

A VÁROSI HŐSZIGET KIALAKULÁSÁNAK ÉS FEJLŐDÉSÉNEK VIZSGÁLATA HŐMÉRSÉKLETI PROFILOKON DEBRECENBEN

Kircsi Andrea¹ – Szegedi Sándor²

Összefoglalás

A városi hősziget kialakulásának és fejlődésének folyamatát tanulmányoztuk a napnyugtától napkeltéig terjedő időszakban Debrecenben a Szegedi Tudományegyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszékével közösen végzett kutatás keretében. A város jellegzetes beépítési típusait átszelő keresztmetszet mentén személygépkocsira szerelt hőmérsékletmérő műszerrel, havi rendszerességgel folytattunk adatgyűjtést 2002 áprilisa és 2003 márciusa között. A profilok évszakos jellegzetességeit vizsgálva megállapítottuk, hogy a nem fűtési félévben erősebb és szabályosabb profilok alakultak ki. A hősziget intenzitás időbeli változásának jellegzetessége a város belső részein mutatkozó másodlagos maximum és minimum az intenzitási görbe menetében. A belső területek beépítési típusaiban az intenzitási görbék lefutása hasonló, csak az ingadozások amplitúdója tér el, míg a város külső lakóövezetében a profilok meglehetősen laposak, nélkülözik a jellegzetes elemeket.

Bevezetés

A városi hősziget kialakulásának feltételeit és fejlődésének dinamikáját alapvetően a nagyobb léptékű időjárási folyamatok mellett a felszín sajátosságai alakítják. A város és környezete között a legerősebb hőmérsékleti különbség derült, szélcsendes éjszakákon, alapvetően anticiklonális makroszinoptikus helyzetekben alakul ki. Ekkor az eltérő felszínborítású, beépítési típusú, illetve más-más hógazdálkodási tulajdonságokkal rendelkező felszínek felett a felmelegedés mértéke sem fog megegyezni (*Unger et al. 2000*). A városban megnő a mesterséges borítású hatékony hőelnyelő felszínek aránya és csökken a természetes párologtató felszínek kiterjedése. A mesterséges felszínek az éjszaka során a talaj feletti légkörbe sugározzák vissza a nappal elnyelt hőt, ami napnyugta után különösen az utcák szintjében jelentősen melegebbé teheti a város levegőjét a környező beépítetlen területekhez képest (*Oke - Fuggle, 1972; Unger et al. 2001b*).

A városi hősziget fejlődése sajátos idő és térbeli jellegzetességeket mutat. A hőmérsékleti különbség napközben minimális (esetleg a városban hidegebb van a környezeténél), délután, napnyugta után kezd növekedni, amikor a napközben elnyelt hőmennyiséget a mesterséges felületek visszasugározzák (*Voogt – Oke, 1997*). A hősziget legerősebb kifejlődését általában napnyugta után 3-5 órával éri el, majd újra gyengülni kezd, a napkelte körüli időszakra általában a hősziget lecseng.

A hősziget térbeli képét az adott település beépítési viszonyai határozzák meg (*Park, 1986*). Ennek alapján általánosságban annyi állapítható meg, hogy a peremek felől a városközpont felé – a beépítés sűrűségével párhuzamosan – haladva növekszik a hősziget intenzitása. A hőmérsékleti többlet kialakulásának dinamikája a különböző beépítettségű városi területeken eltérő lehet. A vizsgálatok első fázisában a debreceni hősziget kifejlődésének időbeli jellegzetességeit kívántuk megállapítani.

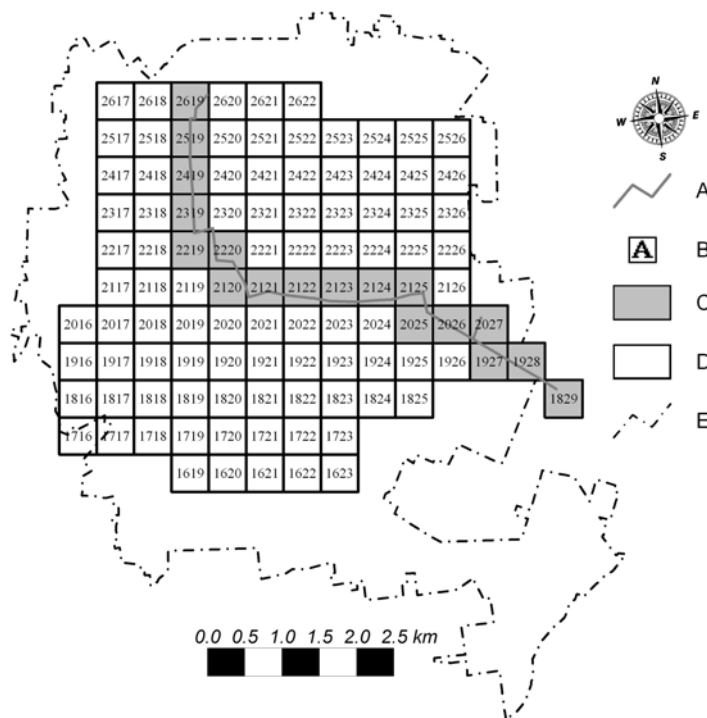
¹ Egyetemi tanársegéd, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék
4010 Debrecen, Egyetem tér 1 Pf.: 13. E-mail: kircsia@delfin.klte.hu

² PhD, Egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék
4010 Debrecen, Egyetem tér 1 Pf.: 13. E-mail: szegedis@tigris.klte.hu

A kutatási terület

Debrecen város mérete és földrajzi fekvése révén, csaknem teljesen sík környezete miatt a domborzat zavaró hatásával nem kell számolni; valamint a várost nem szeli át nagyobb vízfolyás, kedvező feltételt nyújt hősziget kialakulásához. Ennek területi sajátosságait és fejlődésének dinamikáját egységes metodikával vizsgáljuk a Szegedi Tudományegyetemmel közös kutatási projekt keretében.

A hősziget térbeli megjelenésének feltérképezéshez a város összefüggően beépített, közel 50 km² kiterjedésű részét lefedő 105 cellából álló gridhálózat ad alapot (1. ábra). Az EOTR 1:10.000-es méretarányú térkép hálózatát negyedelve nyertük a 0,5x0,5 km méretű grideket, amelyeket DNY-ÉK irányban növekvő értékű négyjegyű kódokkal jelöltünk. A város beépítettségének sajátosságai Szegedhez hasonlóan egy műholdkép (LANDSAT TM 1992. 06.28.) NDVI értékei alapján kerültek meghatározásra (Unger et al., 2000, Unger et al., 2001a).



1. ábra A városklíma kutatás mintaterülete Debrecenben

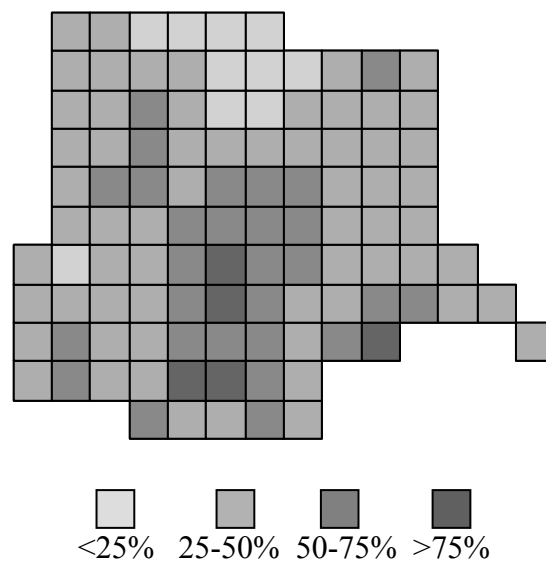
A – keresztmetszet mérés útvonala; B – gridek kódjai; C – keresztmetszet méréshez használt cellák; D – területi méréshez használt cellák; E – a város közigazgatási határa.

A hősziget fejlődésének dinamikájának vizsgálatához 18 gridet felfűző útvonalon történtek mérések 2002 áprilisa és 2003 márciusa között havi rendszerességgel. A várost átszelő keresztmetszet érinti a jellemző beépítés-területhasználati típusokat (2. ábra), illetve mérőautóval 1 órán belül bejárható (Unger et al., 2001a).

A méréseket mobil technikával hajtottuk végre (Conrads, - van der Hage, 1971). Egy gépkocsi haladt végig az útvonalon oda, és a gridek fordított sorrendjében visszafelé minden órában. Ez lehetővé tette, hogy az oda és visszaúton mért eredmények átlagolása útján azonos időpontra, a mérés középidejére (az ún. referencia időre) vonatkozó, így összehasonlítható eredményekhez juthassunk. A gépkocsikon LogIT SL típusú digitális adatgyűjtővel

összekötött, hővédő pajzzsal ellátott ellenállás-hőmérőket és kapacitív légnedvesség szenzorokat (LogIT HiTemp, 0.1°C pontosság) helyeztünk el. A műszerek 10 másodperces mintavételre voltak beállítva.

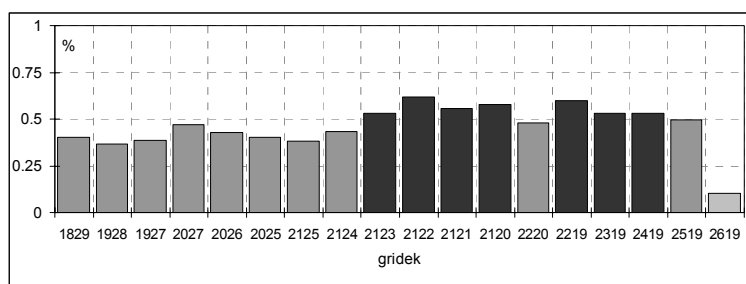
A város beépíttségére jellemző vonás, hogy a keleti oldalon főként a kertés családi házas beépítés dominál, míg a nyugati oldalon a lakótelepek 4-14 emeletes panelházai uralkodnak. A mesterséges talajfedés aránya keleti oldalon uralkodóan 50% alatt, míg nyugaton 50-75% között van (2. ábra). Természetesen a városközpont emelkedik ki magas beépítettségi hányadával (>75%), azonban az épületek itt csupán 3-4 emelet magasak. A városközpontban a horizontális aktív felszínek vannak túlsúlyban, míg a lakótelepeken meghatározóak a függőleges aktív felszínek a viszonylag alacsonyabb mesterséges talajfedés mellett.



2. ábra. A beépítettség mértéke Debrecenben %-ban kifejezve

A város déli részén elterülő ipari területeken szintén magas, 50% feletti a mesterséges felszínek aránya, a vertikális tagoltság ugyanakkor nem jelentős. A vizsgált területbe északi részén a Nagyerdei Park – az 1939-ben, hazánk első természetvédelmi területeként védetté nyilvánított Debreceni Nagyerdő városon belüli része – helyezkedik el (2. ábra). Nagy kiterjedésű zöldfelületekkel rendelkező közintézmények (strandfürdő, stadionok, állatkert, vidámpark, egyetem, klinikák) található a területén. Ez az előző területek ellenpontjaként a horizontális és vertikális aktív felszínek kis arányával (a mesterséges talajfedés aránya 25% alatti) tűnik ki a várostól északi irányban elterülő Nagyerdővel teremtve kapcsolatot.

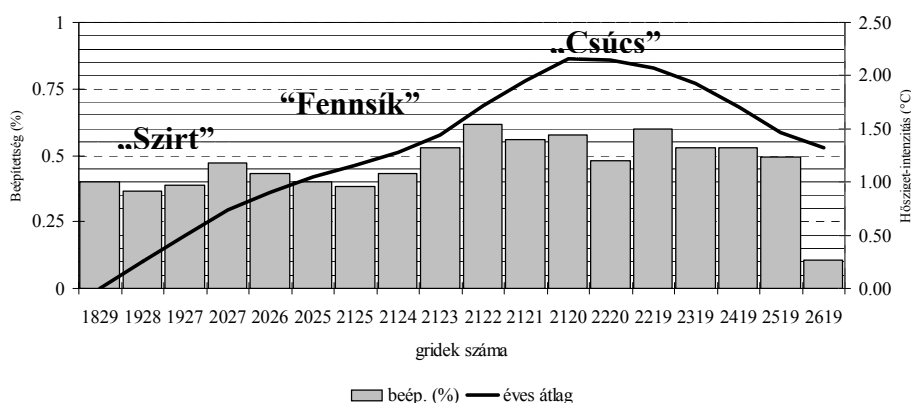
A keresztmetszetszméréshez felhasznált gridek legnagyobb hányada 25-50% beépítettséggel rendelkezik (3. ábra). A városközponthoz (2122, 2121, 2120, 2220 gridek) közelítve csökken a zöldfelületek aránya, a beépítettség 50% felé emelkedik. A Nagyerdő jellemvonásait a 2619 grid jelzi.



3. ábra A keresztmetszet méréshez használt cellák beépítettsége %-ban kifejezve

Eredmények

A debreceni hősziget általános jellegzetességeiben követi az Oke által leírt formát (Oke, 1987). A külterület irányából a városközpont felé haladva a hősziget intenzitási görbén a „szirt”, a „fennsík” és a „csúcs” különíthető el. Ezek az általános morfológiai hasonlóságokon túl a debreceni hősziget számos egyedi jellegzetességgel rendelkezik



4. ábra Átlagos hősziget-intenzitás a beépítettség függvényében

A város külterületéről induló mérési útvonal kezdeti szakaszában a beépítés nélküli és a kertés - családi házas beépítésű városrész határvonalánál, a 1829-2027-es gridekben alakul ki a „szirt”, amelyet az éves átlagos hősziget-intenzitást (UHI) jelző görbe meredek emelkedése jelez (4. ábra).

A 2026-2124-es gridek a „fennsíkot” alkotják. Az intenzitási görbe lassan emelkedik az egyenletesen kis intenzitású kertés - családi házas övezetben a város geometriai központja felé haladva. A 2123-as gridben az intenzitás ismét meredeken kezd nőni. Ez egy kisebb kiterjedésű ipari terület, ahol a mesterséges talajfedés aránya meghaladja az 50%-ot.

A hősziget-intenzitás átlagos értékben általában a 2120 számú cellában éri el a maximumát, azonban a környező 2121, 2220 és a 2219 gridek igen gyakran álltak vezető helyen. Ezek a gridek a „csúcs” részei. Itt a központban tehát nagyobb területen mértünk UHI maximumokat, átlagos értékek között igen kicsi a különbség. Ez az alak a város szerkezetéből következő helyi sajátosság. Ennek háttere az, hogy a főutcát övezően É-D irányban hosszan elnyúló egységesen sűrű beépítésű övezet található a központban (2. ábra).

Észak felé távolodva a központtól a 2319-as gridtől kezdődően az intenzitási görbe enyhén lejt a Nagyerdő irányában. A „fennsík” és a „szirt” látszólag hiányzik, a görbe „lejtő” alakját veszi fel (4. ábra). Ez a terület közepes intenzitású lakóövezet 2-4 emeletes társasházakkal, kiterjedt zöldfelületekkel. A zöldfelületek aránya ezen a szakaszon jelentősen

nő. A hősziget térszerkezetében sajátos elemként jelenik meg ez az erdőterület (*Szegedi - Kircsi, 2003; Kircsi – Szegedi, 2003*). Méréseink szerint a Nagyerdő a hősziget maximális kifejlődése idején a központi grideknél átlag 1-2°C-kal hidegebb, a külterületnél átlag 1-2°C-kal melegebb területként jelenik meg (4. ábra).

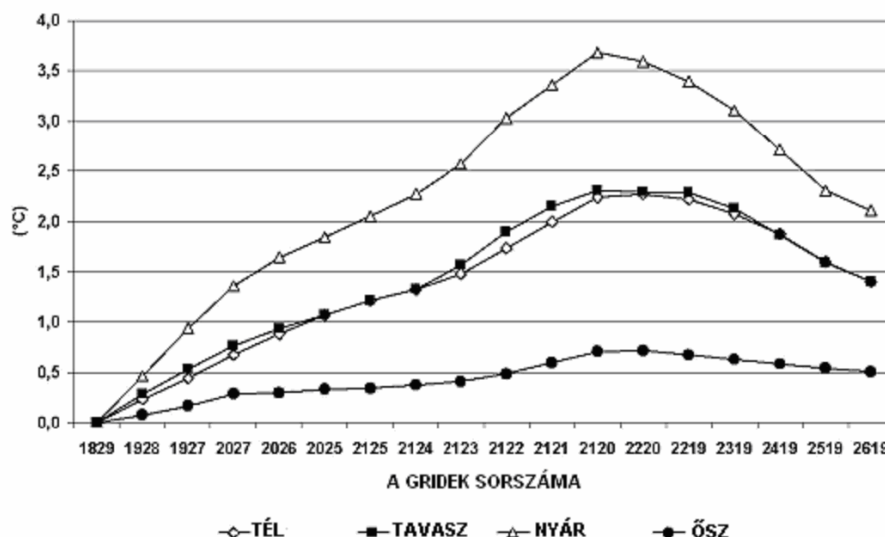
A mérések során az átlagos hősziget intenzitás (a külterületi referencia grid és a belterület közötti hőmérsékleti különbség) 1.3°C volt, ugyanakkor a maximális intenzitás 2.2°C-ot ért el. Lényegében a területi mérések alapján is a városban a nem fűtési félévben, különösen a nyári időszakban fejlődik erőteljesebb hősziget. A keresztmetszet mérések során abszolút értékben egy augusztusi, anticiklonális makroszinoptikus helyzetben (Péczy-féle Ae - anticiklon Magyarországtól keletre) mért hősziget emelkedik ki, amikor átlagosan 2,9°C UHI-t tapasztaltunk, de az éjszaka folyamán 4,6°C hőmérsékleti különbséget találtunk a város és környezete között (I. táblázat).

I. táblázat Átlagos és maximális UHI Debrecenben Péczy makroszinoptikus helyzetekben

Mérések időpontja	Átlagos UHI	Maximális UHI	Makroszinoptikus helyzet a mérés napján	Makroszinoptikus helyzet a mérést követő napon
Január	0.08	0.19	As	A
Február	1.82	2.78	An	An
Március	1.69	2.80	AB	AB
Április	1.27	1.95	C	CMc
Május	1.30	2.27	Ae	mCc
Június	1.75	2.81	A	A
Július	2.12	3.65	An	mCc
Augusztus	2.87	4.59	Ae	Ae
Szeptember	1.47	2.36	AF	AF
Október	0.12	0.23	zC	mCc
November	-0.30	0.00	mCw	mCc
December	2.21	3.91	AF	AF

mCc: Meridionális irányítású ciklonális hátoldali helyzet; AB: Anticiklon a Brit-szigetek felett; CMc: Mediterrán ciklon hátoldali áramrendszere; mCw: Meridionális irányítású ciklonális előoldali helyzet; Ae: Anticiklon Magyarországtól keletre; zC: Zonális nyugati irányítású ciklonális helyzete; As: Anticiklon Magyarországtól délre; An: Anticiklon Magyarországtól északra; AF: Fennoskandináv anticiklon; A: Anticiklon centrum Magyarország fölött; C: Cikloncentrum Magyarország fölött;

A mérési időpontokhoz rendelt Péczy makroszinoptikus kódok alapján végzett elemzésünk szerint a legnagyobb hősziget-intenzitású esetek szorosan kapcsolódnak anticiklonális időjárási helyzetekhez, amelyek a mérést követő napon sem változnak (*Szegedi és Kircsi, 2003*). Az éjszaka folyamán bekövetkező időjárás változás érzékelhető következményekkel jár a hősziget szempontjából. Az alapvetően ciklonális helyzetek élénk széljárása és felhős égboltja erőteljesen gyengíti a hősziget kialakulásának esélyét. A fűtési időszakban tapasztaltak jelzik, hogy a fűtésből származó antropogén hőtöbblet mennyire alárendelt jelentőségű a nagytérségi időjárási helyzetek teremtette alapfeltételekhez és a kedvező körülmények közt kibontakozó hógazdálkodásbeli eltérésekhez képest.



5. ábra. A hősziget intenzitás változásai a mérések során a négy évszakban.

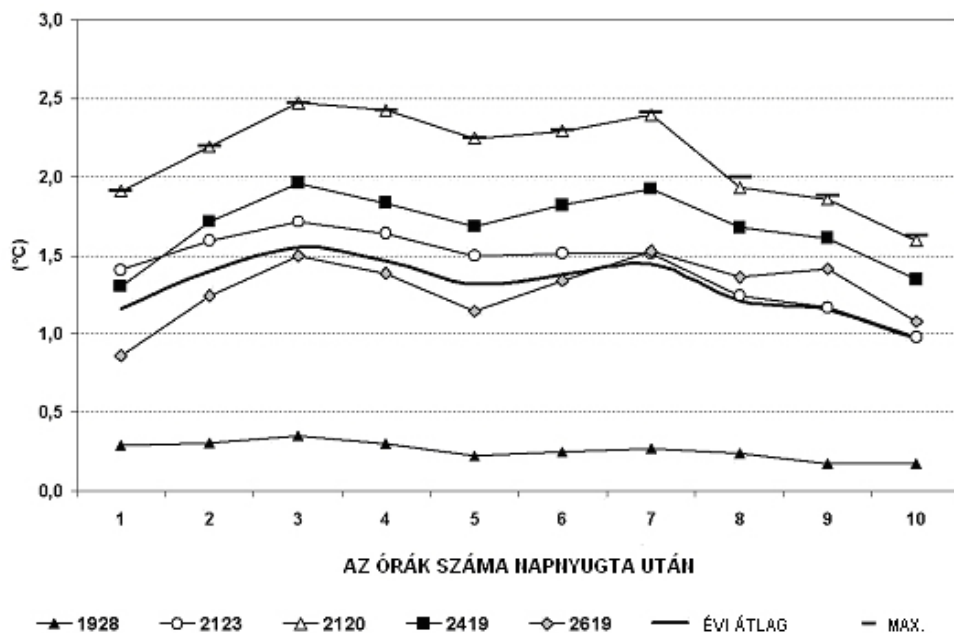
Az évszakok közül egyértelműen kiemelkedik a nyár, amikor az átlagos maximális intenzitás elérte a $3,5^{\circ}\text{C}$ -ot (5. ábra). A legszabályosabb menetet is ebben az időszakban mutatta az intenzitási görbe. A leggyengébb az őszi $0,8^{\circ}\text{C}$ -os átlagos maximális intenzitással és legkevésbé kifejlődött profilokkal. A tavasz és a tél közepes intenzitásokat mutatott. Ezekben a periódusokban feltűnő a görbén a lapos „szirt” és a határozott, de elnyújtott csúcs. Részben a hősziget „gyenge reliefje” lehet az oka, hogy minden évszakban a 2027-es és 2123-as grid között elhelyezkedő „fennsík” a legjobban kifejlett része profilnak. Érdekes megfigyelni, hogy a téli és a tavaszi görbe nagyrészt együtt halad, de épp a karakterisztikus részeknél (a „szirt” és a „csúcs” lejtője) a téli görbe laposabb. Ennek az oka valószínűleg az, hogy a téli mérések idején a hótakaró homogenizálta a vízszintes aktív felszín eltérő borításából adódó hőgazdálkodásbeli különbségeket. Így az intenzitás növekedése inkább az antropogén hő kibocsátással függ össze, ami egyenletesen növekszik a település geometriai központjához közeledve.

A 6. ábrán bemutatjuk az átlagos hősziget intenzitás változásait az éjszaka folyamán néhány, a város jellegzetes beépítési-területhasználati típusába tartozó gridben. A 1928-as grid a beépített terület határán található, ritkán beépített kertés, családi házas övezetben. A mesterséges talajfedés aránya 25 és 50% közötti. Ezt a területet városperemi parlag és mezőgazdasági területek övezik. Ez magyarázza azt, hogy a görbe szinte teljesen sima az ingadozás mértéke itt nem éri el a $0,2^{\circ}\text{C}$ -ot.

A 2123-as grid közepes intenzitású lakóterületekkel övezett ipari terület. A mesterséges talajfedés aránya 50% körüli. Az előzőnél $1-1,5^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb intenzitási értékek jellemzik, a görbe menetében az ingadozások kicsik.

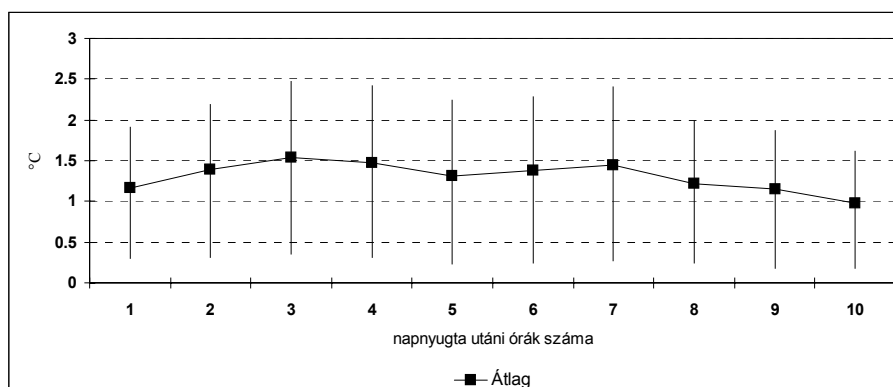
A 2120-as grid a beépített terület geometriai központjában található. A mesterséges talajfedés aránya 90% körüli. A legnagyobb intenzitás itt figyelhető meg, a görbe mentében $0,5^{\circ}\text{C}$ -ot meghaladó az ingadozás.

A 2419-es grid közepes intenzitású lakóövezet. A mesterséges talajfedés aránya 50% körüli, 2-4 emeletes társasházak váltakoznak kisebb - nagyobb zöldfelületekkel e gridben. Itt is nagy hősziget intenzitás és határozott időbeni dinamika figyelhető meg.



6. ábra. A hősziget intenzitás változásai a mérések során néhány jellegzetes gridben

A 2619-es kóddal jelölt grid a Nagyerdei Park jellegzetességeit képviseli. A mesterséges talajfedés aránya 25% alatti. Ennek ellenére a külterületnél lényegesen nagyobb intenzitás és határozott ingás figyelhető meg a területen.

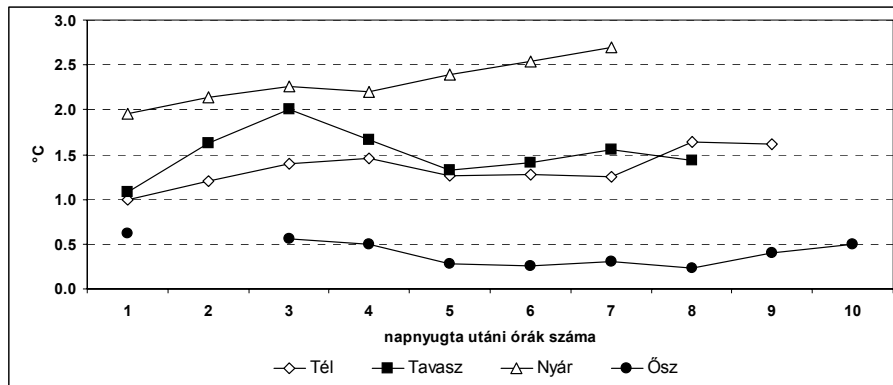


7. ábra A hősziget intenzitás átlagos változása napnyugta után Debrecenben

A hősziget intenzitás napnyugtát követő átlagos menetét tekintve (7. ábra) kettős maximum rajzolódik ki. Az elsődleges maximum napnyugta után 3 órával jelentkezik. Ez a természetes és mesterséges felszínek eltérő hőgazdálkodásából ered, mivel a jó hőtároló képességű városi felszínek ekkor sugározzák vissza legintenzívebben a napközben elnyelt hőt. Ezt követően az intenzitás csökkenni kezd kialakítva egy másodminimumot napnyugta után 5 órával. Ez valószínűleg a harmatképződéssel járó látens hő felszabadulással függ össze. A városi légtér jelentősen kisebb páratartalma gyengébb harmatképződés eredményez, tehát kisebb a felszabaduló látens hőmennyiség. Ez a külterületi referencia grid és a belterület közötti hőmérsékleti különbség csökkenésével jár. Ahogy a harmatképződés befejeződik, újra növekszik az intenzitás napnyugta után 7 óráig, létrehozva a másodlagos maximumot. Ez ismét a külterület gyorsabb lehülésének a következményeként értékelhető. Az intenzitás napnyugta után 8 óráig erőteljesen, később egyre lassabban csökken. Hajnalra a különböző

gridekben egymáshoz és a külterülethez képest minimálisra csökken a hőmérsékleti különbség. A 7. ábra az UHI változásának szélsőértékei is bemutatásra kerültek. A szórás mértéke igen jelentős lehet főként az UHI kifejlődésének maximumainak időpontjában.

Árnyaltabb a hősziget fejlődésének dinamikája évszakos átlagokat tekintve (8. ábra). A jellegzetes két maximummal rendelkező napnyugtát követő menet csupán télen és tavasszal mutatkozik, ugyanakkor a legnagyobb maximális UHI-val rendelkező hősziget kialakulása idején nem jellemző. Ekkor az éjszaka folyamán szinte töretlenül erősödik a hősziget.



8. ábra A városi hősziget fejlődése napnyugta után Debrecenben évszakonként

Következtetések

- A hőmérsékleti görbék általánosságban megfelelnek az irodalmi adatoknak, azonban számos egyedi jellegzetességgel rendelkeznek.
- A hősziget kialakulása szempontjából — a várakozásnak megfelelően — az anticiklonális helyzetek bizonyultak kedvezőbbnek. Ezek közül is kiemelkednek az Ae (anticiklon Magyarországtól keletre) és An (anticiklon Magyarországtól északra) délies és keleties irányítású helyzetek.
- A hősziget kifejlődése szempontjából a nem fűtési félév, a nyár bizonyult a legkedvezőbbnek. A fűtési félév, különösen az őszi kedvezőtlen feltételeket hozott. Ez a ciklonális és anticiklonális nagytérségi időjárási helyzetek éven belüli megoszlásának a következménye.
- A görbe legszabályosabb a napnyugta utáni 3-6 órában. Később a „szirt” és a „fennsík” helyét egyenletes esésű „lejtő” foglalja el.
- Az intenzitási görbe mentében a főmaximum napnyugta után 3 órával jelentkezik. Megfigyelhető egy másodmaximum napnyugta után 7 órával. Ezek a bel- és külterület eltérő mértékű lehűlésének a következményei. A napnyugta után 5 órával jelentkező másodminimumot a külterületen lényegesen intenzívebb harmatképződéssel járó látens hő felszabadulás váltja ki. Az intenzitási görbe főminimuma hajnal körül jelentkezik.
- A különböző beépítési-területhasználati típusba tartozó gridekben a görbék futása alapvetően hasonló, az ingadozás mértéke a külterület felől a központ felé jelentősen nő.
- A hősziget fejlődésének dinamikája évszakosan változik Debrecenben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA T/034161) és a Széchenyi Ösztöndíj támogatta.

A szerzők köszönetet mondanak Dr. Károssy Csabának a mérési napok Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek szerinti besorolásával nyújtott segítségével.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Conrads, L. A. and van der Hage, J. C. H.,** (1971): A new method of air-temperature measurement in urban climatological studies. *Atmos. Environ.*, **5**, pp.629-635.
- Kircsi A. and Szegedi S.,** (2003): The development of the urban heat island studied on temperature profiles in Debrecen. In: *Acta climatologica et chorologica. Universitatis Szegediensis*, Tom. 36-37. pp. 63-69.
- Oke, T. R. and Fuggle, R. F.,** (1972): Comparison of urban/rural counter and net radiation at night. *Bound. Lay. Meteorol.*, **2**, pp.290-308.
- Oke, T.R.,** (1987): *Boundary layer Climates*. Routledge, London-New York.
- Park, H-S.,** (1986): Features of the heat island in Seoul and its surrounding cities. *Atm. Env.* **20**, pp 1859-1866.
- Szegedi, S. and Kircsi, A.,** (2003): The effects of the synoptic conditions on development of the urban heat island in Debrecen, Hungary *Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis*, **36-37**: 111-120.
- Unger, J., Bottyán, Z., Sümeghy, Z. and Gulyás, Á.,** (2000): Urban heat island development affected by urban surface factors. *Időjárás* **104**, pp.253-268.
- Unger, J., Sümeghy, Z., Gulyás, A., Bottyan, Z. and Mucsi, L.,** (2001b): Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Meteorol. Applications*, **8**, 189-194.
- Unger, J., Sümeghy, Z. and Zoboki, J.,** (2001a): Temperature cross-section features in an urban area. *Atmos. Res.*, **58**, pp.117-127.
- Voogt, J.A. and Oke, T.R.,** (1997): Complete urban surface temperatures. *J. Appl. Meteorol.*, **36**, pp.1117-1132.