

DOKTORI (Ph.D) ÉRTEKEZÉS

TÉZISEK

**AZ ÁTLAGOS MAXIMÁLIS HŐSZIGET-INTENZITÁS
STATISZTIKUS MODELLJE SZEGEDEN ÉS DEBRECENBEN**

BOTTYÁN ZSOLT

TÉMAVEZETŐ:

DR. UNGER JÁNOS

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

Földtudományok Doktori Iskola

2007

1. Előzmények és célkitűzések

A 20. század második felében rendkívül felgyorsult és hatalmas méreteket öltött az urbanizáció. A Föld városi népessége jóval nagyobb ütemben növekszik, mint az össznépesség, ezért világszerte mind több ember él urbanizált térségben. A települések (elsősorban a városok) jelentősen módosítják a városi levegőkörnyezet szinte minden jellemzőjét a környező területekhez viszonyítva, így a mesterséges tényezők egy helyi klímát (városklímát) határoznak meg. E városi klíma kifejlődése során a hőmérséklet mutatja környezetéhez képest a legszembetűnőbb módosulást, jellegzetesen elsősorban növekedést, ami a városi hősziget (Urban Heat Island – UHI) formájában nyilvánul meg. A hősziget nagysága (intenzitása) jellegzetes napi menetet és a településen belül eléggé eltérő mértéket mutat. Az ezekkel kapcsolatos elméleti alapokat (*Stummer, 1939; Duckworth and Sandberg, 1954; Oke and Hannell, 1970; Oke and Fuggle, 1972; Probáld, 1974; Yoshino, 1975; Probáld, 1975;; Oke and Maxwell, 1975; Oke, 1976; Oke, 1979; Landsberg, 1981; Barry and Chorley, 1982; Oke, 1982; Park, 1987; Mézes, 1995; Oke, 1997; Unger, 1997; Kuttler, 1998; Unger és Sümegehy, 2002*) foglalom össze dolgoztam 2. fejezetében.

A 3. fejezetben tömör áttekintését adom a városi hősziget-modellezés külföldi és hazai előzményeinek (*Sundborg, 1950, 1951; Duckworth and Sandberg, 1954; Kratzer, 1956; Manley, 1958; Chandler, 1960; Mitchell, 1961; Chandler, 1962, 1967; Myrup, 1969; Bach, 1970; Delage and Taylor, 1970; Yu, 1973; Oke, 1973; Oke and Maxwell, 1975; Bornstein and Robock, 1976; Vukovich et al., 1976; Nkemdirim and Truch, 1978; Terjung and O'Rourke, 1980; Landsberg, 1981; Park, 1986; Chow et al., 1994; Moreno-Garcia, 1994; Kuttler et al., 1996; Bornstein et al., 1999; Thielen and Troude, 2001; Morris et al., 2001; Goncalves et al., 2003; Long et al., 2003; Giridharam et al, 2005; Masson, 2006; Alcoforado and Andrade, 2007*) valamint hazai történetének (*Unger et al., 2000; Unger et al., 2001; Bottyán és Unger, 2001; Bottyán and Unger, 2002; Bottyán and Unger, 2003; Bottyán et al., 2003; Unger et al., 2004; Bottyán et al., 2004; Bottyán et al., 2005*), melyek jelen munkának több szempontból is előzményei.

A dolgozat 4. fejezete az alföldi régió földrajzi és éghajlati sajátosságait tárgyalja röviden, hiszen a város környezetének természetföldrajzi sajátosságai (tehát pl. domborzata és nagy vízfelületektől való távolsága) is jelentős hatást gyakorolnak a klímára, ezért tartom szükségesnek Szeged és Debrecen ezen adottságainak rövid áttekintését (*Frisnyák et al., 1978; Péczely, 1979; Mezősi, 1983; Péczely, 1984; Keveiné Bárány, 1988*). Mind Szeged, mind Debrecen sík vidéken fekszik, lényegében hasonló domborzattal rendelkeznek, éghajlati viszonyaik és méreteik is csaknem megegyeznek. Az említett tényezők együttesen teszik alkalmassá a két várost a városi éghajlat hőmérsékleti mezejének egyidejű tanulmányozására és általános összefüggések megállapítására.

Mindezek alapján 1999-ben egy több éves kutatási projekt elindítására került sor, melyben két mérési kampányt bonyolítottunk le (2x1 éves időtartamban): az elsőt 1999. március és 2000. február között Szegeden, amelyet egyfajta nagyon alapos előtanulmánynak tekinthetünk, a másodikat pedig a 2002. április és 2003. március közötti időszakban Szegeden és Debrecenben egyidejűleg, amely utóbbi a maximális hősziget területi struktúrájának bemutatásához szükséges adatok döntő többségét szolgáltatta. Az 5. fejezet az UHI területi vizsgálatának, valamint a városi felszín beépítettségi, geometriai paraméterei meghatározásának módszereit tartalmazza.

A 6. fejezet a két vizsgált város esetén tapasztalt hősziget tulajdonságait (területi eloszlás, anomáliák) mutatja be és foglalja össze.

Az 1999/2000-es és a 2002/2003-as mérési kampány észleléseiből származó hatalmas mennyiségű adat felhasználásával két többváltozós lineáris statisztikus modellt fejlesztettünk ki mindkét város hőszigetének pontosabb leírása céljából. A 7. fejezetben az éghajlati rendszer matematikai modellezésének elvi kérdéseit tekintem át, majd a dolgozatom utolsó 8. fejezetében bemutatom a Szegedre kidolgozott 1. típusú, valamint a Szegedre és Debrecenre fejlesztett 2. típusú statisztikus modellt. Mindkét modell a városi felszíni karakterisztikák alapján becsli az átlagos maximális UHI intenzitást.

A városi hősziget kutatása több szempontból is fontos feladat, hiszen az UHI jelentősen befolyásolja a városlakók komfortérzetét (közepes földrajzi szélességen évszakonként eltérő előjellel), a fűtésre/hűtésre fordítandó energiamennyiséget, illetve a növények vegetációs időszakát és fenológiai fázisait. Ezért az UHI maximális értékeinek területi eloszlását megbecsülni beépítettségi paraméterek segítségével rendkívül fontos és hasznos feladat.

2. Vizsgálatban szereplő területek

A városi hősziget térképezésének és az eredmények megjelenítésének kiindulási alapjául az Egységes Országos Vetületben (EOV) készült Egységes Országos Térképrendszer (EOTR) 1:10.000 méretarányú földmérési-topográfiai térképei szolgáltak. Szegedet és közvetlen környezetét valamint Debrecen és környékét – így természetesen benne a vizsgált területet is – tehát az említett EOTR 1:10.000 méretarányú térképeinek kilométerhálózati vonalai alapján 500 m oldalhosszúságú négyzetes cellákra, azaz gridekre (rácshálózatra) osztottuk fel. Ugyanilyen, 0,25 km² területű cellákat alkalmaztak korábban már több más városklíma-kutatásnál (pl. *Jendritzky and Nübler*, 1981; *Park*, 1986.), de hasonló cellamérettel találkozhatunk több más ilyen jellegű projektben is (pl. *Lindberg et al.*, 2003; *Long et al.*, 2003). Az általunk tanulmányozott terület Szegeden 107 négyzetből áll (azaz 26,75 km²-re terjed ki), mely Szeged városi és elővárosi negyedeit foglalja magában. Ugyanez a hálózat Debrecen esetében 105 cellát tartalmaz és a város 26,25 km²-ét fedi le, hasonló városrészeket reprezentálva, mint Szeged esetén.

3. Az adatgyűjtés módja és a feldolgozás módszere

3.1. A hőmérséklet mérése

A 2002. március és 2003. március közötti időszakban, a maximális UHI intenzitás vizsgálata egyidejűleg történt mindkét városban, és mérőkocsival gyűjtött adatokon alapult. (A 1999. – 2000. közötti időszakban csak Szegeden történt hasonló elven mérésorozat.) A személygépkocsival végzett mobil mérést általános eljárásnak tekinthetjük bizonyos városklíma jellemzők detektálására, így kimondottan alkalmas a hőmérséklet mérésére is (pl. *Oke and Fuggle*, 1972; *Moreno-Garcia*, 1994; *Eliasson*, 1996; *Yamashita*, 1996; *Voogt and Oke*, 1997; *Klyzik and Fortuniak*, 1999; *Comrie*, 2000; *Santos et al.*, 2003).

A nemzetközi szakirodalom (pl. *Oke*, 1987) és az ezzel a területtel foglalkozó korábbi szegedi kutatások (*Boruzs és Nagy*, 1999; *Unger és Sümegehy*, 2000) tapasztalatai alapján az adatgyűjtést az adott útvonalak esetén úgy kellett időzíteni, hogy az UHI maximális kifejlődésének naplemente után 4 órával várható időpontja (a referenciaidő) előtt 1,5 órával kezdjük meg és utána 1,5 órával fejezzük be.

Az észlelést végző mindkét mérőautó 0,01°C-os érzékenységgű, sugárzásvédelemmel ellátott automata hőmérsékleti szenzorral (LogIT HiTemp) volt felszerelve, amely az autók belsejében elhelyezett hordozható digitális LogIT SL adatgyűjtőkhöz (DCP Microdevelopments and SCC Research) kapcsolódott.

Az összegyűjtött hőmérsékleti értékeket cellánként átlagoltuk és átszámítottuk az adott mérésre jellemző referenciaidőre, ami minden esetben a már említett, napnyugta utáni negyedik óra volt. A maximális abszolút UHI intenzitást, azaz a város és környezetének napi maximális hőmérsékleti különbségét (ΔT) a következőképpen értelmezhetjük cellánként:

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

ahol T_{cella} az aktuális városi cella hőmérséklete, $T_{cella(R)}$ pedig a vidékinek tekintett – Szeged esetében a legnyugatibb (amelyben az OMSZ szegedi obszervatóriuma is található), Debrecenben, pedig a legkeletibb – cella hőmérséklete.

A maximális UHI intenzitás mobil mérésekkel történő vizsgálata az említetteknek megfelelően nem 2002-ben, hanem 1999-ben kezdődött Szegeden, s az első észlelési kampány 1999. március és 2000. február között zajlott. Ennek területe és módszerei lényegében megegyeztek a fentiekben ismertetettekkel, ezért most csak az eltéréseket vázolom fel.

1999. március és 2000. február között a mérések kb. heti rendszerességgel történtek, s összesen 48 adatgyűjtés volt. A mérési szektorok kiterjedése és az útvonalak hossza is eltért valamelyest a már bemutatottól: az É-i szektor 59 négyzetből (14,75 km²), a D-i szektor 60ból (15 km²) állt, s a folyamatos átmenet biztosítására (illetve a később tárgyalandó keresztmetszet menti mérések megalapozása érdekében) a kettő között egy 12 cellából (3 km²) álló közös rész is szerepelt.

3.2. Beépítettségi arány meghatározása

Ennek a városi felszíni paraméternek a meghatározása Szeged területére a SPOT műhold XS felvételének kiértékelésével, GIS módszerek kombinálásával, majd az ún. Normalizált Vegetációs Index (Normalised Vegetation Index – NDVI) számításával történt (*Mucsi*, 1996; *Unger et al.*, 2000). Az NDVI értékeit a pixelek értékeiből a következő egyenlet adja meg (*Gallo and Owen*, 1999):

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

ahol IR – a pixel reflektancia értéke a közeli infravörös (0,72-1,1 μ m) sávban és R – a pixel reflektancia értéke a vörös (0,58-0,68 μ m) tartományban. E mutató segítségével a zöldfelületeken kívül a beépített, a vízzel borított és az egyéb felszínek cellákon belüli arányát is el lehet különíteni. Debrecen esetében ugyan a kiindulási kép a LANDSAT TM műhold felvétele volt, de az alkalmazott eljárás megegyezik az előbb leírtakkal.

3.3. Égboltláthatósági faktor mérése és számítása

Munkánk során az égbolt városi felszínnek feletti nyitottságának mennyiségi jellemzésére az ún. égboltláthatósági faktort (Sky View Factor, SVF) alkalmaztuk, melynek értéke teljes égbolt láthatóság esetén 1, míg – határesetben - teljes korlátozás mellett 0. Számos megoldás ismeretes ennek a paraméternek meghatározására: teodolitos mérés segítségével (Szakály, 1962), halszemoptikával felszerelt fényképezőgéppel készített fényképek kiértékelésével (Oke, 1981; Barring et al., 1985; Park, 1987; Holmer et al., 1992), digitális kamerával, vagy automata tetőrétég analizátorral (Grimmond et al., 2001).

Vizsgálataink során Szeged városában teodolit segítségével mértük meg az SVF értékeit a következő módon. A mérési útvonal mentén 125 méterenként meghatároztuk azokat az α_1 és α_2 szögeket, amelyek az utca két oldalán lévő épületek legmagasabb pontjára vonatkozó emelkedési szögeket jelentik. E szögek segítségével kiszámolhatóak a H_1 és H_2 magasságú határoló falak fal-láthatósági mutatói (wall view factor – WVF_1 és WVF_2), illetve ez utóbbi értékekből a teljes SVF a következő képletek felhasználásával (Oke, 1988b):

$$WVF_1 = (1 - \cos\alpha_1) / 2 \quad \text{ahol } \alpha_1 = \tan^{-1}(H_1/W_1)$$

$$WVF_2 = (1 - \cos\alpha_2) / 2 \quad \text{ahol } \alpha_2 = \tan^{-1}(H_2/W_2)$$

$$SVF = 1 - (WVF_1 + WVF_2)$$

Ahol az egyik mérési irányban park, növényzet vagy vízfelszín volt, ott a mért szöget 0-nak tekintettük az adott irányban, mert a vegetáció okozta hatások miatt az SVF érték meghatározása problémás (Yamashita et al., 1986).

3.4. Az épületmagasságok kalkulációja

Az SVF paraméter meghatározásához szükséges mérési adatok Szegeden (a korábban említett minden mérési pontban mért α_1 és α_2 szögeket) rendelkezésre álltak. Ezután meg kellett határozni a mérési talpponttól az utca mindkét széléig terjedő távolságokat (W_1 és W_2), melyek segítségével könnyen kiszámíthatóvá váltak az ún. falmagasságok, vagyis az utcák mentén levő épületek magasságai (H_1 és H_2). Figyelembe véve a teodolit 1,5 méteres magasságát az összefüggések (Bottyán and Unger, 2003):

$$H_1 = \text{tg}(\alpha_1) \cdot W_1 + 1.5 \text{ m}$$

$$H_2 = \text{tg}(\alpha_2) \cdot W_2 + 1.5 \text{ m}$$

Az utcák szélességeit Szeged légifotóinak felhasználásával határoztuk meg, melyeket digitalizálás után ortofotókká alakítottunk az ERDAS IMAGINE GIS szoftver segítségével. Ezekon a fotókon megjelölve a mérési pontokat, számíthatókká váltak a W_1 és W_2 távolságok, majd ezek után a tényleges épületmagasságok (H_1 és H_2) is.

3.5. Az átlagos maximális hősziget területi eloszlása és a beépítettségi paraméterek közti kapcsolat Szegeden és Debrecenben

Mindkét város esetében elmondhatjuk, hogy a mérések során kapott adatokból elkészített átlagos maximális UHI intenzitás területi eloszlására a következő megállapítások érvényesek:

- Az UHI intenzitás legmagasabb értékei a városok belső régióiban elhelyezkedő, erősen beépített területeken mérhetők. Szegeden a mért maximális értéke 3,1 °C (1999-2000 között), Debrecenben pedig, 2,5 °C (2002-2003 között) volt a melegebb nem-fűtési félévben (Unger et al., 2000, Bottyán et al., 2005).
- A városi felszín geometriájának, beépítettségének, struktúrájának függvényében Szeged esetében közel körszimmetrikus, míg Debrecenben egy kétpólusú hősziget nagyszerkezet figyelhető meg (Bottyán és Unger, 2003; Bottyán et al., 2005).
- Mindkét városban a megfigyelhető UHI intenzitás nagyszerkezetet helyi anomáliák módosítják (Bottyán és Unger, 2003; Bottyán et al., 2005).
- A nem-fűtési félévben mindkét vizsgált településen magasabb UHI intenzitás értékeket mértünk, mint a fűtésiben, de a területi eloszlásban jelentős különbséget nem találtunk.

Az átlagos maximális UHI intenzitás területi eloszlásában fellépő inhomogenitások Szegeden:

- A város ÉK-i és ÉNy-i részein megépült, panelházakból álló lakótelepek területén jelentős pozitív UHI intenzitás-anomália vehető észre. Ugyanakkor, ezek határán a hőmérsékleti gradiens értéke nagy (Bottyán és Unger, 2003).
- A Tisza medrének módosító hatása a város K-i és DK-i területén figyelhető meg, mely a hőtöbbletet mérsékli ebben a régióban.
- A középponttól É-ra egy beékelődött kevésbé beépített terület alacsonyabb hőmérséklete módosítja jelentősen a körszimmetrikus UHI szerkezetet.
- A település Ny-i peremén rendkívül gyorsan csökken a hőmérséklet kifelé (nagy a gradiens), ami a statikus beépítettségi tulajdonságok gyors változását követi.

Az átlagos maximális UHI intenzitás területi eloszlásának lokális változásai Debrecenben:

- A város É-i szélén rendkívül gyorsan változó (kifelé csökkenő) beépítettség és sajátos felszíni geometria miatt igen alacsony UHI intenzitás értékekkel találkozunk (a nem fűtési félévben mindössze kb. 0,2 °C.) (Bottyán et al., 2004; Bottyán et al., 2005).
- A Ny-i részen a magas beépítettségű lakótelepek növelik lokálisan a hőmérsékleti kontrasztot, így a maximális hőmérsékleti értékek a központtól kissé távolabb, itt jelennek meg.
- Szintén a város Ny-i peremén a hirtelen csökkenő beépítettséget a hőmérséklet változása nem követi, ami egy pozitív UHI anomáliát okoz ott.

Szeged a **beépítettség** szempontjából viszonylag koncentrikusnak tekinthető. A legkisebb előforduló értékei a vizsgált területen a Ny-i, a DK-i valamint a K-i peremterületeken jelentkeznek, melyek közül az utóbbiak a Tisza folyót és közvetlen parti területeit reprezentálják, míg maximális értéke a város középpontjában fordul elő. A település Ny-i peremén elhelyezkedő területek alacsony beépítettsége az ott elhelyezkedő, még jórészt beépítetlen területeknek, tavaknak és néhány ipari létesítménynek köszönhető. A központi cellától ÉK-re és ÉNy-ra található két erősebb anomália, amely az izotermák megnyúlásában jelentkezik ezekben

az irányokban. A beépítettség változása a terület Ny-DNy-i részén is hasonló következményekkel jár.

Debrecen kissé szabálytalanabb, kevésbé koncentrikus szerkezetű, mint Szeged, de a **beépítettségi arány** területi eloszlása itt is követ egy középpontból kifelé mutató csökkenést. Fontos megjegyezni azonban, hogy ez a gradiens már észrevehetően irányfüggő. Debrecen esetén nem a középpontban helyezkednek el a leginkább beépített cellák, hanem attól kissé Ny-ra. É-i irányban (a Nagyerdő felé) a beépítettség igen gyorsan csökken a mintegy 15-20%-os értékre. A város keleti területein inkább kertés családi házak vannak, így itt a beépítettség mértéke 25-50% között mozog, míg a Ny-i részeken magas panelházakból álló lakótelepeket találunk 10 emeletes házakkal, ahol a beépítettség magas értéket vesz fel. A város D-i régiójában ipari létesítményekkel találkozhatunk, itt a beépítettség értéke igen magas, 60-80% közötti.

A **vízfelszín arány** alakulása Szegeden a Tiszához kötött, itt akár 35-40% is lehet értéke, míg másutt alig különbözik 0-tól.

Az **égboltláthatósági faktor** a városi geometria egyik fontos jellemzője, lényegében a horizont korlátozottságát jellemzi. Szegedi területi eloszlására kevésbé jellemző a koncentrikus elhelyezkedés, inkább szigetszerűen fordulnak elő az alacsony, illetve magas értékű területek. Az alacsony S értékek a belvárosi, szűk utcákkal és viszonylag magas épületekkel jellemezhető részeken, illetve a centrumtól távolabb lévő magas panel-lakótelepeken fordulnak elő. Magas égboltláthatósági értékkel jellemezhetők a külterületi részek, vagy például a Tisza-part (*Bottyán és Unger, 2003*).

Az **épületmagasságot** illetően elmondható, hogy a város jelentős területein vannak jelen a 10 méternél magasabb épületek, sőt az EK-i panelházas régióban a 20 métert is meghaladják. A város K-i területén alacsonyak az épületmagasság értékek, a kertvárosi családi házak és a Tisza medre miatt.

3.6. Az éghajlati rendszer matematikai modellezésének módszerei

Egy éghajlati rendszer matematikai modellezéséhez két alapvetően különböző módon lehet közelíteni.

Az egyik lehetőség, amikor a rendszerben ható fizikai törvényeket leíró differenciálegyenleteket oldjuk meg valamilyen kezdeti és/vagy peremfeltételek mellett. Ugyanis, ha ismerjük a rendszer kezdeti állapotát, valamint a rendszerben ható termodinamikai és hidrodinamikai törvényeket matematikai alakban elő tudjuk állítani (általában differenciálegyenletek rendszere), akkor az állapotváltozások időbeli menetének kiszámítása egy kezdetiérték-feladat megoldását jelenti (*Götz, 1976*). Ez az ún. **dinamikus modellezés**.

Egy éghajlati rendszeren belül ható folyamatok állapotjelzőinek megfigyelt (mért) értékeiből akkor is vonhatunk le következtetéseket, ha nem ismerjük explicit módon a közöttük ható fizikai kölcsönhatások természetét. Ebben az esetben a feladat az, hogy a mért paraméterek (prediktorok) konkrét értékei és a becsülni kívánt paraméter (prediktandus) értékei között állapítsunk meg matematikai kapcsolatot, pusztán a mérések alapján! Természetesen feladat az is, hogy megválasszuk azokat a prediktorokat a halmazból, amelyek a legjobban becsülik majd a prediktandust.

Azt a módszert tehát, amikor a rendszer egy paraméterére csupán a rendelkezésre álló, ugyanazon rendszerbeli más paraméterek mérési (megfigyelési) eredményeinek (**mint**

kiválasztásával és felhasználásával adunk becslést a matematikai statisztika segítségével, *statisztikus modellezésnek* nevezzük.

Természetesen az így kapott kapcsolat matematikai értelemben nem függvénykapcsolat, hiszen egyik paraméter (független változó) a másikat (függő változó) nem határozza meg egyértelműen, hanem az véletlenszerűen ingadozik egy legvalószínűbb érték körül (*sztochasztikus kapcsolat*) (Péczely, 1979).

4. Eredmények

4.1. A Szegedre alkalmazott (1. típusú) statisztikus modell felépítése

1. Az 1. típusú statisztikus modell felépítése során Szeged átlagos maximális UHI intenzitásának becsléséhez a beépítettségi arányt (B), a vízfelszín arányát (W), az égbolt-láthatósági faktort (S) és az épületmagasság (H) értékeit valamint ezek kiterjesztett értékeit használtuk fel. A hőmérsékleti értékek esetében külön vizsgáljuk a kapcsolatot a fűtési és a nem-fűtési félévekre az 1999. március és 2000. február közötti időszakban Szegedre, illetve 2002. márciustól 2003. márciusig tartó intervallumra, Szegedre és Debrecenre vonatkozóan. Tekintve, hogy egy városi terület hőmérsékletét nem csak közvetlen környezetének fizikai, geometriai jellege határozza meg, az említett statisztikus paraméterek területi kiterjesztéseit is bevontuk a prediktorok kiindulási halmazába. A kiterjesztést a távolsággal exponenciálisan történő súlyozással végeztük el (Bottyán and Unger, 2003; Bottyán et al., 2005).
2. A modellezésnél a prediktorok együtthatóját kellett meghatároznunk úgy, hogy a kapott együtthatókkal és prediktorokkal képzett regressziós függvény a lehető legjobban közelítse a prediktandust (Kőrösi et al., 1990). Munkánkban a többváltozós lineáris regressziós (Multiple Linear Regression, MLR) eljárást alkalmazzuk a prediktandusok együtthatóinak becslésére (Dévényi és Gulyás, 1988). Amikor több prediktorral dolgozunk egy statisztikus modellnél, felmerül a **multikollinearitás** problémája, azaz előfordulhat, hogy a prediktorok között lesznek nem-függetlenek (főképpen sok hasonló típusú paraméter esetén). Ennek megszüntetésére a legegyszerűbb módszer azon prediktoroknak a figyelmen kívül hagyása, amelyek leginkább összefüggnek a többi prediktorral (Kőrösi et al., 1990). Ezt alkalmazva, a prediktorok száma 9-re csökkent (Unger et al., 2004). Az alkalmazott modell jellege többváltozós lineáris statisztikus modell az UHI intenzitás becslésére, 9 kiindulási prediktorral ($B, W, H; B1, S1, W1; B2, H2, W2$).
3. Az UHI intenzitás, a beépítettségi paraméterek és kiterjesztései (mint kiindulási prediktor halmaz) közötti kapcsolatot többváltozós lineáris regresszióval becsültük, melynek prediktorait és annak együtthatóit, az FSMLR eljárás segítségével határoztuk meg az SPSS 9 szoftver segítségével (Miller, 2000). Az FSMLR eljárással kapott prediktor együtthatók alapján felírhatóak a regressziós függvények is, amelyek mindkét félévre vonatkozóan 4 változósak lesznek:

$$\Delta T_{nf} = -4,291S1 + 0,035H + 0,023B1 + 0,042W1 + 3,824$$

$$\Delta T_f = -3,242S1 + 0,025H + 0,014B1 + 0,021W1 + 3,036$$

ahol ΔT_{nf} és ΔT_f rendre az UHI intenzitás értéke °C-ban a nem-fűtési és a fűtési félévben, $SI, H, B1, W1$ pedig a már ismert prediktorok. Mindkét félévben igen magas többváltozós korrelációs együtthatókat kaptunk, hiszen a nem-fűtési félévben $R=0,902$ illetve a fűtésiben $R=0,873$. A prediktor együtthatók becslései is szignifikánsak 5%-os szinten. (Bottyán et al., 2003).

4.2. A Debrecenre és Szegedre alkalmazott (2. típusú) statisztikus modell felépítése

4. Mindkét város esetében elvégeztük a modellépítést a beépítettségi arány (B) és annak területi kiterjesztései ($B1, B2, B3$), mint kiindulási prediktorok segítségével. Szeged esetében mindkét félévben igen magas többváltozós korrelációs együtthatókat kaptunk, hiszen a nem-fűtési félévben $R=0,858$ illetve a fűtésiben $R=0,860$. A kiválogatott 4 prediktor mindkét esetben 74%-ban magyarázza meg a prediktandus változását. Az R érték szignifikanciája magas, hiszen minden esetben 0,1%-os szinten reálisnak mondható statisztikai értelemben a korreláció (Bottyán et al., 2004). Ha a debreceni modell statisztikákat nézzük, akkor szembeötlő, hogy a beépítettségi prediktorok a nem fűtési félévben már csak 35%-át magyarázzák meg az UHI intenzitás változásának, míg a fűtési félévben mindössze 31%-át. Ennek ellenére még 0,1%-os szinten szignifikáns a regresszió korrelációs együtthatója mindkét félévben (Bottyán et al., 2005). Az FSMLR eljárással kapott prediktor együtthatók alapján felírhatóak az évszakos modell-egyenletek is, amelyek a következők lesznek Debrecenre vonatkoztatva:

$$\begin{aligned}\Delta T_{nf} &= 2,258B1 - 3,242B3 + 2,056 \\ \Delta T_f &= -4,240B3 + 1,252B1 - 1,537B2 + 3,281\end{aligned}$$

illetve a Szegedre érvényes évszakos modell-egyenletek:

$$\begin{aligned}\Delta T_{nf} &= 0,082B1 + 0,642B - 7,340B3 - 3,237B2 + 8,080 \\ \Delta T_f &= -3,614B3 + 0,743B + 1,137B1 + 2,789\end{aligned}$$

ahol ΔT_{nf} és ΔT_f rendre az UHI intenzitás értéke °C-ban a nem-fűtési és a fűtési félévben, $B, B1, B2, B3$ pedig a prediktorok (Bottyán et al., 2004).

5. A pusztán a beépítettségi arány értékeiből és annak kiterjesztéseiből alkotott prediktor halmaz jelentősége abban áll, hogy plusz információt nyertünk ki a mért (megfigyelt, számított) prediktor értékekből, anélkül, hogy újabb méréseket kellett volna végeznünk (Szeged esetében 23-24%-kal, míg Debrecennél 12-16%-kal kaptunk jobb becslést a kiterjesztések bevonásával)!

4.3. Az 1. típusú modell által generált és a mért UHI mező összehasonlítása Szegeden

6. Elvégeztük a nem fűtési félévre vonatkozóan, az 1. típusú modell által generált UHI intenzitás területi eloszlásának összehasonlítását egy későbbi időintervallumban (2002-2003) történt mérés területi eloszlásával. Az összevetés legfontosabb eredményei:

- A város teljes területén az eltérések abszolút értékben mindenütt kisebbek, mint $0,5\text{ °C}$!
- A vizsgált terület kb. 57%-án (kb. 55 cella, $13,75\text{ km}^2$) a modell felülbecsli a tényleges hőmérsékletet, a többi részen pedig alatta marad annak.
- A legerősebb anomáliák a korábban említett felszíni (geometriai, szerkezeti) inhomogenitások közelében találhatók, pl. ÉK-i lakótelepek (negatív eltérés) és Ny-i városperem (pozitív eltérés), ahol a $0,4\text{ °C}$ -ot is meghaladja a különbség. Ezek a területek azonban mindössze a teljes felszín 4%-ára terjednek ki (kb. 4 cella, 1 km^2).
- Ugyanakkor a $0,2\text{ °C}$ -nál abszolút értékben kisebb anomáliával rendelkező régió a vizsgált terület 75%-át fedi le (73 cella, $18,2\text{ km}^2$) (Unger et al., 2004).

4.4. A 2. típusú modell által generált és a mért UHI mező összehasonlítása Szegeden és Debrecenben

7. Megállapíthatjuk, hogy a modellek által produkált UHI intenzitás mezők alapvető szerkezetükben megegyeznek a mért mezőkkel, de az egyezés Szegednél területileg és értékben is lényegesen jobb, mint Debrecenben, ahol a kétpólusú hőmérsékleti szerkezetet kevésbé tudta megfogni a modell, ezért a becsült UHI intenzitás mezeje csak nagy vonalakban tükrözi a mért értékek eloszlását. Szegednél a város középpontosan szimmetrikus struktúrája miatt ez a típusú közelítés is igen jó eredményt ad, mind a területi eloszlásra mind pedig az értékekre vonatkozóan (Bottyán et al., 2004).

4.5. A modellek további fejlesztési lehetőségei és korlátai

8. A statisztikus alapon történő megközelítés további fejlesztésének lehetőségei:

- a városi felszínt pontosabban leíró prediktorok konstruálása és modellbe illesztése
- meteorológiai (klimatológiai) adatok bevonása a modellek építésébe
- időfüggő hőmérsékleti adatokhoz való hozzájutás, a város egy adott keresztmetszetén elvégzendő napnyugtától napkeltéig tartó expedíciós méréssorozat lebonyolítása és adatainak modellbe ágyazása.

9. A kapott statisztikus modelljeink felhasználásának korlátai a következők:

- A kapott modell-egyenletek csak abból a prediktor-tartományból képesek érvényes becslést adni az adott hibával, amelyből meg lettek határozva
- modelljeink, pl. csak hozzávetőlegesen alacsony tengerszint feletti magasságon elhelyezkedő, sík felületű (alföldi) városokra adhatnak jó becslést, ahol hasonlóak a geográfiai és klimatikus viszonyok (Bottyán és Unger, 2003).

A szerzőnek az értekezés témájában megjelent közleményei

A dolgozathoz fel nem használt cikkeket az évszám után * jelöli.

- Unger, J., Sümeghy, Z., Gulyás, A., Bottyán, Z. and Mucsi, L., 1999*: Modelling of the maximum urban heat island. *Proceed. Int. Congress of Biometeorology and Int. Conf. on Urban Climatology '99, ICUC 10.4*, Sydney, Australia .
- Unger, J., Bottyán, Z., Sümeghy, Z., Gulyás, Á., Fogarasi, S. and Sódar, I., 1999*: A model for the maximum urban heat island in Szeged, Hungary. *Proceed. of Berzsényi Daniel Teacher Training College. Natural Sciences Brochures*, Szombathely 1999. No. 4, 31-38.
- Unger, J., Bottyán, Z., Sümeghy, Z. and Gulyás, Á., 2000: Urban heat island development affected by urban surface factors. *Időjárás*. 104, 253-268.
- Bottyán, Z. and Unger, J., 2001*: Multiple non-linear statistical model for estimating mean maximum urban heat island in a medium-sized town Szeged, Hungary.(Abstract) *Proceed. 8th International Meeting on Statistical Climatology*, 2001, Lüneburg, Germany.
- Bottyán, Z., és Unger, J., 2001: A városi hősziget területi eloszlásának többváltozós lineáris statisztikus modellje. *A Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei*, Szeged, 2001. október 25-27. CD.
- Unger, J., Sümeghy, Z., Gulyás, Á., Bottyán, Z. and Mucsi, L., 2001: Land-use and climatological aspects of the urban heat island. *Meteorological Applications*. 8, No. 2. 189-194.
- Unger, J., Bottyán, Z., Gulyás, Á. and Kevei-Bárány, I., 2001*: Urban temperature excess as a function of urban parameters in Szeged, Part 2: Statistical model equations. *Acta Climatologica et Chorologica Univ. Szegediensis*, Vol. 34-35, 15-21.
- Bottyán, Z. and Unger, J., 2002: The role of land-use parameters in the spatial development of urban heat island in Szeged, Hungary. *Proceed. 4th Symposium on Urban Environment*, Norfolk, VA, USA. CD.
- Bottyán, Z. and Unger, J., 2002*: A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island in Szeged, Hungary (Abstract). *Abstracts of the Participants of ERCA 2002*, Grenoble, France. 8 January – 8 February 2002.
- Bottyán, Z., Balázs, B., Gál, T. and Zboray, Z., 2003: A statistical approach for estimating mean maximum urban temperature excess. *Acta Climatologica et Chorologica Univ. Szegediensis* 36-37, 17-26.

- Bottyán, Z. and Unger, J., 2003: Urban heat island development affected by urban surface factors. Theor. Appl. Climatol. 75, 233-243.*
- Unger, J., Bottyán, Z., Balázs, B., Kovács, P. and Géczy R., 2003*: A statistical model for estimating mean maximum urban heat island. ICUC5, Lodz, Poland, 1 – 5. September, 2003. CD P. 2. 12.*
- Sümegehy, Z., Balázs, B., Bottyán, Z. and Unger, J., 2004*: A városi hősziget statisztikai modellezése felszínparaméterek felhasználásával (Abstract).Hungeo, 2004, Szeged, 2004. augusztus 31-szeptember 1.*
- Bottyán, Z., Unger, J., Szegedi, S. és Gál, T., 2004: A városi hőmérsékleti többlet területi eloszlásának statisztikus modellezése a beépítettségi paraméter alapján, Szegeden és Debrecenben. A II Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. Szeged, 2004. szeptember 2-4. CD.*
- Unger, J., Bottyán, Z., Sümegehy, Z. and Gulyás, Á., 2004: Connections between urban heat island and surface parameters: measurements and modelling. Időjárás 108, 173-194.*
- Bottyán, Z., Kircsi, A., Szegedi, S., and Unger, J., 2005: The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. International Journal of Climatology 25, 405-418.*