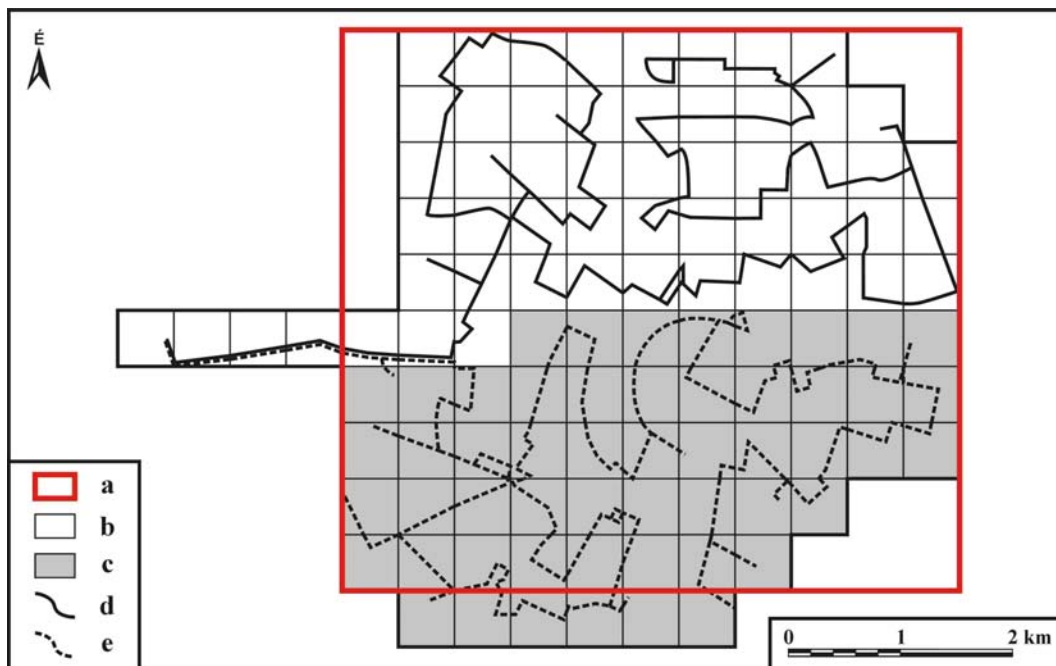
<sup>1</sup> tanszéki munkatárs, Debreceni Egyetem, Erőforrásgazdálkodási Tanszék, [zbottyán@helios.date.hu](mailto:zbottyán@helios.date.hu)

<sup>2</sup> egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, [unger@geo.u-szeged.hu](mailto:unger@geo.u-szeged.hu)

<sup>3</sup> egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem, Meteorológia Tanszék, [szegedis@delfin.klte.hu](mailto:szegedis@delfin.klte.hu)

<sup>4</sup> egyetemi hallgató, Szegedi Tudományegyetem

cellánként átlagolva, elvégezve a lineáris korrekciót és ebből kivonva a külterületen elhelyezkedő referencia-állomás (Országos Meteorológiai Szolgálat) hőmérsékleti értékét, megkaptuk minden egyes cellára vonatkozóan az aznapi maximális hősziget-intenzitás értékét (Sümeghy and Unger, 2003; Szegedi and Kircsi, 2003). A teljes mérési időszakot két intervallumra osztottuk fel aszerint, hogy a mintavétel a fűtési (október 16 – április 15) vagy a nem-fűtési (április 16 – október 15) félévbe esett. Ez a felosztás a két félév eltérő fizikai-energetikai folyamatai és a fűtési időszak jelentős antropogén hőtermelésének figyelembe vételével történt. A teljes mintavételi területet leszűkítettük az összehasonlítás érdekében, így jelen tanulmányunkban a vizsgált területet az 1. és 2. ábrán pirossal jelölt régió jelenti. Ez nem jelent jelentős korlátozást, hiszen a városi beépített részek több, mint 90%-át lefedik mindkét esetben, ugyanakkor az összevetést megkönnyíti.

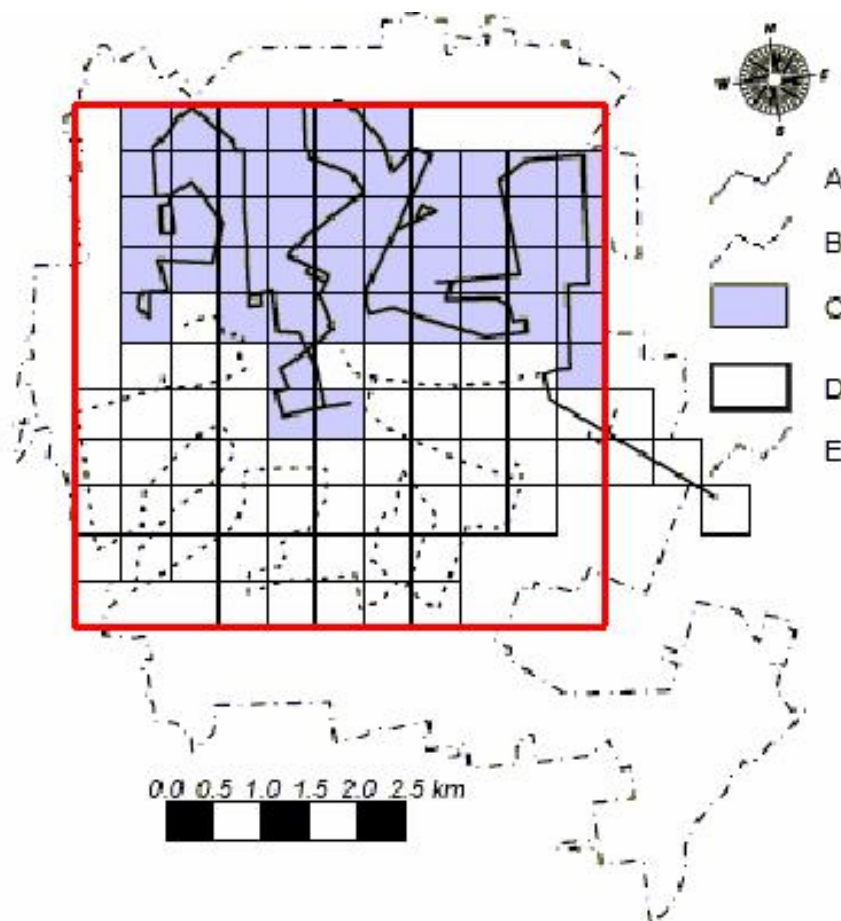


1. ábra Az adatgyűjtés területe és az alkalmazott 0,5x0,5 km-es gridháló Szegeden: (a) a jelenleg vizsgált terület határa, (b) a gridhálózat északi része, (c) a gridhálózat déli része, (d) a mérés útvonalának északi része és (e) a mérés útvonalának déli része

Korábbi vizsgálatokból kiderült, hogy a városi felszín anyagi és geometriai tulajdonságai befolyásolják a hőmérsékleti többlet területi eloszlását (Unger et al., 2000). Ugyanakkor azt is látnunk kell, hogy amíg a hőtöbblet területi eloszlása szinte kizárólagosan a beépített területek felszínének fizikai tulajdonságainak területi eloszlásától függ, addig a maximális UHI intenzitás értékét az adott város rövid időskálájú meteorológiai viszonyai szabályozzák.

A városi felszín fizikai-geometriai tulajdonságait többféle paraméterrel lehet jellemezni, melyek közül az egyik legfontosabb az ún. beépítettségi arány (B), mely egy adott gridcellára vonatkozóan a beépített területek %-os arányát mutatja az adott cella teljes területéhez viszonyítva. Ennek a városi felszíni paraméternek a meghatározása a SPOT műhold XS felvételének kiértékelésével, GIS módszerek kombinálásával, majd az ún. Normalizált Vegetációs Index (Normalised Difference Vegetation Index, NDVI) számításával történt. Az NDVI a képpontok (pixelek) a látható (0,58 – 0,68  $\mu\text{m}$ ) és a közeli infravörös (0,72 – 1,10  $\mu\text{m}$ ) sugárzási tartományban mért értékeiből került meghatározásra minden pixelre vonatkozóan (Gallo and Owen, 1999).

Munkánk során a feladatunk tehát az volt, hogy minél jobb becslést adjunk az UHI intenzitás ( $\Delta T$ ) területi eloszlására az ismert beépítettségi arány (B) segítségével. Ennek megvalósításának érdekében az említett beépítettségi arány és az átlagos maximális hősziget-intenzitás közötti kapcsolatot tártuk fel – mindkét városra vonatkozóan – a beléptetéses többváltozós lineáris regresszió-analízis segítségével. Korábbi vizsgálataink egyértelműen kimutatták, hogy jelentős lineáris kapcsolat létezik e két paraméter között Szeged esetében, valamint a város szerkezetéből fakadóan, a középponttól mért távolság is igen erős prediktornak mutatkozott (Unger *et al.*, 2000). Ez egy adott – jelen esetben Szeged – erősen koncentrikus városszerkezet esetén természetes is, de egy kevésbé szabályos körszerű struktúra is mutat hasonló tulajdonságot, hiszen az épületek a város magjában szinte mindig koncentrálnak. Tehát Debrecen esetében is számolnunk kellett a középponttól való távolság és az UHI intenzitás kapcsolatával. Másrészt, az is ismert, hogy egy város adott pontján kialakuló UHI intenzitás értéke nem csak a közvetlen, hanem a tágabb környezet beépítettségi mutatóitól is jelentősen függ (Bottyán and Unger, 2003). A fentebb leírtak alapján egy olyan modellt alkottunk meg, amely implicite tartalmazza az UHI intenzitás távolságfüggését is, de prediktorként csak a beépítettségi arány értékeivel becsül.



2. ábra A vizsgált terület Debrecenben: (A) a mérés útvonalának északi része, (B) a mérés útvonalának déli része, (C) a gridhálózat északi része, (D) a gridhálózat déli része, (E) a város belterületének határa. Piros vonallal a jelenleg vizsgált terület határát jelöltük. A mérési kezdőpont a legkeletibb cellában volt.

A modell lényege, hogy minden egyes gridcellához hozzárendeltük még a távolság négyzetével fordítottan arányban súlyozott beépítettségi értékeit is, melyeket a teljes vizsgált terület gridcelláiból határoztunk meg (valójában ezek az értékek egy fokozatosan táguló

koncentrikus körgyűrűk mentén elhelyezkedő gridcellák beépítettségi arányainak az átlaga, mely körgyűrűkből a városok területe és a gridhálózat alapján három különíthető el). Így minden gridcella négy beépítettségi arány értékkel rendelkezett ezután (B, B1, B2, B3, ahol a B az eredeti gridcellára kapott szám, a B1, B2, B3 pedig a kiterjesztésekből adódó beépítettségi értékek). Majd ezután a beléptetéses többváltozós lineáris regresszió segítségével meghatároztuk azokat a prediktorokat, melyek valóban fontos szerepet játszanak az UHI intenzitás becslésében (Bottyán and Unger, 2003).

### 3. Eredmények

A mobil mérési technika segítségével kapott és a fentebb említett módon származtatott átlagos maximális hősziget-intenzitás területi eloszlását elemezve megállapítható, hogy Szeged esetében mindkét félév során alapvetően koncentrikus jellegű a hősziget elhelyezkedése, mely jól illeszkedik a város hasonló szerkezetéhez, de lokálisan jelentős eltérések is előfordulnak. Általánosságban annyi mondható el, hogy míg a fűtési szezonban a legmagasabb átlagos maximális UHI intenzitás értéke  $2,6^{\circ}\text{C}$ , addig a nem-fűtésiben  $2,8^{\circ}\text{C}$  volt és mindkét félévben a város centrumában helyezkedett el a maximuma (Sümeghy and Unger, 2003). A debreceni mérések alapján elmondhatjuk, hogy ebben a városban is a nem-fűtési félévben volt magasabb az UHI intenzitás értéke ( $2,5^{\circ}\text{C}$ ), míg a fűtésiben pedig  $2,1^{\circ}\text{C}$ . Másfelől Debrecen városszerkezete kevésbé koncentrikus jellegű, így ez a tény természetesen a hőtöbblet eloszlásában is megmutatkozik, ugyanakkor viszont az UHI intenzitás területi eloszlása mindkét félévben hasonló struktúrát mutat (Szegedi and Kircsi, 2003).

Miután a feldolgozandó adatok eloszlása alapvetően befolyásolja az alkalmazható vizsgálati módszert ill. a kapott eredmények értelmezhetőségét és értelmezését, ezért előzetesen megvizsgáltuk, hogy empirikus eloszlásfüggvényeik statisztikailag reálisan normális eloszlásúnak tekinthetők-e. Ennek során kiderült, hogy a  $\Delta T$ , valamint a B faktorok mintája egyaránt normális eloszlást követ. A hipotézis-vizsgálatokat a *khi-négyzet próba* segítségével végeztük el.

E tények ismeretében a paraméterek közötti kapcsolatok realitásának eldöntéséhez a regressziós együtthatók szignifikanciájára helyeztük a hangsúlyt. Ezután a már említett lineáris regresszió-analízis alkalmazásával meghatároztuk a regressziós becslés prediktorait, paramétereit és ezek együtthatóit, majd végül a szignifikanciáját is a fokozatos beléptetés elvét alkalmazva mindkét félév esetében. A kapott regressziós becslés paramétereit, korrelációs együtthatóit és a szignifikancia szinteket Szeged esetében az *1. táblázat*, míg Debrecen esetén a *2. táblázat* tartalmazza.

A kapott modell-egyenletek Szeged nem-fűtési (Egy. 1), Szeged fűtési (Egy. 2), valamint Debrecen nem-fűtési (Egy. 3) és Debrecen fűtési (Egy. 4) időszakának vonatkozásában egyaránt igen erős lineáris kapcsolat meglétét igazolják, ezért biztonsággal állíthatjuk, hogy csupán a figyelembe vett statikus beépítettségi prediktor és az adott módon számított kiterjesztései alapján megfelelő pontossággal lehet becsülni a hősziget maximális intenzitását mindkét város esetében. Az is nyilvánvaló, hogy a nem-fűtési időszakban a modell is markánsabb  $\Delta T$  értéket jelez, mint a fűtésiben, ami összhangban van a mért adatokkal.

A továbbiakban – a négy modell-egyenletet alkalmazva – előállítottuk mindkét időszakra vonatkozóan a  $\Delta T$  paraméter területi eloszlását Szegeden és Debrecenben. Ehhez minden gridcella esetén, amelyekhez rendelkezésünkre állnak a prediktor paraméterek adatai, kiszámítottuk a becsült  $\Delta T$ -t és a kapott értékeket izovonalak segítségével ábrázoltuk a várost lefedő gridhálón. Az ábrázolás során alkalmazott interpoláció a *Kriging-eljárás* volt, mely gyakran alkalmazott módszer hasonló feladatok esetében.

1. táblázat A többváltozós korrelációs együtthatók értékei és szignifikancia szintek az átlagos maximális hősziget-intenzitás és a beépítettségi paraméterek között a vizsgált időszakokra vonatkozóan Szegeden (elemszám, n = 96)

Időszak	Beléptetett paraméter	Többvált.  r	Többvált. r <sup>2</sup>	Δr <sup>2</sup>	Szign. szint
április 16 – október 15 (nem-fűtési félév)	B1	0,737	0,543	0,000	0,1%
	B1, B	0,801	0,641	0,098	0,1%
	B1, B, B3	0,820	0,673	0,022	0,1%
	B1, B, B3, B2	0,858	0,736	0,063	0,1%
október 16 – április 15 (fűtési félév)	B3	0,777	0,603	0,000	0,1%
	B3, B	0,842	0,709	0,106	0,1%
	B3, B, B1	0,860	0,739	0,030	0,1%

2. táblázat A többváltozós korrelációs együtthatók értékei és szignifikancia szintek az átlagos maximális hősziget-intenzitás és a beépítettségi paraméterek között a vizsgált időszakokra vonatkozóan Debrecenben (elemszám, n = 101)

Időszak	Beléptetett paraméter	Többvált.  r	Többvált. r <sup>2</sup>	Δr <sup>2</sup>	Szign. szint
április 16 – október 15 (nem-fűtési félév)	B1	0,561	0,315	0,000	0,1%
	B1, B3	0,588	0,346	0,031	0,1%
Október 16 – Április 15 (fűtési félév)	B3	0,451	0,203	0,000	0,1%
	B3, B1	0,505	0,255	0,052	0,1%
	B3, B1, B2	0,552	0,305	0,050	0,1%

$$\Delta T = 0,0008B1 + 0,0064B - 0,0733B3 - 0,0323B2 + 8,073 \quad (\text{Egy. 1})$$

$$\Delta T = -0,0361B3 + 0,074B + 0,0114B1 + 2,789 \quad (\text{Egy. 2})$$

$$\Delta T = 0,0226B1 - 0,0324B3 + 2,065 \quad (\text{Egy. 3})$$

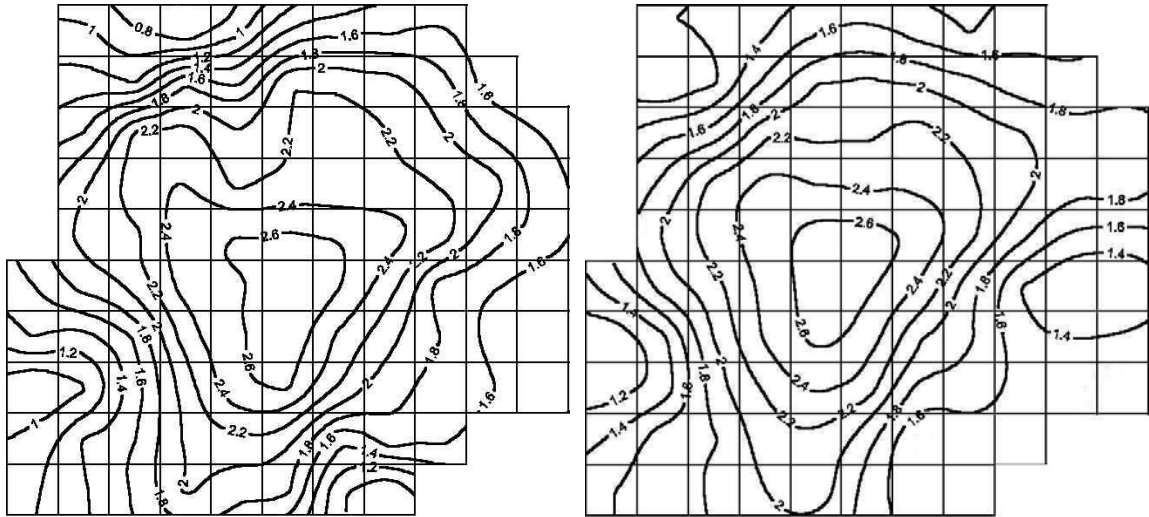
$$\Delta T = -0,0424B3 + 0,0125B1 - 0,0154B2 + 3,281 \quad (\text{Egy. 4})$$

Mindkét város esetében elmondhatjuk, hogy a nem-fűtési szezonra kapott területi eloszlás izovonalainak futása jól követi a mért értékekből megrajzolt kétdimenziós eloszlás vonalainak rajzolatát, ugyanakkor természetesen eltérések is kimutathatók. Szeged esetében markánsan megjelenik a vonalak kinyúlása ÉK-i irányban a nagy kiterjedésű panelházak alkotta lakótelep irányába és így torzul a hősziget koncentrikus jellege. Az is jól megfigyelhető, hogy a Tisza mentén kissé megtörik a görbék futása, mintegy jelezve a folyó enyhén módosító, kissé hűtő közegét (3. ábra).

Debrecen kevésbé koncentrikus városszerkezete jól visszatükröződik a mért és a modell által meghatározott hőmérsékleti többlet eloszlásában egyaránt. Jól megfigyelhető, hogy az izovonalak futásában van egy ÉNy-DK-i tengely mentén való elrendeződés, ami alapvetően a város északi peremén elhelyezkedő nagy területű erdős-ligetes területnek köszönhetően alakult ki. A mért és a számított UHI intenzitás mező egyaránt nagy gradienssel csökken ebben az irányban, ami jól egybeesik a szintén itt megfigyelhető erős beépítettség-csökkenéssel. A város Ny-i és DNy-i területin elhelyezkedő lakótelepek nagy blokkházai itt is módosítják az izovonalak futását és ezen a területen mértük a legmagasabb UHI intenzitás értékeket is, amit – kis hibával - a modell által számított értékek is követnek (4. ábra).

Másrészt fontos észrevenni, hogy ebben az időszakban mindkét vizsgált terület esetén rendkívül gyorsan csökken a hőmérsékleti többlet az erősen beépített É-i panelházak lakótelepek és a külterületek között. Ennek magyarázata az lehet, hogy nyáron a betonból

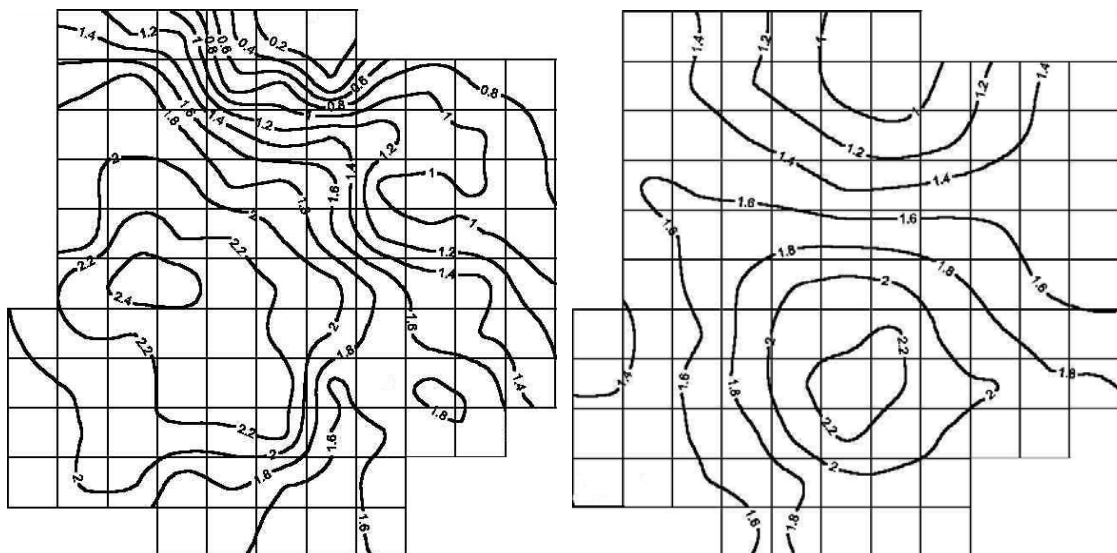
készült házak nagyon sok hőt tárolnak, míg a környéken kifelé hirtelen csökken az épületek száma és mérete, így a csapdába ejtett hő mennyisége is. Ez az erős gradiens sokszor mérhető, mikro- és mezo-skálán megjelenő légáramlást indukál, melynek iránya a város központi része felé mutat (Kuttler *et al.*, 1996).



(a)

(b)

3. ábra (a) A mért és (b) a modellegyenlet segítségével számított átlagos maximális városi hősziget-intenzitás ( $^{\circ}\text{C}$ ) területi eloszlása a vizsgált területen a nem-fűtési időszakban Szegeden

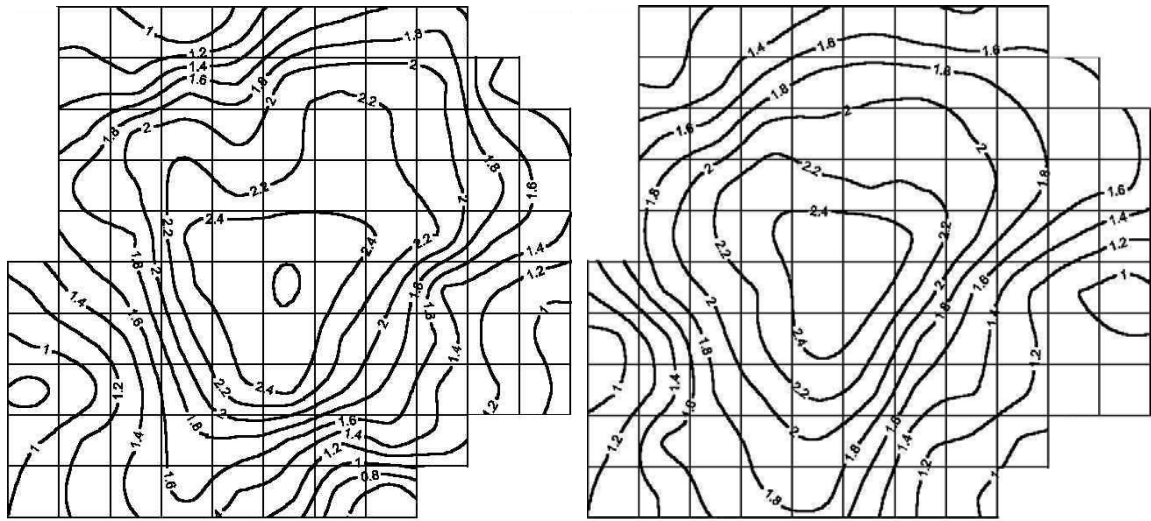


(a)

(b)

4. ábra (a) A mért és (b) a modellegyenlet segítségével számított átlagos maximális városi hősziget-intenzitás ( $^{\circ}\text{C}$ ) területi eloszlása a vizsgált területen a nem-fűtési időszakban Debrecenben

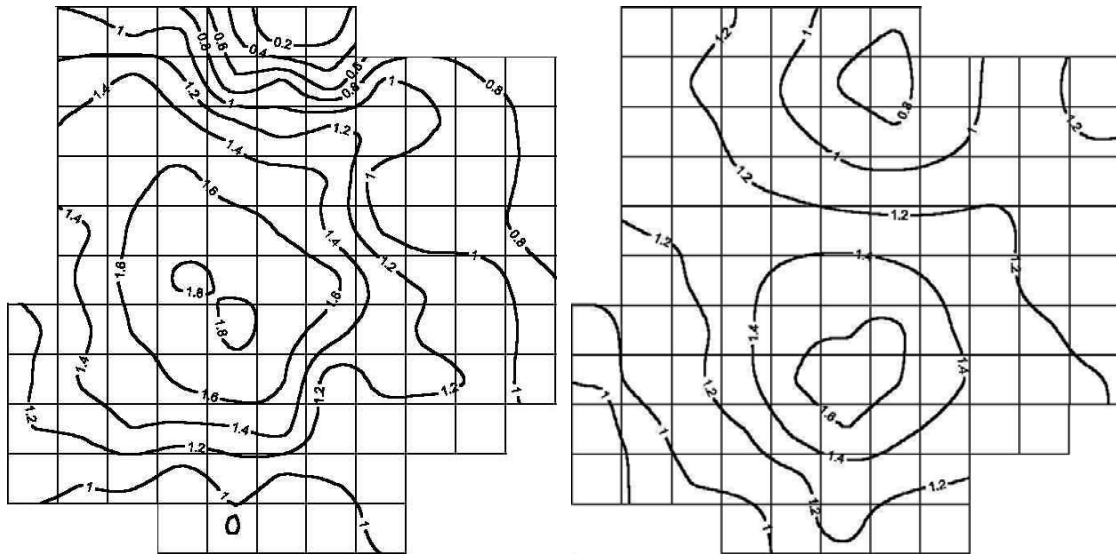
A fűtési időszakban mindkét város esetén a mért  $\Delta T$  mező kevésbé markáns hősziget intenzitást mutat, mint a nem-fűtési szezonban. Ugyanakkor Szegednél azok a koncentricitást megtörő hatások, melyekről fentebb beszéltünk, szintén jelentkeznek (5. ábra).



(a)

(b)

5. ábra (a) A mért és (b) a modellegyenlet segítségével számított átlagos maximális városi hősziget-intenzitás ( $^{\circ}\text{C}$ ) területi eloszlása a vizsgált területen a fűtési időszakban, Szegeden



(a)

(b)

6. ábra (a) A mért és (b) a modellegyenlet segítségével számított átlagos maximális városi hősziget-intenzitás ( $^{\circ}\text{C}$ ) területi eloszlása a vizsgált területen a fűtési időszakban Debrecenben

Debrecenben is alapvetően megmarad a hősziget területi eloszlásának struktúrája, de hasonlóan a nem-fűtési időszakhoz, most is jól észrevehető, hogy a becsült maximális UHI intenzitás értékének helye kissé DK-i irányban eltolódott a mért legmagasabb érték pozíciójához viszonyítva.



A modell által becsült és a mért adatokból előállított UHI intenzitás értékek területi eloszlásának szerkezete mindkét város esetén, mindkét vizsgált félévben nagy hasonlóságot mutat, ami azt bizonyítja, hogy a beépítettségi arány felszíni eloszlása és a hősziget-intenzitás területi eloszlása között igen szoros kapcsolat van. Ez egyben azt is jelenti, hogy lényegében a város beépíttségének területi szerkezete alapján határozza meg a város felett megjelenő maximális hőmérsékleti többlet térbeli struktúráját.

Ugyanakkor azt is látnunk kell, hogy a modell által becsült UHI értékek alatta maradnak a mért adatoknak (pl. a maximális értékek becslése esetén a becsült adatok rendre mintegy  $0,2^{\circ}\text{C}$ -kal alacsonyabbak mindkét város esetében), ami azt jelenti, hogy a hőmérsékleti többlet számértékeinek pontosabb becsléséhez további városi paraméterek bevonása is szükséges lesz a jövőben.

### Következtetések

Jelen tanulmányban a beépítettségi arány, mint városi felszíni paraméter segítségével becslést adtunk az átlagos maximális hősziget-intenzitás ( $\Delta T$ ) térbeli eloszlására a vizsgált féléves időszakokban Szeged és Debrecen területére. Az eredmények a következőkben foglalhatók össze:

- A  $\Delta T$  mérési adatokból származtatott területi eloszlása Szegeden mindkét időszakban koncentrikus szerkezetű, követve ezzel a város hasonló struktúráját, míg Debrecenben egy ÉNy-DK-i irányú tengely mentén torzul a körszimmetria. A hősziget intenzitása a városok közepe felé haladva növekszik, de a beépíttség és az eltérő anyagi szerkezetű épületek okozta anomáliák jól megfigyelhetők (panel építésű lakótelepek, jelentős növényzettel borított parkok és ipari negyedek).

- A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a beépítettségi arány (B) és annak területi kiterjesztései (B1, B2, B3) erős lineáris kapcsolatot mutatnak a  $\Delta T$ -vel, vagyis a kapott négy modell-egyenlet nagy pontossággal írja le a hősziget-intenzitás területi eloszlását mindkét város esetén.

- Az értékét tekintve is pontosabb UHI értékbecslés megvalósításához további városi felszíni paraméterek bevonása szükséges a modellbe, melyeknek segítségével korrigálhatóak a jelenlegi modell kisebb hibái.

- Összességében elmondhatjuk, hogy a statikus paraméterek alapján történő területi statisztikus becslés megbízható alapot szolgáltat a hősziget-intenzitás meteorológiai paraméterek bevonásával történő, időbeli és térbeli eloszlásának előrejelzéséhez, amely kutatásunk további, egyben legfontosabb célja is.

**Köszönetnyilvánítás** – A kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alapprogram (OTKA T/034161) támogatta. Külön köszönet illeti Dr. Mucsi László egyetemi docenst a beépítettségi arányainak megállapításáért. Ezen kívül köszönet illeti Kircsi Andrea és Sümeghy Zoltán tanársegédeknek az ábrák elkészítésében nyújtott segítségükért.



## IRODALOM

**Bottyán, Z. and Unger, J.**, (2003) A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. – *Theor. Appl. Climatol.* 75, 233-243.

**Chow, S.D., Zheng, J. and Wu, L.**, (1994) Solar radiation and surface temperature in Shanghai City and their relation to urban heat island intensity. – *Atmos. Environ.* 28, 2119-2127.

**Gallo, K.P. and Owen, T.W.**, (1999) Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias. – *J. Appl. Meteorol.* 38, 806-813.

**Kuttler, W.**, (1998): Stadtklima. – In *Stadtökologie* (eds: **Sukopp, H. und Wittig, R.**). Gustav Fischer, Stuttgart-Jena-Lübeck-Ulm, 125-167.

**Kuttler, W., Barlag, A-B. and Roßmann, F.**, (1996) Study of the thermal structure of a town in a narrow valley. – *Atmos. Environ.* 30, 365-378.

**Oke, T.R.**, (1997) Urban climates and global environmental change. – In *Applied Climatology* (eds: **Thompson, R.D. and Perry, A.**). Routledge, London-New York, 273-287.

**Oke, T.R. and Maxwell, G.B.**, (1975): Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. – *Atmos. Environ.* 9, 191-200.

**Park, H-S.**, (1986): Features of the heat island in Seoul and its surrounding cities. – *Atmos. Environ.* 20, 1859-1866.

**Sümeğhy, Z. and Unger J.**, (2003) Classification of urban heat island patterns. – *Acta Climatol. Univ. Szegediensis* 36-37, 93-100.

**Szegedi, S. and Kircsi, A.**, (2003) Effect of the synoptic conditions on the development of the urban heat island in Debrecen, Hungary. – *Acta Climatol. Univ. Szegediensis* 36-37, 111-120.

**Unger, J., Bottyán, Z., Sümeğhy, Z. and Gulyás, Á.**, (2000) Urban heat island development affected by urban surface factors. – *Időjárás* 104, 253-268.