DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

TÉZISEK

A SZEGEDI VÁROSI HŐSZIGET TERÜLETI ÉS IDŐBELI ELOSZLÁSÁNAK TÉRKÉPEZÉSE ÉS ELEMZÉSE

SÜMEGHY ZOLTÁN

TÉMAVEZETŐK:

DR. UNGER JÁNOS ÉS DR. GYÖRFFY JÁNOS

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

SZEGED

2004

1. Előzmények és célkitűzések

A 20. század második felében 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. De nemcsak a nagyvárosok, hanem már a kisebb méretű települések is jelentősen módosíthatják 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 – azaz elterjedt angol rövidítéssel 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; *Kratzer*, 1956; *Steinhauser et al.*, 1957-59; *Changnon*, 1962, 1976; *Oke and Hannell*, 1970; *Oke and Fuggle*, 1972; *Oke*, 1974, 1976, 1979, 1981, 1982, 1987, 1988a, 1988b, 1997; *Probáld*, 1974, 1975, 1980; *Oke and Maxwell*, 1975; *Yoshino*, 1975; *Rubinshtein*, 1979; *Peterson and Stoffel*, 1980; *Landsberg*, 1981; *Park*, 1987; *Kuttler*, 1990; *Grimmond and Oke*, 1991; *Eliasson*, 1996; *Comrie*, 2000; *Unger és Sümeghy*, 2002b) foglalom össze dolgozatom 2. fejezetében.

A 3. fejezetben tömör áttekintését adom a városklíma kutatás külföldi előzményeinek (*Kratzer*, 1956; *Neumann*, 1979; *Landsberg*, 1981; *Fezer*, 1995), valamint hazai történetének (*Réthly*, 1947; *Bacsó*, 1958; *Probáld*, 1974; *Miklósi*, 1981; *Roncz*, 1985; *Justyák és Tar*, 1994; *Molnár*, 1998; *Bartholy et al.*, 2003) – különös tekintettel Szegedre (*Jantos*, 1967; *Sindely*, 1978; *Péczely*, 1979; *Pelle*, 1983; *Zsiga*, 1983, 1988 és *Unger*, 1992a, 1992b, 1993, 1995a, 1995b, 1996a, 1996b, 1997a, 1997b, 1997c, 1997d, 1998, 1999a, 1999b), melyek jelen munkának több szempontból is előzményei. A korábbi vizsgálatok irányították ugyanis a figyelmet arra, hogy a települések hőmérséklet emelő hatásának a tanulmányozása a lokális léptékű klimatológiai kutatások egyik legfontosabb feladata (már csak az itt lakó érintettek magas száma miatt is). Habár magának a jelenségnek a vizsgálata meglehetősen széleskörű világszerte, de viszonylag kevesebb figyelmet fordítottak a hősziget legerősebb kifejlődésére, sajátosságainak vizsgálatára: ez érthető is, hiszen a maximális UHI „tettenérése" a hőmérséklet napi menetében nem a legegyszerűbb feladat. A hazai vidéki városklíma-kutatás terén Szeged kitüntetett helyzetben van, hiszen az itteni vizsgálatok már majdnem négy évtizedes múltra tekinthetnek vissza (ami nem teljesen véletlen, hiszen a település földrajzi adottságaiból is fakad).

A dolgozat 4. fejezete a városklíma-kutatás néhány alapvető módszertani kérdését tárgyalja (*Lowry*, 1977; *Landsberg*, 1981; *Oke*, 1984, 1997; *Fezer*, 1995). Ez a rész

a vizsgálandó terület nagyságának (léptékének) és a megfigyelni kívánt klímaparaméter(ek)nek az eldöntése után segít abban, hogy milyen eljárás(oka)t és eszköz(öke)t érdemes vagy kell alkalmazni.

A városklíma és így a városi hősziget kialakulásánál figyelembe kell venni, hogy a települések csak módosítják azt az éghajlatot (háttérklímát), amely a különböző léptékű meteorológiai folyamatok eredményeképpen jön létre. Természetesen hatást gyakorolnak a klímára a város környezetének természetföldrajzi sajátosságai is (tehát pl. domborzata és nagy vízfelületektől való távolsága), ezért tartom szükségesnek Szeged ezen adottságainak rövid áttekintését (*Frisnyák et al.*, 1978; *Péczely*, 1979, 1984; *Mezősi*, 1983; *Keveiné Bárány*, 1988) még a kutatási eredmények tárgyalása előtt, azaz az 5. fejezetben. Ki kell hangsúlyozni, hogy a hazai városok közül domborzati viszonyaik alapján a városi éghajlat kifejlődése szempontjából a legelőnyösebb helyzetben a síkvidéki települések (pl. Debrecen és Szeged) vannak. A völgyekben elterülők (pl. Eger és Veszprém) vagy a hegyvidék és síkság találkozásánál elhelyezkedők (pl. Budapest és Szombathely) vizsgálata sokkal komplikáltabb, mert nagyon nehéz elkülöníteni egymástól a mesterséges és a domborzati hatásokat. Azonban a síksági településeket illetően (tehát Szeged esetében is) az mondható el, hogy az ezekben végzett részletes mérések és vizsgálatok általános városklimatológiai következtetések alapjául szolgálhatnak.

Mindezek alapján 1999-ben egy több éves kutatási projekt elindítására került sor Szegeden, melynek egyik célja az UHI intenzitás területi kiterjedésének és szerkezetének feltérképezése és vizsgálata volt a napi menetben mutatkozó maximális kifejlődés legvalószínűbb idejében. Ebből a célból két mérési kampányt bonyolítottunk le (2x1 éves időtartamban): az elsőt 1999. március és 2000. február között, amelyet egyfajta nagyon alapos előtanulmánynak tekinthetünk, a másodikat pedig a 2002. április és 2003. március közötti időszakban, amely utóbbi a maximális hősziget területi struktúrájának bemutatásához szükséges adatok döntő többségét szolgáltatta. A 6. fejezet az UHI területi vizsgálatának módszereit és eredményeit foglalja össze.

Az 1999/2000-es és a 2002/2003-as mérési kampány észlelései a hősziget térbeli kifejlődésének kutatásán túl lehetővé tetszik az általános tanulságok leszűrésére alkalmas keresztmetszet menti elemzéseket is. Mivel az így begyűjtésre került adatok kizárólag az UHI maximális kifejlődésének időpontjára vonatkoznak, így nem nyújtanak lehetőséget annak időbeli dinamikájának tanulmányozására, márpedig ez is rendkívül fontos a városi hősziget jelenségének még részletesebb megértéséhez. Ezért a 2002/2003-as mérési kampányt kiegészítettük egy havonkénti gyakoriságú keresztmetszet mérési sorozattal, amellyel alkalmanként végigkövettük a hősziget fel- és leépülését. Ennek bemutatásán túl a 7. fejezet célja még az, hogy e méréssorozatok eredményeit is felhasználva egy tipikus városi félkeresztmetszet mentén feltárja a szezonális hasonlóságokat és eltéréseket az UHI intenzitás térbeli és időbeli eloszlásában, to-

vábbá megmagyarázza a kutatásba bevont jellegzetes városi felszínparaméterek és klimatológiai tényezők szerepét, valamint ezek egymásra gyakorolt kölcsönhatását.

A hősziget területi szerkezetéhez kapcsolódó eredmények szemléltetésének leghatékonyabb módja a tematikus (azon belül is elsősorban az izovonalas és a kartogram) térképek alkalmazása. Ez utóbbiak szerkesztése, készítése és használata során merült föl az igény a kartogrammódszernek, mint tematikus kartográfiai kategóriának az átgondolására és új értelmezésére. Az ezzel kapcsolatos – s az UHI kutatáshoz szorosan nem kapcsolódó, de végső soron az által indukált – kartográfiaelméleti eredményeket ezért külön, a dolgozat utolsó, 8. fejezetében tárgyalom.

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. Ennek megfelelően a külföldi és a hazai szakirodalomban számos tanulmány foglalkozik a témával, de főleg csak eseti szinten, és sokkal kevesebb a hosszú időszakon keresztül folyó, rendszeres méréseken alapuló, általános következtetések levonására alkalmas vizsgálat. Egyrészt tehát ez indokolta a legújabb szegedi UHI kutatásokat, másrészt pedig csak nagy tömegű észlelés és adat lehet kiindulási alapja további (jelen dolgozat keretein túlmutató) célunknak, a városi hősziget matematikai-statisztikai modellezésének és előrejelzésének.

2. Vizsgált terület

Szeged hazánk fontos központja, népessége kb. 168.000 fő volt 2001-ben. Közigazgatási területe 281 km^2, de az igazán városi és elővárosi területek csak 25-30 km^2-t foglalnak el, s nagyrészt a körtöltésen belül helyezkednek el, a Tisza jobb partján.

A város főbb szerkezeti-morfológiai típusait a viszonylag sűrűn beépített belváros, a nagy panelépítésű lakótelepek, az ipari és raktárházas körzetek, a családi házas részek, valamint a városi parkok, a Tisza menti zöldterületek és a külterületek mezőgazdasági földjei jelentik. Úthálózata körutas-sugárutas rendszerű.

Korábbi vizsgálatainkból (pl. *Unger et al.*, 1999) következően a Tisza keskeny vízfelületének hatása szinte teljesen elhanyagolható. Tehát a város nemcsak fekvésének, domborzati viszonyainak, méretének és szerkezetének, hanem ennek a ténynek is köszönhetően rendkívül kedvező feltételeket kínál a városklíma tanulmányozásához.

Napjaink szegedi kutatásai a település közigazgatási területének belső részeire irányulnak, minden korábbinál nagyobb részletességgel. A várost és környékét az Egységes Országos Térképrendszer 1:10.000 méretarányú földmérési-topográfiai térképein található kilométer-hálózati vonalak felhasználásával 500x500 m oldalhosszúságú négyzetes gridekre (rácshálózatra) osztottuk fel. Szintén 0,25 km^2 területű cellaméretet alkalmaztak korábban már több városklíma kutatásnál (pl. *Jendritzky and Nübler*,

1981; *Park*, 1986), de napjaink más ilyen jellegű projektjeiben is találkozhatunk hasonlóval (pl. *Lindberg et al.*, 2003; *Long et al.*, 2003).

3. Kutatási módszerek, adatgyűjtés és feldolgozás

3.1. Hőmérséklet

Az UHI területi szerkezetének tanulmányozása 107 négyzetre (azaz 26,75 km^2-re) terjed ki, mely Szeged városi és elővárosi negyedeit foglalja magába. Az ezeken kívül eső részek főleg falusi, illetve vidéki jellegűek, ezért nincsenek benne a hálózatban, kivéve a város Ny-i peremének négy celláját, melyek szükségesek a vidéki és a városi területek hőmérsékleti különbségének megállapításához.

A maximális UHI intenzitás vizsgálata mérőkocsival gyűjtött adatokon alapult, méghozzá a 2002. április és 2003. március közötti időszakban. A személygépkocsival végzett mobil mérést általános eljárásnak tekinthetjük bizonyos városklíma jellemzők detektálására (pl. *Oke and Fuggle*, 1972; *Moreno-Garcia*, 1994; *Eliasson*, 1996; *Yamashita*, 1996; *Voogt and Oke*, 1997; *Klysik and Fortuniak*, 1999; *Comrie*, 2000; *Santos et al.*, 2003).

A gridcellák nagy száma és ebből következően a szükséges mérési útvonal hossza miatt a területet két részre kellett osztani. Az É-i szektor 54 négyzetből (13,5 km^2), a D-i szektor pedig 53-ból (13,25 km^2) áll. Az útvonalak teljes (tehát oda-vissza mért) hossza 68 illetve 66 km az É-i illetve a D-i szektorban, amelyeknek a bejárása egy-egy mérőautóval kb. 3-3 órát vett igénybe. Minden cella meglátogatása és a hőmérsékleti értékek egy időpontra vonatkozó átszámítása megkövetelte az ilyen hosszú idejű mérést és az ugyanazokon az útvonalakon való visszatérést.

Ahhoz, hogy kellő mennyiségű léghőmérsékleti adattal rendelkezzünk a vizsgált területről és időszakból, a hónapok első, középső illetve utolsó harmadában végeztük a mobil méréseket. Az összesen 35 alkalommal végrehajtott mérések biztosítják azt, hogy különböző időjárási helyzetekben (hulló csapadék kivételével természetesen) az UHI maximális kifejlődésének mértékéről részletes információkat kapjunk a teljes vizsgált területre nézve.

A nemzetközi szakirodalom (pl. *Oke*, 1987) és az ezzel a területtel foglalkozó korábbi szegedi kutatások (*Boruzs és Nagy*, 1999; *Unger és Sümeghy*, 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 érzékenységű, 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. A gyűjtők az adatokat 10 má-

sodpercenként rögzítették, amely az autók átlagosan 20-30 kmh^{-1}-s sebességénél azt jelentette, hogy a mérési pontok között átlagosan 55-83 m volt a távolság a mérési útvonalak mentén. A szenzort 1,45 m magasan és 0,60 m-rel a kocsik eleje előtt helyeztük el egy rúdon, hogy a motorból és a kipufogóból származó hő hatása ne befolyásolja a mért értékeket (hasonlóan pl. *Ripley et al.* (1996) Kanadában, Saskatoonban alkalmazott eljárásához).

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 – ºC) a következőképpen értelmezhetjük cellánként:

$$\Delta T = T_{cella} - T_{cella(Ny)}$$

ahol T_{cella} – az aktuális városi grid hőmérséklete, $T_{cella(Ny)}$ – pedig a vidékinek tekintett legnyugatibb cella hőmérséklete.

A hősziget szerkezetének összehasonlító tanulmányozása során az abszolút intenzitás (ºC) vizsgálata mellett előnyösnek bizonyult az úgynevezett normalizált intenzitás (ΔT_{norm} – 0 és 1 közötti dimenzió nélküli érték) használata is (*Sümeghy és Unger*, 2003c, 2004a), amely a következőképpen származtatható:

$$\Delta T_{norm} = (T_{cella} - T_{cella(Ny)}) / (T_{cella(max)} - T_{cella(Ny)})$$

ahol $T_{cella(max)}$ – annak a városi gridnek a hőmérséklete, amely az adott napi észlelés esetében a vizsgált cellák között a legmelegebb volt.

Ahogy már említettük, a maximális UHI intenzitás mobil mérésekkel történő vizsgálata már 1999-ben elkezdődött Szegeden, s az első (előtanulmánynak tekinthető) észlelési kampány 1999. március és 2000. február között zajlott. Ennek területe és módszere lényegében megegyezik a fentiekben ismertetettekkel, csupán néhány különbség akadt: 1999/2000-ben a mérések kb. heti rendszerességgel történtek, s összesen 48 adatgyűjtés volt. Ez azonban csak látszólag jelent több információt, ugyanis akkor még csak egy mérőautóval folyt a munka, ezért az egyik alkalommal kizárólag az É-i, másik alkalommal pedig csak a D-i részt jártuk be. A mérési szektorok kiterjedése és az útvonalak hossza is eltért valamelyest a már bemutatott 2002/2003-astól: az É-i szektor 59 négyzetből (14,75 km^2), a D-i szektor 60-ból (15 km^2) állt, s a folyamatos átmenet biztosítására (és a keresztmetszet menti mérések megalapozása érdekében) a kettő között egy 12 cellából (3 km^2) álló közös rész is van. Így a mérési útvonalak teljes (tehát oda-vissza mért) hossza valamivel hosszabb, 75 illetve 68 km volt az É-i illetve a D-i szektorban. További különbség volt, hogy az első méréssorozatban az akkor még kevésbé korszerű kisebb gyűjtő az adatokat csak másfélszer ritkább (16 másodperces) időközönként tudta rögzíteni, amely az autó átlagos 20-30 kmh^{-1}-s sebességénél azt jelentette, hogy a mérési pontok között átlagosan 89-133 m volt a távolság a mérési útvonalak mentén.

A maximális UHI félkeresztmetszet menti vizsgálatának hőmérsékleti adatait jelentős részben – 48 (1999/2000) plusz 35 (2002/2003), azaz összesen 83 esetben (87%-ban) – a két éves területi észlelési kampányból (tehát a már ismertetett módon) nyertük. A maradék 13% (azaz 12 alkalom) a 2002/2003-as, havi gyakoriságú, teljes keresztmetszet menti mérések megfelelő (azaz a félkeresztmetszet celláinak a naplementét követő 4. órára vonatkozó) adataiból származnak.

A teljes keresztmetszet menti észlelések a hősziget időbeli dinamikájának feltárása érdekében mindig napnyugtakor kezdődtek és a rövid nyári éjszakákon napkeltéig, a hosszú téli éjszakákon pedig a naplementét követő 10. óráig tartottak. A hőmérsékleti adatok gyűjtésének és feldolgozásának módszerei és eszközei ebben az esetben sem különböznek jelentősen a már leírtaktól, csupán annyi az eltérés, hogy egyrészt a keresztmetszetre korlátozódó, így csupán 10,5 km hosszú mérési útvonal egyszeri oda-vissza bejárása kb. 50 percre rövidült, másrészt a referenciaidők a napnyugtát követő egész órák voltak (*Sümeghy és Unger*, 2003c). Értelemszerűen az estétől hajnalig tartó mérések télen hosszabbak voltak (max. 10 mérés), mint nyáron (min. 7 mérés).

3.2. Beépítettség

A területhasználat legfőbb, generalizált paramétereinek meghatározása SPOT XS űrfelvételek kiértékelésével történt. A felvételek felbontása 20 x 20 méter volt, amelynek révén kisebb területi egységek jellegzetességeit is fel lehetett tárni. Az úgynevezett Normalizált Vegetációs Index (Normalised Difference Vegetation Index – 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 μm) sávban és R – a pixel reflektancia értéke a vörös (0,58-0,68 μm) tartományban. Az NDVI értékek +1 és -1 között váltakoznak a zöldfelületek arányában, de segítségével a vegetációval borított területeken kívül a beépített, a vízzel borított és az egyéb felszínek gridcellákon belüli arányát is el lehet különíteni.

A beépítettség mértéke – azaz annak aránya, hogy a felszínt milyen hányadban borítják mesterséges objektumok (pl. parkolók, utak, járdák és épületek) – a város klímamódosító hatásának egyik legfontosabb tényezője. Mivel a meghatározására használt űrfelvételek 1992-ben készültek és azóta Szegeden néhány helyen jelentősebb építkezések zajlottak le, ezért a pontosabb kép érdekében ezek a százalékos értékek a városról 2003-ban készült ortofotókon történt területméréssel frissítésre kerültek.

3.3. Égboltláthatóság

A beépítettség önmagában nem elegendő a város geometriai szerkezetének jellemzésére: azt is meg kell vizsgálni, hogy hogyan viszonyulnak egymáshoz az utcáknak és az ott lévő épületeknek a méretei. Minél magasabbak az utcában lévő házak,

annál inkább akadályt jelentenek a hosszúhullámú kisugárzás számára, vagyis annál kisebb az utcákban a lehűlés üteme. Az égboltláthatósági érték (sky view factor – SVF) megadja, hogy egy adott helyről az égbolt hányad része látszik, vagyis hogy a felszín hosszúhullámú kisugárzása számára mennyire korlátozott vagy szabad az út (amit vegetációs időszakban természetesen a növényzet is befolyásol).

Számos megoldás ismeretes az SVF kiszámítására (*Szakály*, 1962; *Oke*, 1981; *Bärring*, 1985; *Park*, 1987; *Holmer et al.*, 1992; *Grimmond et al.*, 2001). Lehetőségeinkből adódóan vizsgálataink során mi teodolit segítségével mértük meg az SVF értékeit a következő módon. A mérési útvonal mentén kb. 100 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):

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

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

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

4. Eredmények

4.1. A maximális abszolút hősziget intenzitás

1. A nemzetközi szakirodalomban az európai városok és környezetük között jelentkező maximális hőmérsékleti eltérés számítására két, a különbséget a települések lakosságszámának (P) függvényében becslő egyenlet is található:

$$\Delta T_{max} = 2{,}01 \cdot \lg P - 4{,}06 \quad (^{o}C) \quad (\textit{Oke}, 1973)$$

$$\Delta T_{max} = 1{,}92 \cdot \lg P - 3{,}46 \quad (^{o}C) \quad (\textit{Park}, 1987)$$

Az így (P = 168.000) számított elméleti maximális hősziget intenzitás Szegeden az első egyenlet alapján 6,44 ºC-nak, a második alapján pedig 6,57 ºC-nak adódik. Mérési tapasztalataink szerint azonban ezeknél a becsült maximum értékeknél nagyobb, sőt akár a 8 ºC-ot is megközelítő UHI intenzitások is előfordulhatnak a valóságban. Ez felhívja a figyelmet arra, hogy a maximális hősziget intenzitás lakosságszám alapján történő becslése csak kellő óvatossággal kezelhető közelítő értéket ad, hiszen ez a jelenség számos (a települések lélekszámával nem mindig szoros kapcsolatban álló) tényező bonyolult kölcsönhatásának eredményeként alakul ki.

4.2. A városi paraméterek és a hősziget kapcsolata

2. A beépítettség és az átlagos maximális UHI intenzitás (2002. április – 2003. március) között pozitív jellegű kapcsolat áll fenn, azaz a beépítettség értékének növekedésével nő a város és környéke közötti hőmérsékleti különbség értéke is. A lineáris kapcsolat szorosságát a korrelációs együttható magasnak mondható értéke (r = 0,7787) támasztja alá, ugyanis ennek az értéknek az elfogadási tartománya – 107 elem esetén, 1%-os szignifikancia szinten – r = 0,25 (*Péczely*, 1979), tehát azon null-hipotézisünk, miszerint a két paraméter között nincs kapcsolat, egyértelműen elvethető.
3. Az SVF és az átlagos maximális UHI intenzitás közötti kapcsolat jellege fordított arányú, azaz az SVF értékének (az égbolt nyitottságának) növekedésével csökken a hőmérséklet értéke is. A lineáris kapcsolat szorosságát a korrelációs együttható szintén magasnak mondható értéke (r = -0,6889) bizonyítja, tehát a beépítettséghez hasonlóan itt is reális kapcsolat áll fenn.

4.3. Az átlagos maximális városi hősziget területi struktúrája

4. A 2002/2003-as mérési sorozat alapján szerkesztett éves átlagos maximális UHI koncentrikushoz közeli alakot mutat. Erősebb eltérések ettől a formától csak Szeged ÉK-i és ÉNy-i részein figyelhetők meg, amelyek egybeesnek a nagy panelépítésű lakótelepek területével. Az átlagosan 2ºC-nál nagyobb hősziget intenzitás már jelentős termális módosulást jelent. A legalább ilyen erősségű UHI kiterjedése meglehetősen nagy, a vizsgált terület kb. harmadát (8-9 km^2) fedi le (*Sümeghy et al.*, 2003). A hőmérsékleti gradiens legnagyobb értékei (1,5-2,5ºCkm^{-1}) a hősziget É-i, DK-i és Ny-i részein mutatkoznak, amelynek az az oka, hogy itt Szeged különféle szerkezeti-morfológiai típusai keskeny sávban, gyorsan váltják egymást. A Tisza mentén az izotermák kissé „behúzódnak" a város belsőbb területei felé, azonban ez a hatás nem túl erős. Az izotermáknak az elméletben vázolt ideális alaktól eltérő futása hűen követi a város szerkezeti-morfológiai változásait, s összhangban van a beépítettség és az SVF területi eloszlásával. Ezt a képet az 1999/2000-es kampány adatai teljes mértékben megerősítik (*Sümeghy et al.*, 2000).
5. Fontos megállapítani, hogy kissé különbözik a fűtési (október 16. – április 15.) és a nem-fűtési (április 16. – október 15.) időszak UHI eloszlása. Habár az antropogén hőtermelés a fűtési időszakban jóval hangsúlyosabb, a természetes kialakító tényezők (pl. napsugárzás, szél, felhőzet) eltérő hatása miatt a hősziget csak szerkezetében hasonlít a melegebb időszak struktúrájára, az intenzitása valamelyest alulmúlja azt (*Sümeghy and Unger*, 2003a; *Sümeghy és Unger*, 2003c).

4.4. Normalizált hősziget intenzitás

6. A dolgozatban példákkal igazoltam, hogy az átlagos normalizált UHI szerkezetek a különböző szerkesztési eljárások következtében jelentősen eltérhetnek, tehát nem mindegy, hogy hogyan képezzük ezeket. Ha ugyanis az abszolút átlagot normalizájuk, akkor kevés elemű, de jelentős intenzitás különbségeket mutató adatsor esetén az átlagban a nagyobb értékek hatása fog dominálni. Mivel azonban semmi sem indokolja a nagy hősziget intenzitások kisebbekkel szembeni prioritását, ezért ez az eljárás nem a „valódi" átlagos képet fogja mutatni. Tehát inkább a külön-külön normalizált mérések átlagolásának használatát javasoljuk, amely módszernél az egyes eseteket azonos súllyal vesznek részt az átlagos szerkezet kialakításában (*Sümeghy et al.*, 2004).
7. A 6. pontban foglaltak értelmében a hősziget normalizált éves (2002. április és 2003. március) közötti átlagos területi eloszlását a 35 eset külön-külön normalizált UHI intenzitásaiból számoltuk ki. Az abszolút adatokból nyert képpel ellentétben ennek tehát az a nagy előnye, hogy az így kapott átlagos éves területi szerkezet kialakításában mind a 35 mérés súlya azonos. A számolt átlagos normalizált hősziget intenzitás a külső területektől a belváros felé nő minden irányból. Az UHI mintázata csaknem koncentrikus alakot vesz föl Szeged beépítettségi szerkezetének már tárgyalt fő vonásaival összhangban. Így jelentősebb eltérés e szabályos formától itt is csupán a város ÉNy-DK-i és ÉK-DNy-i tengelye mentén figyelhető meg, amelynek magyarázata a városi területek alakjában és a beépítettség jellegében keresendő (*Sümeghy és Unger*, 2004a; *Sümeghy et al.*, 2004).
8. A 7. pontban említett 35, külön-külön normalizált eset tanulmányozása során feltűnt, hogy bizonyos mintázatok ismétlődnek, ami felvetette a rendszerezés lehetőségét (*Sümeghy and Unger*, 2003a; *Sümeghy és Unger*, 2004a). Egy egyszerű csoportosítással már *Klysik and Fortuniak* (1999) is kísérletezett, de az abszolút értékek figyelembe vételével. Mindössze két típust különítettek el, aszerint, hogy az izotermák egy hőszigetet, vagy egy több helyi maximummal rendelkező ún. „hőszigetcsoportot" jelölnek-e ki. Ez a jelenség Szegeden sem ritka: a 2002. április és 2003. március között mért eloszlásoknak kb. egyharmadában fejlődött ki „hőszigetcsoport". A kettő vagy több lokális maximummal rendelkező esetek legjellemzőbb közös vonása az, hogy a helyi „csúcsok" egyike gyakran a panelépítésű lakótelepeken jelentkezett. Ez megmagyarázza *Péczely* (1979) megfigyelését az elsődleges hőszigetnek Szeged ezen területére való áthelyeződéséről. Eredményeink alapján azonban ez nem bizonyult érvényesnek a hosszabb időtartamú – tehát évszakos (*Unger et al.*, 1999), féléves (*Sümeghy et al.*, 2000) és éves (*Sümeghy and Unger*, 2003a) – átlagokra.

9. A 8. pontban bemutatott csoportosításnál egzaktabb és pontosabb osztályozás érdekében a 35 mérés összes (egyenként 107) normalizált adatával kereszt-korrelációs vizsgálatot végeztünk (*Sümeghy et al.*, 2003). A klasszifikáció alapja igen egyszerű: azok az esetek tartoznak egy osztályba, amelyek a csoport összes többi tagjával szignifikáns viszonyban vannak. Így a kereszt-korreláción alapuló klasszszifikáció szerint az egyedi UHI mintázatoknak hat típusát különböztethettük meg. A szabályos centrális mintázathoz képest a többi öt osztálynál valamilyen égtáj irányába történő eltolódás figyelhető meg. Ennek csakis meteorológiai magyarázata lehetséges, s már a mérések előtti és alatti 3-3 (összesen tehát 6) óra időtartam uralkodó szélirányának és átlagos szélsebességének vizsgálatával is kielégítően magyarázhatjuk a normalizált UHI mintázatokban megjelenő eltolódásokat. A meteorológiai paraméterek közül természetesen nem csak a szél alakította a hősziget szerkezetét, de a szerepe döntő volt: így a statisztikai csoportok elkülönülése mögött végső soron a szél irányának (és sebességének) változása húzódik meg (*Sümeghy és Unger*, 2004a).

4.5. Átlagos keresztmetszeti profilok

10. Szeged esetében általános következtetések levonására a kiválasztott városi félkeresztmetszet a legalkalmasabb, mivel erre vonatkozóan (hazai viszonylatban egyedülállóan, nemzetközi léptékkel mérve pedig párját ritkítóan) sok (48+35+12=95) hőmérsékleti adatsor áll rendelkezésre (23 tavaszi, 26 nyári, 23 őszi és 23 téli mérés megoszlásban). A szezonális a profilok minden évszakban jellegzetes ugrást mutatnak a beépített terület szélénél és a legnagyobb értékeket a városközpontban érik el. Utóbbiban a maximális érték nyáron (3,13ºC), a minimális pedig télen (2,27ºC) jelentkezik. De nemcsak a nyári és a téli profil fogja közre közel szimmetrikusan az éves átlagot, hanem a közepes intenzitást mutató tavaszi és őszi is, amelyeknek az éves profiltól való legnagyobb eltérése is csupán 0,31ºC (tavasszal, a központi cellában). A városi hőmérsékleti többlet nagyságának évszakos változásai főként az eltérő időjárási körülményeknek tulajdoníthatók (*Sümeghy*, 2001; *Unger és Sümeghy*, 2001; *Unger and Sümeghy*, 2002a). A legnagyobb szélsebesség és felhőzöttség a téli hónapokra jellemző, amikor a hősziget intenzitás a leggyengébb. Az is megfigyelhető, hogy nyáron, amikor az előbb említett paraméterek a legkisebb értékűek, az átlagos UHI intenzitás a városi félkeresztmetszet minden pontjában a legerősebb. A tavasz és az ősz a szélsebesség és felhőzet szempontjából is köztes helyet foglal el. Ez alapján kijelenthető, hogy ezeknek a klimatológiai tényezőknek a hőszigetre gyakorolt hatása alapvető fontosságú.

11. Az abszolút átlagok normalizált profiljainak, illetve a 95 mérés normalizáltjainak évszakos és éves átlagait megvizsgálva azt találjuk, hogy a szezonális különbségek szinte teljesen eltűnnek (*Sümeghy és Unger*, 2002). Ezek a görbék nagyon jól követik az *Oke* (1982) által leírt, három jellegzetes („szirt", „fennsík" és „csúcs") részt elkülönítő tipikus UHI keresztmetszetet, az évszakos időjárási viszonyoktól függetlenül. Ezért a városi hőmérsékleti változó (*M*) értékeit megadó M = C + L + U modellegyenlet (*Lowry*, 1977) módosítását javasoljuk az egyszerű földrajzi környezetben elhelyezkedő települések (L = 0) esetére. Tehát az *M* egyenlő a *C* tényezőnek (a terület háttérklímájának) és az *U* komponensnek (a város hőmérséklet-módosító hatásának) az összegével, ahol azonban az $U = u \cdot c$, azaz az időjárási és városi tényezők szorzat formájában megadható együttes hatásával (*Sümeghy*, 2001; *Sümeghy és Unger*, 2001; *Unger et al.*, 2001b). Ennek az elméleti meggondolásnak fontos szerep jut majd a városi hősziget matematikai-statisztikai modellezésének és előrejelzésének megalapozásában (*Sümeghy és Unger*, 2003c).

4.6. A hősziget fel- és leépülésének dinamikája

12. Szeged esetében az UHI időbeli dinamikájára vonatkozó általános következtetéseket a 2002/2003-as keresztmetszetmérési kampányból rendelkezésre álló 12 észlelés abszolút és normalizált átlagaiból vonhatunk le. A napnyugta utáni egész órák hősziget intenzitás profiljai meredek emelkedést mutatnak a beépített terület szélénél („szirt"), ám a klasszikus értelemben vett „fennsík" nem formálódott ki. Helyette további erőteljes növekedéssel alakul ki a jól fejlett „csúcs" régió, mely a legnagyobb értékeit a naplementét követő 5-6. órában a városközpontban éri el. Szeged centrumát elhagyva, családi házas részen és panel lakótelepeken keresztül újra peremvárosi terület felé haladva az intenzitás görbék méréskelten és folyamatosan csökkennek. A profilok megnyúlt alakjának oka elsősorban a beépítettség és égboltláthatóság értékeinek aszimmetriájában keresendő. Az UHI nagysága a napnyugta időpontját követően annak rendje és módja szerint mindenhol növekedett, s a városi hősziget felépülése és intenzitásának erősödése a naplemente utáni 5-6. óráig tartott. Ekkor az UHI elérte maximális kifejlődését, s utána (a 7. órától) az általános törvényszerűségekkel összhangban megindult a hősziget intenzitásának mérséklődése.
13. Az állandóan változó időjárási hatások eredményeként az UHI dinamikája mérésről mérésre módosulhat, s az átlagos képtől eltérő eseti sajátosságok alakulhatnak ki. Dolgozatomban ezeket a speciális, a hősziget változását a klímaelemek oldaláról megvilágító jellegzetességeket négy (évszakonkénti egy) esettanulmánnyal mutatom be. Eszerint például az időbeli kettős csúcs jelensége kialakulhat érkező front és változó szélirány hatására (*Sümeghy*, 2001), vagy egyszerűen

a szélsebesség mérséklődésének következményeként (*Sümeghy and Unger*, 2003b). A szélirány változása okozhatja az UHI szerkezetének valamilyen irányú megnyúlását és átstrukturálódását is az éjszaka folyamán (*Sümeghy és Unger*, 2003c). Zavartalan időjárási körülmények és összefüggő hótakaró esetén a vidéki és városi területek eltérő anyagi minőségű és színű fedettsége szélsőséges mértékben is fölerősítheti a hőszigetet (*Sümeghy and Unger*, 2003b).

4.7. Kartográfiaelméleti meggondolás – a kartogrammódszer új értelmezése

14. A hazai kartográfiaelméletben a kartogram a pontos vonatkozási hely nélküli, felületre vonatkozó mennyiségi adatok térbelileg hű bemutatására alkalmas. A vonatkozási felület lehet statisztikai, vagy mértani vagy földrajzi terület. A hagyományos felfogás szerint, ha az ábrázolandó mennyiség abszolút számérték, akkor a szemléltetés képszerű rajzokkal vagy mértani idomokkal, azaz jelkartogrammal történik. Ha pedig a bemutatandó mennyiség relatív adat, akkor az ábrázolásnál értékfokozatos felületi jeleket vagy színárnyalatokat, azaz felületkartogramot használunk. Napjainkra azonban minden geotudományban általánossá vált a térinformatikai rendszerek építése és használata, s a GIS-szoftverek egyaránt támogatják a jel- és felületkartogramok készítését, függetlenül a szerkesztés alapjául szolgáló számszerű attribútumadatok jellegétől. Így kiszélesedett a térképkészítők köre, akik mélyebb kartográfiaelméleti képzettség híján is élnek a GIS-szoftverek fölkínálta mindenfajta szerkesztési eljárással és ábrázolási módszerrel. Ezért sok esetben olyan (önmagukban értelmes, hasznos és jó) tematikus térképek születnek, amelyeket azonban a hagyományos kartogram definíció nem tud kezelni. Dolgozatunkban egy, a városi hősziget vizsgálatával kapcsolatos és az által fölvetett problémával próbáltuk bemutatni, hogy a relatív értékek alapján szerkesztett jelkartogram és az abszolút adatok alapján készített felületkartogram lehet teljes értékű szemléltetés, amely nem torzítja el a valóságot. Így tehát azt javasoljuk, hogy az adatok milyenségétől (abszolút vagy relatív jellegétől) függetlenül a továbbiakban a vonatkozási hely nélküli, felületre vonatkozó mennyiségi értékeknek térbelileg hű bemutatását akkor tekintsük jelkartogramnak, ha képszerű rajzokkal vagy mértani idomokkal történik a szemléltetés, s akkor felületkartogramnak, ha értékfokozatos felületi jelekkel vagy színárnyalatokkal kerülnek ábrázolásra (*Sümeghy és Unger*, 2004b).

A szerzőnek az értekezés témájában megjelent közleményei

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

Sümeghy Z., 2001: *A keresztmetszeti hőmérsékleti profil jellege városi környezetben.* 2. díjas pályamunka, mely az MTA Szegedi Akadémiai Bizottságának felhívására készült (kézirat), Szeged.

Sümeghy Z. és Unger J., 2001: A keresztmetszeti hőmérsékleti profil jellege a városban. *1. Magyar Földrajzi Konferencia, Szeged.* CD-ROM.

Sümeghy Z. és Unger J., 2002: Szeged hőmérsékleti keresztmetszetének szerkezete és időbeli (éjszakai) dinamikája. *GEO 2002 – Magyar földtudományi szakemberek 6. világtalálkozója, Sopron.* D6.

Sümeghy, Z. and Unger, J., 2003a: Classification of the urban heat island patterns. *Acta Climatologica et Chorologica Univ. Szegediensis 36-37*, 93-100.

Sümeghy, Z. and Unger, J., 2003b: Seasonal case studies on the urban temperature cross-section. *Acta Climatologica et Chorologica Univ. Szegediensis 36-37*, 101-109.

Sümeghy Z. és Unger J., 2003c: A települések hőmérséklet-módosító hatása – a szegedi hősziget-kutatások tükrében. *Földrajzi Közlemények 127. (51.), No. 1-4.*, 23-44.

Sümeghy Z. és Unger J., 2004a: A városi hősziget szerkezetének vizsgálata normalizált intenzitás segítségével. *Légkör 49*, *No. 2.*, 15-19.

Sümeghy Z. és Unger J., 2004b: A kartogrammódszer új értelmezése. *Geodézia és Kartográfia 56* [közlésre elfogadva].

Sümeghy Z., Unger J., Gulyás Á., Pál V. és Kádár E., 2000: A városi hősziget területi szerkezete Szegeden. *HUNGEO 2000 – Magyar földtudományi szakemberek 5. világtalálkozója, Piliscsaba.* D4.

Sümeghy, Z., Unger, J., Balázs, B. and Zboray, Z., 2003: Seasonal patterns of the urban heat island. *Proceed. of the 5th Int. Conf. on Urban Climate (ICUC). eds.: Klysik, K., Oke, T.R., Fortuniak, K., Grimmond, C.S.B. and Wibig, J. International Association for Urban Climate, World Meteorological Organization, University of Lodz. Lodz, Poland. Vol. 1.* 135-138.

Sümeghy Z., Gál T. és Unger J., 2004: A városi hősziget területi szerkezetének osztályozási típusai és helyes interpretációja. *GEO 2004 – Magyar földtudományi szakemberek 7. világtalálkozója, Szeged* [közlésre elfogadva].

Unger J. és Sümeghy Z., 2000: A városi hőmérsékleti többlet – Szeged példáján. *A földrajz tanítása 8*, *No. 4.*, 8-13.

Unger J. és Sümeghy Z., 2001: A városi hőmérsékleti többlet: keresztmetszet menti vizsgálatok Szegeden. *Légkör 46, No. 4.*, 19-25.

Unger, J. and Sümeghy, Z., 2002a: Urban heat island patterns and cross-section profiles. *Urban Heat Island Summit, Toronto, Canada. http://www.city.toronto.on.ca/cleanairpartnership/pdf/finalpaper_unger.pdf*

Unger J. és Sümeghy Z., 2002b: *Környezeti klimatológia. Kisléptékű éghajlatok, városklíma*. SZTE TTK jegyzet, JATEPress, Szeged.

Unger J., Pál V., Sümeghy Z., Kádár E. és Kovács L., 1999: A maximális kifejlődésű városi hősziget területi kiterjedése tavasszal Szegeden. *Légkör 44*, *No. 3.*, 34-37.

Unger, J., Bottyán, Zs., Sümeghy, Z., Gulyás, Á., Fogarasi, S. and Sódar, I., 1999*: A model for the maximum urban heat island in Szeged, Hungary. *A szombathelyi Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola tudományos közleményei, Természettudományi füzetek (Proceedings of Berzsenyi Dániel Teacher Training College Szombathely, Natural Science Brochures) 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.

Unger, J., Sümeghy, Z., Gulyás, Á., Zoboki, J. and Pál, V., 2000*: Maximum urban heat island as a function of urban and meteorological factors. *3rd European Conf. on Appl. Climatol. (ECAC 2000), Pisa, Italy.* CD-ROM.

Unger, J., Sümeghy, Z., Mucsi, L., Pál, V., Kádár, E. and Kevei-Bárány, I., 2001a: Urban temperature excess as a function of urban parameters in Szeged, Part 1: Seasonal patterns. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis 34-35*, 5-14.

Unger, J., Sümeghy, Z. and Zoboki, J., 2001b: Temperature cross-section features in an urban area. *Atmos. Res. 58*, 117-127.

Unger, J., Sümeghy, Z., Gulyás, Á., Bottyán, Z. and Mucsi, L., 2001*: Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Meteorol. Appl. 8*, 189-194.

Unger, J., Sümeghy, Z., Gál, T. and Szegedi, S., 2003: Cross-section profiles of the urban heat island. *Proceed. of the 5th Int. Conf. on Urban Climate (ICUC). eds.: Klysik,K., Oke, T.R., Fortuniak, K., Grimmond, C.S.B. and Wibig, J. International Association for Urban Climate, World Meteorological Organization, University of Lodz. Lodz, Poland. Proceed. Vol. 1.* 159-162.

Unger, J., Bottyán, Zs., Sümeghy, Z. and Gulyás, Á., 2004*: Connections between urban heat island and surface parameters: measurements and modelling. *Időjárás 108* [közlésre elfogadva].