

II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola

Földtudományi és Turizmus Tanszék

A városi hősziget időbeli járásának hatótényezői Beregszászban

Készítette:

Papp István

4. évfolyamos földrajz szakos hallgató

Témavezető:

Molnár József, PhD

Beregszász – 2014

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1. Beregszász általános földrajzi jellemzése	4
1.1. Természetföldrajzi viszonyok	4
1.2. Lakossági adatok	6
1.3. Gazdasága.....	6
1.4. Társadalomföldrajzi viszonyok	7
2. A városi hősziget.....	9
2.1. A városi hősziget kutatása.....	9
2.2. A városi hősziget jellemzői	13
3. Adatbázis és módszerek	15
3.1. Mérési módszerek	15
3.2. Adatbázis és feldolgozási módszerek.....	16
4. Eredmények.....	19
4.1. A városi hősziget napijárásának sajátosságai Beregszászban	19
4.1.1. A belvárosi hőtöbblet átlagos napijárása.....	19
4.1.2. A hősziget intenzitás évszakos járása és összehasonlítása.....	19
4.1.3. A fűtési és nem fűtési szezonban mért városi hősziget időbeli alakulása	20
4.1.4. Abszolút maximális és abszolút minimális városi hősziget Beregszászban	21
4.2. A belvárosi hősziget intenzitásának átlagos napijárása Beregszászban különböző felhőzettségi viszonyok között.....	22
4.3. A belvárosi hősziget intenzitásának átlagos napijárása Beregszászban különböző szélirányok között	23
4.4. A belvárosi hősziget intenzitásának átlagos napijárása Beregszászban különböző szélereősségek között.....	26
4.5. A városi hősziget empirikus modellezése Beregszász példáján.....	27
Összefoglalás.....	30
Summary	31
Irodalomjegyzék.....	34

BEVEZETÉS

Az ENSZ adatai alapján jelenleg Földünk népességének már több mint a fele városokban él. Az urbanizációs folyamatok előrehaladtával párhuzamosan folyamatosan növekszik mind a városokban élők száma, mind a városok kiterjedése. Az ember által leginkább átalakított, megbolygatott tájtípusok közé tartozó városi környezet a természetközeli állapotú környékétől sok szempontból eltér. E különbségek között egész sor mezo- és mikroklimatikus sajátosság van, mint például a városok felszínén és a felszínközeli légterében kialakuló kisebb–nagyobb mértékű hőtöbblet, amit városi hősziget (*urban heat island* – UHI) néven emleget a szakirodalom (Unger, 2010).

A városi hősziget vizsgálatának gazdag szakirodalma van, amely kiterjed annak az intenzitására (Molnár et Kakas, 2006), térszerkezeti sajátosságaira (Szegedi et Kircsi, 2012), időbeli járására (Sümeghy, 2004), kialakító tényezőire (Bottyán, 2009) egyaránt. A városi hőszigetkutatás évszázados múltra tekint vissza, de időszerűsége napjainkban, az urbanizációs folyamatok előrehaladtával csak fokozódik. Az eddigi kutatások túlnyomó része a nagyvárosok hőtöbbletével foglalkozott (Soósné, 2009), pedig a jelenség kisebb települések, mint például Beregszász (Kárpátalja, Beregszász, 115 m a tenger szintje fölött, 24 ezer lakos (Kárpátaljai Megyei Statisztikai Főhivatal, 2013)) esetén sem elhanyagolható mértékű.

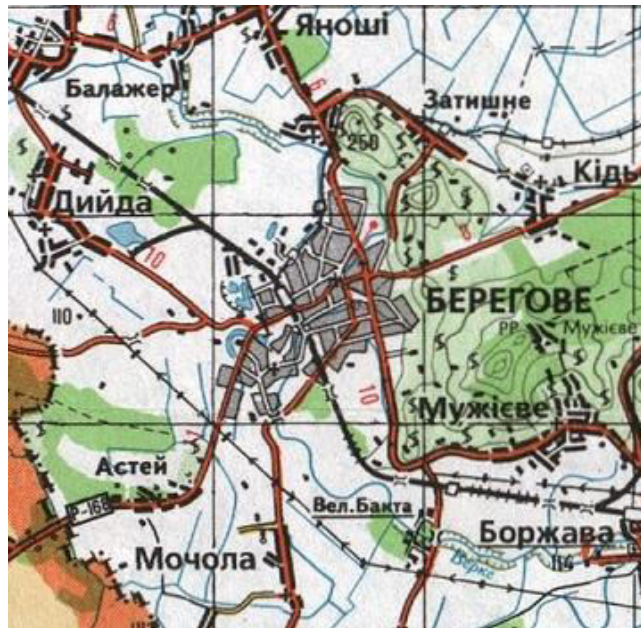
Vizsgálataink céljából a városi hősziget időbeli járásának sajátosságai és meteorológiai hatótényezőinek feltárását tűztük ki egy síkvidéki kisvárosban végzett méréssorozat alapján. Kutatásunk mérési szakasza 2012 folyamán zajlott Beregszászban, ahol a város peremén elhelyezkedő szinoptikus meteorológiai állomással párhuzamos mérések történtek a belvárosban telepített automata városklíma állomással. A hőmérsékleti adatokat és a különböző időjárásra ható tényezők adatait a két állomás szolgáltatta. A belvárosi hőmérsékleti adatokból kivonva a meteorológiai állomás adatait kaptuk meg a városi hősziget értékét. Az időjárási hatótényezők közül a felhőzet és a szél hőszigetalkító hatását vettük figyelembe a különböző időskálákon történő elemzésekhez. A hősziget erősségét megadó empirikus modell elkészítésénél a felhőzet és a széljárás adatain túl a csapadék és a sugárzási viszonyok hatását is figyelembe vettük.

1.

BEREGSZÁSZ ÁLTALÁNOS FÖLDRAJZI JELLEMZÉSE

1.1. Természetföldrajzi viszonyok

Beregszász megyei jogú város, a beregszászi járás székhelye. Kárpátalja délnyugati részén fekszik, Ungvártól 72, Munkácstól 28, az ukrán-magyar határtól (Asztélynál) 6 kilométernyire. Beregszászt északkelet és délkelet felől vulkanikus eredetű hegylánc övezi. A város átlagos tengerszint feletti magassága 115 m, alapterülete 19 km². Beregszász a hegyvidék és a Nagy Alföld határán fekszik, tőle délnyugatra már síkság van, melyet csak helyenként bontanak meg kisebb dombok. A város szomszédai Jánosi, Déda, Kígyós, Muzsaly, Macsola. Beregszász testvérvárosai: Csíkszereda (Románia), Gödöllő (Magyarország), Hajdúböszörmény (Magyarország), Hatvan (Magyarország), Kecskemét (Magyarország), Przeworsk (Lengyelország), Zalaegerszeg (Magyarország) (Zasztavecka et al., 1996).



1. ábra. Beregszász katonai térképen (aránymérték: 1cm=2 km) (Beregszász katonai térképen, 2013).

A várost északkelet, délkelet felől vulkanikus eredetű hegylánc övezi. Ezek Legmagasabb pontja a Nagyhegy, tengerszint feletti magassága 362 méter. A dombvidék alapterülete 54 km² a várossal határos főbb hegyek a Kerek-hegy, Hosszú-hegy, Sarok-hegy, Csepka-hegy és Ardói-hegy, az erősen erodálódott Kis-hegy és az Aranyos-hegy. A

Beregszászi-dombvidék és a Beregszász–Csap közötti sztratovulkánok sora – alsószarmatai–riolitkupolák, lapos tetejű vulkanikus dombok, feldarabolódott felszínű lejtők. A dombvidék kiterjedése északnyugat-délkeleti irányban 12–18 km, szélessége 3–10 km. A Beregszászi-dombvidék bazaltos andezitjei riolit (liparit) tufával, néhol argilittel vannak fedve. Ennek alapján a Beregszász környéki bázisos képződményeket a felső-bádenihez sorolják. A felső-bádeni üledékekre és bázisos vulkánitokra két szintben települt riolittufa illetve riolit dóm (Vince et Szabó, 2013). A várostól keletre erdőségek, mezőség illetve a korábbi és a most is működő homokbányák révén keletkezett bányatavak találhatók, melyeket a köznév „Pistyánkának”, „Nyolcasnak”, „Bágernek” és „Pockosnak” nevez.

A hegylánc kellő védelmet nyújt az északi hideg szelek behatolásától, délnyugat felől, a Közép-dunai-alföldről ide áramlanak a meleg és nedves légtömegek. Az uralkodó szélirány északnyugati. Mivel Beregszászt hegylánc övezi, viharos szelek ritkán fordulnak elő. Évi középhőmérséklete 10°C, az átlagos évi csapadékmennyiség 670 mm, a tél enyhe, a nyár forró, s mindez biztosítja a szőlő, őszi- és kajsziparack, dohány, korai cseresznye, alma és egyéb mezőgazdasági kultúrák bő termés hozamát. A beregi táj éghajlata tehát a mezőgazdaság számára meglehetősen kedvező (Beregszászról, 2013).

A várost a Vérke-csatorna szeli át, amely a Borzsa és a Latorca folyókat köti össze. Vízmagasságát a Borzsán épített zsilippel szabályozzák.

A város környezetében és a dombvidéken gyertyános és tölgyesek vannak. Megtalálható itt a kocsányos tölgy (*Quercus robur*), közönséges gyertyán (*Carpinus betulus*), és a kárpáti sáfrány (*Crocus heuffelianus*). A dombvidéken a tölgyhöz hárs is elegyedik. A gyepszinten a védett kockás liliom (*Fritillaria meleagris*), a medvehagyma (*Allium ursinum*), a májusi gyöngyvirág (*Convallaria majalis*), a szagos müge (*Gallium odoratum*). A város körül élénk mezőgazdasági termelés folyik, a dombokon szőlőtáblák találhatók (Baranyi, 2009).

Sokszínűségében területünk állatvilága sem marad el a növényvilágtól. Előfordul a város melletti erdőkön és mezőkön illetve a városban is a vakond, borz, nyest, menyét, hermelin, görény, nyérc, vidramenyét, vidra, vadnyúl, nyúl, mókus.

Az erdőkben, a mezőkön és a vízparti, víz közeli helyeken körülbelül 200 madárfaj él. Előfordul a siketfajd, a nyírfajd, a császármadár, a fácán, a harkály, a kakukk, a búbos banka, a sarlófecske, a jégmadár, a vízirigó, a fogoly, a fűrj, a törpesirály, a baglyok több faja, a galambfélékből a gerle, a kékgalamb. A vízimadarak közül megemlíthetjük a hattyút, a vadlibát és vadkacsát, csörgőrécét, kócsagot, bölömbikát.

A csúszómászók közül található itt erdei-, réz-, kockás- és vízisikló, valamint keresztes vipera. Sok a gyík és a mocsári teknős, szalamandra, göte, hegyi unka, eső- és kecskebéka (Baranyi, 2009).

1.2. Lakossági adatok

A 2001. évi népszámlálás adatai szerint Beregszásznak 27 200 lakosa volt, a városhoz tartozó Tasnád, Bulcsu és Beregvégardóval együtt, vagyis 3 500 fővel kevesebb, mint az 1989. évi népszámláláskor volt. A lakosság ilyen nagyarányú csökkenése egyrészt a demográfiai helyzet rendkívül kedvezőtlen alakulásával, vagyis a születések számának csökkenésével és az elhalálozások számának növekedésével, másrészt a nagyméretű kivándorlással magyarázható. Meg kell jegyezni azonban, hogy sokan kétségbe vonják a 2001. évi népszámlálás hitelességét és pontosságát, a népszámláló biztosok nem minden udvart, lakóházat kerestek fel. A férfiak száma 12 800 (47,1 %), a nőké 14 400 (52,9 %).

Nemzetiség alapján a város lakossága 12 800 magyar (48,1 %), 10 300 ukrán (38,9 %) 1 500 orosz (5,4 %), 1 700 roma (6,4 %), 900 más nemzetiségű (1,2 %). A városban egy négyzetkilométerre 2 720 lakos jut, népsűrűség tekintetében tehát elmarad a többi kárpátaljai megyei jogú város – Ungvár (2933), Munkács (2733), Huszt (3240) – mögött (Kárpátaljai Megyei Statisztikai Főhivatal, 2013).

1.3. Gazdasága

A terület ásványkincsekben szegény. Kitermelés alatt van a város mellett lévő homok. Továbbá meg kell említeni a helyi legfontosabb ásványkincset, a vizet, amely számos termálfürdő működésének alapjául szolgál. A Hosszú hegytől keletre kaolint bányásznak, a Nagy hegyen található a muzsalyi aranybánya, mely számos problémát okoz a város és az azt övező falvak környezetében.

A rendszerváltás után az üzemek többsége csődbe jutott, termékeiknek nem volt megfelelő piaca. Különösen érzékenyen érintette a munkásságot a finommechanikai üzem és a rádiógyár válsága, melyek a rendszerváltásig túlnyomórészt a hadiipar megrendeléseit teljesítették. Ezek elmaradása katasztrofális helyzetbe juttatta mindkét üzemet, több ezer munkás került az utcára. A rádiógyárnak azonban sikerült talpra állni, előnyös szerződést kötni a világhírű FLEXTRONICS céggel, új műhelyeket nyitni, több száz embert foglalkoztatni.

Sikerült megőrizni a ruhagyár termelési kapacitását. Mivel a belföldi megrendelések elmaradtak, az üzem igazgatósága külföldi partnerek után nézett, már több mint másfél évtizede varr hozott anyagból és szabásból különböző ruházati cikket az olasz BENETTON cég számára. A városban számos magánvállalat jött létre, nagy részük sikeresen működik. A COTNAR vállalat főleg bor és üdítő italok palackozásával, az AISBERG Vállalat sörfőzéssel foglalkozik, a DIANA KFT, az ECOTRADEINFORM, a VIZHIBU ukrán-magyar-angol közös vállalata különböző szolgáltatásokat nyújt a lakosságnak, a NUMINÁTOR Vállalat főleg üzemanyagtöltő állomásokat üzemeltet, a dohányfermentáló üzem dolgozza fel a Kárpátalján termelt dohány zömét. Továbbra sem működnek azonban teljes kapacitással a vágóhíd, a vajgyár, az AGROTECHSZERVIZ, a VIKTÓRIA Bútorgyártó üzem, a diagnosztikai és garázsberendezéseket gyártó kísérleti üzem és sok más vállalat. Egyáltalán nem működnek a téglagyárak, a majolikagyár, a famegmunkáló kombinát és üzem, több egyéb vállalat, melyeknek még mindig nem sikerült talpra állni a piacgazdálkodási viszonyok között. Gyakorlatilag alig végeznek említésre méltó munkát az építővállalatok. Mindez komoly gondokat okoz a lakosság foglalkoztatását illetően. A városban hozzávetőlegesen 20 százalékos a munkanélküliség (pontos adatok erről nincsenek, ugyanis a rendkívül alacsony munkanélküli segély miatt sokan nem tartják érdemesnek nyilvántartásba vételni magukat a foglalkoztatási központban). A kereskedelem, a közétkeztetés magánkézbe került, számtalan elegáns üzlet, kávézó, bár, söröző nyílt a városban. Eredményesen működik az ASTRA áruház, a PRIMA élelmiszerüzlet-lánc, a Zelenyák-család cukrászda-hálózata. A kiszolgálás európai-színvonalú, az árukészlet a legmagasabb igényeket is kielégíti. Nemrég nyílt meg a BARVA szupermarket hálózat szintű üzlete. A hosszú hegytől keletre külszíni kaolinbánya működik. A lakosság vásárlóképessége az alacsony fizetések, gyakran hónapokig elmaradó bérek, a csekély nyugdíjak és a magas munkanélküliség miatt azonban nem kielégítő (Beregszász jellemzése, 2013).

1.4. Társadalomföldrajzi viszonyok

A városban számos étterem, kávézó működik, az autósokat több üzemanyagtöltő állomás is várja, számos szálloda panzió üzlet található. A lakosság a közép-európai időt használja, bár a hivatalosan elfogadott idő a kijevi mely 1 órával eltolódást mutat. A közutak többségének állapota kritikán aluli, a közvilágítás nincs rendesen megoldva, az ivóvizek nincsenek megfelelően tisztítva. A közművesítés nincs befejezve, számos házban nincs

vezetékes víz, gáz, telefon. A környezet állapota rossz a Vérke szennyezettsége nagyfokú, a szemétszállítás és raktározás nincs megfelelően megoldva (Zasztavecka et al., 1996).

Beregszász legjelentősebb tanintézménye a Kárpátaljai Magyar Főiskola, amely mint a Nyíregyházi Bessenyei György Tanárképző Főiskola kihelyezett tagozata nyílt meg, majd önálló főiskolává fejlődött. Óvodapedagógusokat, általános iskolai tanítókat, angol, földrajz és történelem tanárokat képez. Néhány éve megnyílt kertészmérnöki szaka.

Beregszászon két középfokú szaktanintézet működik. Az egészségügyi szakiskola felcsereket, ápolónőket, szülésznőket, egy éve pedig már gyógyszerészeket is képez. A szakipari középiskola diákjai a szabász, pék, cukrász, szakács, építészeti asztalos, ács, szobafestő, mázoló, vízvezeték szerelő, gázhegesztő mesterségeket sajátíthatják el. Mindkét szaktanintézetben magyar tannyelvű csoportok is működnek, a tanulmányi idő három év. A városban egy ukrán és egy magyar tannyelvű gimnázium, egy orosz, két ukrán, három magyar tannyelvű középiskola és három magyar tannyelvű általános iskola működik (Beregszász jellemzése, 2013).

A járási kórház 600 ágyas, sebészettel, belgyógyászattal, gyermekgyógyászattal, urológiával, fül-orr-gége gyógyászattal, szemészettel, fertőző osztállyal, onkológiával, bőr- és nemi beteg osztállyal, szülészettel, nőgyógyászattal, idegsebészettel, gyermek ortopédia és traumatológia osztállyal, kardiológiával, fizioterápiával, ideggyógyászati rehabilitációs osztállyal, reanimációval rendelkezik. Az osztályok orvosi műszerezettsége azonban még sok kívánnivalót hagy maga után.

A kórházon és az orvosi rendelőintézetén kívül Beregszászon tüdőbeteg gondozó, tuberkulózis kórház, gyermek tejkonyha működik. Ugyancsak Beregszászon működik, sajnos nagyon rossz feltételek között, a 600 ágyas megyei elmeegógyintézet.

A közegészségügyi és járványmegelőző állomás feladata a város köztisztasági állapotának felügyelete, feladatait a város befejezetlen közművesítése, a Vérke szennyezettsége, és egy megfelelő szemetgyűjtő telep hiánya miatt nagyon nehezen tudja megoldani (Beregszász jellemzése, 2013).

A városban számos gyógyfürdő működik, amely azonban az anyagi megélhetéssel küszködő lakosság jelentős része számára megfizethetetlen. A lakosság számára a város melletti bányatavakban ingyenes fürdési és horgászati lehetőség rejlik. Számos étterem, kávéház áll a város rendelkezésére.

A Művészeti Iskolában több énekkar, kamaraegyüttes, fűvós és esztrád zenekar, mazzorett-csoport működik, hangversenytermében rendszeresen tartanak zenei estéket.

2.

A VÁROSI HŐSZIGET

2.1. A városi hősziget kutatása

A városi és a természetes felszínek felett mért hőmérsékletkülönbség a városi hősziget (*urban heat island* – UHI), amely kialakul a város felszínén, a felszínközeli néhány méteres légterben és a városi tetőszint feletti légkörben (Unger, 2010).

Egyre többen készítenek empirikus modelleket az energetikai folyamatok meghatározásához (Arnfield et al., 1998). Előtérbe kerültek a városi környezet kicsinyített modelljein elvégzett kísérletek (Barlow et al., 2002). A repülőgépes és műholdas infravörös sugárzásmérések is hasznos adatokat nyújthatnak a kutatóknak (Dousset et al., 2003).

A városi hősziget jelenségének vizsgálatai többnyire a nagyvárosokban zajlottak és zajlanak most is. De Molnár József Kakas Mónika és Marguca Viola segítségével egy kevésbé tanulmányozott klímájú várostípusba tartozó terület hősziget-jelenségeit figyelték meg, ez a város Beregszász volt. A beregszászi hősziget intenzitásának és térbeli szerkezetének vizsgálatához gépkocsis mobil mérési módszert alkalmaztak. A méréseket rendszeres időközönként végezték évszaktól és időjárási helyzettől függően. Az adatok felhasználása után egy fontos a városi hősziget erősségét az időjárási viszonyoktól függően előrejelző empirikus modellt fejlesztettek ki (Molnár et al., 2006).

Szegedi Sándor és Baros Zoltán a debreceni városi hősziget kifejlődését és térszerkezetét vizsgálták. Amit aztán kisebb településekre is kiterjesztettek Debrecen környékén, hogy a városi hősziget és a településméret közötti összefüggéseket feltárhatják. Mobil technikával hajtották végre a méréseket úgy, hogy a mérések középideje napnyugta után 3-5 órával legyen, mert ekkor a legnagyobb a hőmérsékleti különbség. A mérések során a szélirány, szélsébség és felhőzet paramétereit is lejegyezték. A feldolgozás után arra a következtetésre jutottak, hogy a nem fűtési szezonban akár 50%-al magasabb hősziget alakulhat ki a fűtési szezonhoz képest, vagyis nem az antropogén hőtermelés a hősziget kialakulásának az oka. Továbbá a különböző települések hőszigetgörbéi a hasonlóságokon túl sajátos jellegzetességeket mutatnak, ami a beépítési szerkezettel magyarázható. Végül az általuk kapott adatok alapján a hasonló településméretű és beépítésű városok átlagos maximális hőszigetét is előre jelezhetik a modell segítségével (Szegedi et Baros, 2006).

A szegedi városi felszíngeometria és a hőmérséklet területi eloszlása közötti kapcsolatot átfogóan vizsgálta Unger János és segítői. Egy eljárást dolgoztak ki, ami segítségével a városi

felszíngeometriát számszerűsítették egy 3D-s adatbázisban, és a kapott eredmények segítségével elemezték a hősziget kapcsolatát, majd ezeket összevetették korábbi kutatások eredményeivel. A felszín tagoltságának számszerűsítésére az égboltláthatósági indexet (Sky View Factor) használták, ami fizikai elgondolásokon alapszik. Ezt az értéket több módszerrel is kiszámolták és ellenőrizték, aztán az adatokat egy háromdimenziós épület-adatbázisban állították össze, majd értékelték. A hősziget detektálásához Szeged városát cellákra osztották fel. Mérőautó segítségével meghatározott útvonalon haladva mérték a hőmérsékleteket úgy, hogy minden cellát érintettek legalább egyszer. A referencia-terület 2 km-re volt a várostól, ami fontos a hőmérsékleti különbségek kiszámításakor. A vizsgálataik szoros kapcsolatot mutatott az SVF és a városi hősziget (UHI) között. Módszerük előrelépést mutat mind az adatgyűjtés, mind a feldolgozás szempontjából az előző kutatásokhoz képest (Unger et al., 2006).

Szegedi Sándor és Kircsi Andrea kutatásukban azt vizsgálták, hogy a különböző nagyságú időjárási helyzetek hogyan alakítják a hősziget kialakulását és térbeli szerkezetét. Debrecenben végezték a méréseket gépkocsira szerelt műszerekkel, vagyis mobil technikával. Gridhálózat segítségével kialakított útvonalon haladtak napnyugta után 3-5 órával. Az adatok feldolgozása és megjelenítése táblázatkezelő programokkal történt (Excel, Surfer for Windows). Arra az eredményre jutottak, hogy a város beépített területén a hősziget kialakulásának kedvez az anticiklonális és szélcsendes időjárás. Az erős ciklonális helyzetek viszont gátolták a kialakulását. A legszabályosabb hőszigetek akkor alakultak ki, amikor a Kárpát-medence gyenge- és magasnyomású központok közt helyezkedett el (Szegedi et Kircsi, 2012).

Műholdas felszín-hőmérsékleti adatok felhasználásával már több világszerte nagyváros klímáját vizsgálták. Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit és Pongrácz Rita egy kilenc éve folyó kutatás keretében Magyarország tíz legnagyobb városára valamint Közép-Európa kilenc nagyvárosára vonatkozóan végeztek városklíma kutatást, amelyeket műholdas felszín-hőmérsékleti adatok segítségével végeztek. Továbbá tanulmányozták a városi hősziget sajátosságait. Minden városra és időpontra meghatározták a városi és városkörnyéki átlaghőmérsékleteket és ezeknek a különbsége adta a városi hősziget intenzitását. Aztán a képfelvételek a különféle összehasonlító vizsgálatokban segítették őket úgy, mint a hősziget napszaktól, évszaktól és városmérettől való függésében, valamint szerkezete és keresztmetszete megjelenítésében (Dezső et al., 2010).

Széleskörűen foglalkozott a hőszigettel és kialakulásának okaival Bottyán Zoltán. Megfigyelései alapján a meteorológiai elemek módosulása következik be a városi klíma miatt.

Leginkább a szél, a légnedvesség és a hőmérséklet változik a beépítetlen környezethez képest. Vagyis a meteorológiai elemek hatnak a hősziget kialakulására és alakulására, de az így megváltozott városi klíma is megváltoztathatja az időjárás alakulását.

Kutatásában kitért arra is, hogy a hősziget kialakulásában a beépített felszín geometriája (érdeessége), anyagi és fizikai tulajdonságai, az antropogén hőkibocsátás, és a városi légkör módosulása (energia–egyenleg) játszik alapvető szerepet. Az erős hőtöbblet kifejlődésének pedig a nyugodt, anticiklonális helyzet (felhőzet és csapadék nélkül helyzet) kedvez. Azt a következtetést vont le, hogy a városi hőmérsékleti többlet miatt a nagyvárosokban meghosszabbodik a fagymentes periódus, mérséklődik a fagyok erőssége, a fagyos téli napok száma, csökken a hótakarós napok száma, csökken a fűtési napok száma (Bottyán, 2009).

A külföldi szakirodalomban számos tanulmány foglalkozik UHI kutatással, de főleg csak esti szinten, és rövidebb időszakokat, sokkal kevesebb a hosszabb időszakon keresztül folyó, rendszeres mérősorozaton alapuló vizsgálat, amely általános következtetések levonására alkalmas. Ezért is vizsgálta hosszabb időszak adatait (1999–2000; 2002–2003) Sümeghy Zoltán. Fő célja a városi hősziget matematikai–statisztikai modellezése és előrejelzése.

A vizsgált területet, Szeged városát, a már több kutatásban alkalmazott módszerrel cellákra osztotta fel és mérőautós hőmérsékletmérést végeztek minden cellában a hősziget értékeinek kiszámolásához (Unger et al., 2006). Megvizsgálta a terület beépítettségének a mértékét műholdas fotók segítségével. Végül ismét egy már alkalmazott eljárással vizsgálta meg a cellák égboltláthatósági indexét (SVF) (Unger et al., 2006). Mindezek az eljárások segítettek a végső modelljének létrehozását (Sümeghy, 2004).

A városi hősziget alapvetően megváltoztatja a városklímát. Erre a következtetésre jutott Oláh Vilmos, amikor a témában végzett kutatásokat. Úgy véli a hősziget hatására nyáron több a forró nap, télen a talajmenti fagyok ritkábban és rövidebb ideig fordulnak elő, a vegetációs periódus hosszabb, nagyobb a csapadékösszeg és gomolyfelhők is gyakrabban fordulnak elő. A hősziget kedvezőtlen körülmények között csapdába ejtheti a különböző szennyező anyagokat a város fölött (füstkupola jöhet létre), amely károsíthatja a városlakókat, de ezt a szél elfújhatja és más településeket, mezőgazdasági területeket veszélyeztethet. Hatására több lehet az elviselhetetlenül forró nyári napok száma, ami megterheli az emberi szervezetet. Szerinte ez ellen a zöld területek, parkok, terek arányának növelésével lehet védekezni a hűvösebb környezetük miatt (Oláh, 2011).

Nagymértékű hőszigetvizsgálatok folytak egy mediterrán éghajlatú területen, Athén régiójában. Huszon három kellően elhelyezett mérőállomás hőmérsékleti adatait használták

fel. A mérőállomások egy összekapcsolódó hálózatot alkottak. A vizsgálatok erős hőszigetet mutattak ki Athénban az elmúlt évek gyors iparosodása, urbanizációja miatt. Létrehoztak egy modellt, amely által UHI rekonstrukciót és becsléseket végezhetnek el (Mihalakakou et al., 2004).

New York városban szintén automatikus meteorológiai állomás hálózat segítségével határozták meg a városi hősziget értékeit. A nagyvárosban 25 állomás volt elhelyezve kiválasztott területeken. A városi hősziget alakulása követte a más szakirodalomban leírt napi menetet (Unger, 2010). Az UHI késő délutáni órákban gyorsan növekedett, egész éjszaka jelen volt és hajnalban gyorsan csökkent. A legnagyobb éjszakai hőmérsékletkülönbség csillagos égboltnál, gyenge északnyugati szél jelenlétében következett be, vagyis 2–3 ilyen éjszaka eltelte után. A hőszigetet erősen csökkentették a tenger felől jövő szelek, a hidegfrontok hideg szelei, amelyek tavasszal és nyáron délkeleti és északkeleti irányúak voltak. A maximális UHI kialakulásának 4 különböző okát figyelték meg (Gedzelman et al., 2003).

Egyes kutatások csak egy évszak hősziget-intenzitását vizsgálták meg. Hasonló kutatás volt Buenos Aires-ban, ahol csak a téli időszakot kutatták és azt, hogy hogyan alakul különböző időjárási feltételek mellett. A kutatással a városi időjárási előrejelzéseket szeretnék javítani. Az adatbázist két meteorológiai állomás 1959–91 közötti adatai szolgáltatták. Az adatbázist a léghőmérséklet, harmatpont, felhőzet, légköri nyomás, a szél iránya és sebessége alkották (3, 9, 15, 21 órai adatok). Az eredmények azt mutatták, hogy az átlagos UHI intenzitás néhány órával napkelte előtt állt be hideg anticiklonális tevékenység hatása alatt. A városban ekkor gyenge szél volt és ritka felhőzet (Bejara'n et al., 2003).

Egyes tanulmányok az éghajlatváltozást próbálják bizonyítani a városi hősziget értékeinek segítségével. Ilyen például egy délkelet-kínai tanulmány, ami 1960-tól 2005-ig terjedő időszak hőmérsékleti, relatív páratartalom valamint a csapadék értékeit vizsgálta meg. Két időszakot különítettek el, 1984 előtti és utáni időszakot. 1984 előtt nem volt jelentős urbanizáció, de a keresett értékek folyamatosan emelkedtek. 1984 után az urbanizáció növekedésével jelentősen megnövekedtek a maximális és minimális hőmérsékletek (Chen et al., 2011)

A tengerparti városok átlagos maximális hősziget intenzitásának alakulása különbözik a teljesen szárazföld területén fekvő városétól. Erre mutat rá egy dél-koreai tanulmány, mely hat nagy városának 1973–2001 folyamán mért adatokból számított átlagos maximális UHI értékeit vizsgálta meg. Kiderült, hogy a kisebb tengerparti városokban nagyobb hősziget

alakulhat ki, mint a nagyobb tengerparttól távolabbi városokban. A tengerparti városoknál éves ciklust mutatott az átlagos napi maximális hősziget alakulása (Kim et al., 2004).

Egy sanghaji tanulmány szerint a globális felmelegedés következtében egyre intenzívebb hőhullámok alakulhatnak ki a nagyvárosokban, amelyek felerősíthetik a városi hőszigetet, illetve negatív hatással lehet a városlakókra. Ennek függvényében vizsgálták Sanghaj városát 1975–2004 közötti időszak adatait. Ezen belül az összes nyári hőhullámot, a nyári halálozási rátát és a halálokokat. Azt állapították meg, hogy a sanghaji nyári kiugró halálozások valamilyen összefüggésben állnak vannak a nagy hőhullámokkal és az általuk kialakított intenzív hőtöblettel (Tan et al., 2010).

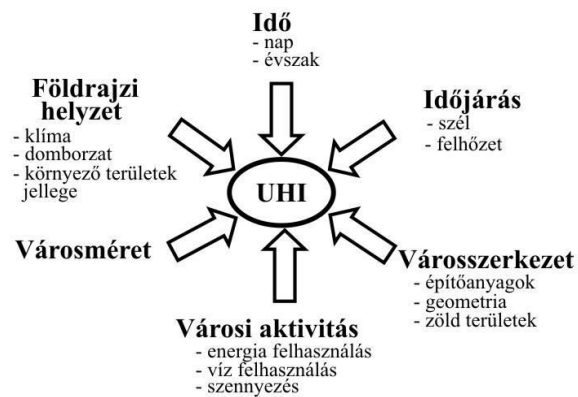
2.2. A városi hősziget jellemzői

A városi hősziget kifejlődése számára a derült, szélcsendes időjárás kedvez, amikor a városi felszíngeometria hőgazdálkodásából származó hőmérsékleti különbségek zavartalanul kialakulhatnak. A csapadék a párolgás hőelvonó hatása miatt akadályozza meg a városi hősziget kifejlődését (Unger et al., 2006).

A hősziget-intenzitás jellegzetes napi menetet és a városon belül meglehetősen eltérő mértéket mutat. Napnyugta után a külterületeken a hőmérséklet gyorsabban csökken, így a városi területek melegebbek lesznek ekkor. A hőmérsékleti kontraszt a maximumát naplemente után mintegy 3–5 órával éri el, azaz ekkor a legnagyobb a hősziget-intenzitás értéke (Oke et Maxwell, 1975). Az éjszaka hátralévő részében lassan, de egyenletesen csökken a különbség a hőmérsékletek között, majd a csökkenés napkeltekor felerősödik. Napkelte után a város légtere lassabban melegszik fel. Tehát a nap folyamán az intenzitásnak mértékét a lehülési és felmelegedési ütemek eltérései szabályozzák (Unger, 2010).

A hősziget maximális intenzitása szoros kapcsolatban áll a település méretével. 1000 fős településeken is kimutatható a hősziget és milliós nagyvárosok esetén a lehetséges legnagyobb hőmérsékleti módosulás 12 °C körül alakul. A hősziget intenzitásának szempontjából egyáltalán nem elhanyagolható, hogy szellősen elhelyezett, alacsony épületek vagy a tömör, magas beépítés dominál az adott településen (Oláh, 2012). Az időjárási tényezők (különösen a szél és a felhőzet) is jelentősen befolyással bírnak a hősziget kifejlődésének mértékére (Szegedi et al., 2011). Kialakulására kedvezőek a magasnyomású (anticiklonális) helyzetek, amikor általában derült az ég és közel szélcsend van. A felhőzet hatását a felhőfajták eltérő jellege miatt elég nehéz számszerűsíteni. Az erős szél a hőszigetet nagymértékben gyengíti, sőt akár meg is szüntetheti. Mivel a nagyobb városok intenzívebb

hőszigetet képesek generálni, ezért minél nagyobb lélekszámú a település, annál nagyobb erősségű szél szükséges a termikus különbségek kialakulásának megakadályozására. A beépítettség milyensége és a hősziget intenzitása között is van valamilyen összefüggés. Ennek kapcsán – tulajdonképpen a városmag geometriai szerkezetének jellemzésére – érdemes megnézni, hogy hogyan viszonyulnak egymáshoz az utcáknak és az ott lévő épületeknek a méretei. Ugyanis minél magasabbak az utcában lévő házak, annál inkább akadályt jelentenek a hosszúhullámú kisugárzás számára, vagyis annál kisebb az utcákban a lehűlés üteme (Unger, 2010).



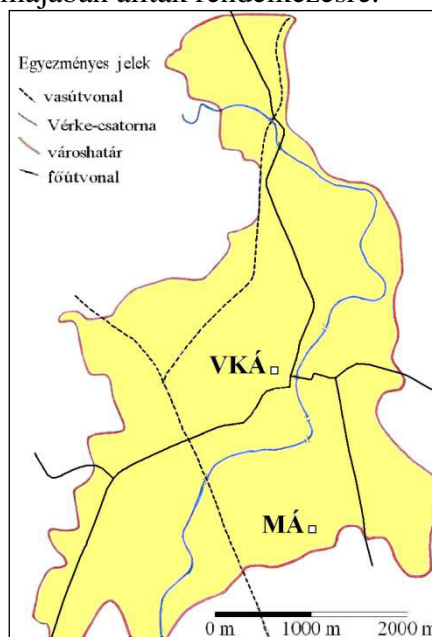
2. ábra. A hősziget-intenzitás nagyságára ható tényezők (Unger, 2010).

3. ADATBÁZIS ÉS MÓDSZEREK

3.1. Mérési módszerek

A kutatásunkhoz szükséges adatmennyiséget egy városklíma állomás és a Beregszászban működő meteorológiai állomás szolgáltatta. Az automatikus városklíma állomást 2011 november–decemberében telepítették a KMF belső udvarára és üzemelték be, amelyet az ELTE Meteorológiai Tanszékétől kapott kölcsön a főiskola.

Kutatásunk mérési szakasza 2012 folyamán zajlott Beregszászban, ahol a város pereméhez közel elhelyezkedő szinoptikus meteorológiai állomással párhuzamos mérések folytak a belvárosba telepített automata városklíma állomással egyidőben (2. ábra). A két helyszínen mért óránkénti hőmérsékleti adatok alapján határoztuk meg a hősziget intenzitás értékeit, amelyek a statisztikai feldolgozások alapjául szolgáltak. Mindkét méréssorozat a szabványos két méteres magasságban zajlott. Az automata állomás óránkénti hőmérsékleti adatait, valamint a szélirány és szélereősség értékeit az időpontot megelőző és az azt követő húszperces időszak átlaga adta. A szinoptikus állomás óránkénti hőmérsékleti adatai a termográf szalagról leolvasott értékek, amelyeket az állomáshőmérő háromórás adatai alapján korrigáltak. A meteorológiai állomás által kapott felhőzettség és szélviszonyok adatai háromóránkénti értékek formájában álltak rendelkezésre.



3. ábra. Az automata városklíma állomás (VKÁ) és a szinoptikus meteorológiai állomás (MÁ) elhelyezkedése Beregszász területén.

3.2. Adatbázis és feldolgozási módszerek

Az előző szövegrészben már vázolta volt, hogy az automata állomás óránkénti hőmérsékleti és a hatótényezők adatait az időpontot megelőző és az azt követő húszperces időszak átlaga adta. Mivel ez az állomás csak 20 perces időközönkénti adatokkal szolgált, ezt a korrigálást egy táblázatkezelő program (Microsoft Excel) segítségével oldottuk meg. Az adatok hozzáférhetőségében is ugyanez a program segített, mert az automata állomásról letöltött adatállomány használata csak Excelbe való megnyitás után volt lehetséges.

A szinoptikus meteorológiai állomás hőmérsékleti adatai (termográf szalagokon) és meteorológiai tényezők (szél, felhőzettség) adatai digitális képformátumban álltak rendelkezésünkre. A leolvasása és adatbázisban történő rögzítése szintén számítógép és táblázatkezelő program segítségével történt. Tehát a teljes adatbázist Microsoft Excel táblázatkezelő programban hoztuk létre.

A hősziget értékeit úgy kaptuk meg, hogy a városklíma állomás hőmérsékleti adataiból kivontuk a meteorológiai állomás által mért hőmérsékleti adatokat, minden esetben Celsius-fokban számolva.

Az UHI különböző hatótényezőknek köszönhető módosulásait egyszerű és pontos számításokkal (átlag, összeg függvények, stb.) számoltuk ki, aminek diagramos megjelenítése is Excelben folyt.

A mérési szakasz során a főiskolai városklíma állomás egyik magasabban lévő szélirány és szélesebségmérő műszerének sebességmérő forgólapátja 2012. október 6.-ától meghibásodott, ezért hibás értékeket regisztrált. Az elemzések során az e műszer segítségével rögzített adatai közül csak a szélirányok értékeit használtuk fel, de csak januártól októberig. Viszont a másik, alacsonyabban lévő (22 m) szélesebségmérő műszer egész évben működött, ezért ezeket a szélesebség adatokat használtuk fel az elemzések során.

A szélirányok irányfokban, a szélerősség m/s-ban, a felhőborítottsági értékek 1–10-ig terjedő értékekben álltak rendelkezésünkre. A meteorológiai állomás szélesebség értékei egész pontosságúak, míg az automata állomás adatai tizedes pontosságúak voltak.

Több új független változót is hozzákapcsoltunk az adatbázisba (pl. derült vagy felhős nap, aktuális csapadékintenzitás). Az eddig összegyűjtött adatbázis alapadatait több helyen ki kellett egészíteni, hogy legalább minden független változónak legyenek 3 órás adatai, a sugárzási adatokat át kellett alakítani W/m^2 -be, valamint újból megvizsgáltuk az adatok pontosságát, megbízhatóságát a több napos adathiányok figyelembevételével.

A városi hősziget intenzitása és az időjárási tényezők közötti összefüggések vizsgálatánál az alapvető statisztikai elemzéseken túl (átlag, szórás, eloszlás vizsgálata, korrelációs számítás) megkíséreltük a hősziget erősségét megadó empirikus modell elkészítését is. Ehhez a többváltozós lineáris regresszió módszerét alkalmaztuk, amelyet más szerzők is célszerűnek találtak hasonló feladatok megoldására (Bottyán et al., 2001), és amelynek eredményeként az alábbi formátumú egyenletet kapjuk:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n,$$

ahol Y – a függő változó, a – konstans, X_i – az i -edik független változó, b_i – az i -edik független változó parciális regressziós együtthatója, $i = 1, 2, \dots, n$, n – a figyelembe vett független változók száma.

A többszörös lineáris regressziós egyenlet illesztése, az egyváltozóséhoz hasonlóan, a legkisebb négyzetek módszere alapján történik (Ezekiel et al., 1970). A módszer előnye, hogy kiszűri a független változók közötti korrelációból adódó redundanciát. Az elemzéseket az SPSS statisztikai programcsomag segítségével végeztük el.

A modellépítés első lépésében a rendelkezésre álló független változók mindegyikét bevontuk az egyenletbe. A továbbiakban kizártuk azokat, amelyek parciális korrelációs együtthatója 0,05-nél kevesebbnek adódott, tehát, amelyek hozzájárulása a hősziget-intenzitás variációjának a megmagyarázásához elhanyagolható mértékű.

Az SPSS segítségével túl lehet lépni az összegző alapstatisztikákon és a táblázatkezelők által nyújtott lehetőségeken, mert az SPSS tartalmazza a legnépszerűbb statisztikai eljárásokat, úgymint a gyakoriságok, keresztátlák, leíró statisztikák, faktor-, regresszió-, megbízhatósági és klaszteranalízis, többdimenziós skálázás. Csak az SPSS statisztikai programcsomag rendelkezik viszonylag gazdag táblázatformálási lehetőségekkel (Tasnádi, 2014).

A Kolmogorov–Szmirnov próba egy statisztikai teszt, ami a nem-paraméteres próbák közé tartozik. A teszt két minta eloszlásának összehasonlítására alkalmas. Egymintás t-próbát vizsgálunk vele a tapasztalati és az elméleti eloszlásfüggvény eltérésének maximuma alapján. Alkalmas arra, hogy két valószínűségi változó eloszlását összehasonlítsuk, vagy ellenőrizzük, hogy egy valószínűségi változónak csakugyan az az eloszlása, amit feltételeztünk (hu.wikipedia.org/wiki/Kolmogorov). Magyarázata:

Legyen X a vizsgált statisztika, aminek eloszlása nem ismert, de feltételezzük, hogy megegyezik az F_0 eloszlással. Nullhipotézisünk tehát:

$$H_0 : F_X(x) = F_0(x)$$

Az ellenhipotézis:

$$H_1 : F_X(x) \neq F_0(x)$$

A próba a F_n tapasztalati eloszlást hasonlítja össze az F_0 eloszlással a

$$d_n = \|F_n - F_0\| = \sup_x |F_n(x) - F_0(x)|,$$

tesztstatisztika segítségével, ahol $\sup$ a szuprémumot jelöli. A Glivenko–Cantelli-tétel szerint a tapasztalati eloszlásfüggvény egyenletesen tart a valódi eloszlásfüggvényhez, vagyis H_0 esetén F_0 -hoz. H_1 esetén nagyobb értékek adódnak. A tesztstatisztika független az F_0 eloszlástól. Ha a tesztstatisztika értéke nagyobb, mint ami a táblázatban meg van adva, a H_0 hipotézis valószínűleg nem teljesül, ezért elvetjük (hu.wikipedia.org/wiki/Kolmogorov).

A rangkorrelációs együtthatók azt mérik, hogy két sorozat együtt változik-e. Ha az egyik sorozat nő, a másik csökken, akkor a rangkorrelációk negatívak lesznek. Többféle rangkorrelációt ismerünk. Ezek közül a *Spearman-rangkorreláció* és a *Kendall-korreláció* a legnépszerűbb. Számításuk:

Spearman-rangkorreláció:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}.$$

Kendall-korreláció:

$$\tau = \frac{n_c - n_d}{\frac{1}{2}n(n - 1)}$$

ahol n_c a megfelelő, és n_d az eltérő párok száma.

A korrelációhoz hasonlóan értékeik a $[-1,1]$ intervallumba esnek. Értékük 1, ha a két rangsor ugyanaz; 0, ha a két rangsor egymástól független, és -1, ha egymás megfordításai.

A rangkorrelációkat sokszor a korrelációs együttható könnyen számítható és kevésbé eloszlásérzékeny alternatíváiként kezelik. Ennek azonban nincs sok matematikai alapja: a rangkorrelációkkal más összefüggéseket lehet kimutatni, mint a korrelációs együtthatóval (hu.wikipedia.org/wiki/Korrel).

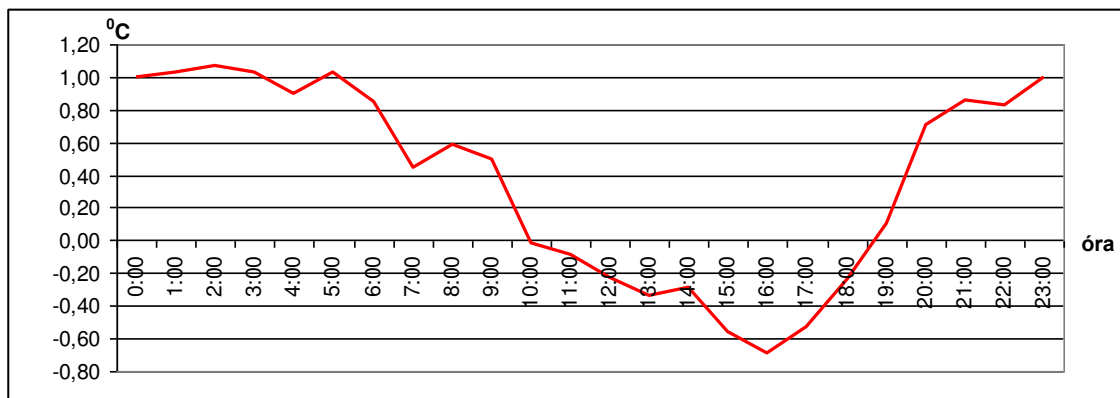
4.

EREDMÉNYEK

4.1. A városi hősziget napi járásának sajátosságai Beregszászban

4.1.1. A belvárosi hőtöbblet átlagos napi járása

Beregszász belvárosában 2012-ben az átlagos városi hősziget napi járása a szakirodalom által leírt törvényszerűségeket követte. Éjjel jelentkeztek a nagyobb hőtöbbletek, míg nappal inkább hőhiány alakult ki. Hasonló alakulást állapítottak meg több magyarországi nagyváros vizsgálata során is (Lelovics et al., 2012). Az éjjeli hőtöbblet a városban 23 és 5 óra között (közép-európai zónaidőben) 1 °C körül érte el maximumát (4. ábra), járásában nem volt megfigyelhető a más vizsgálatok által jelzett napnyugta után 3–5 órával később jelentkező maximum (Oke et Maxwell, 1975). Összességében, az átlagos hősziget 10 és 18 óra között a negatív tartományban tartózkodott. Ez azzal magyarázható, hogy a dél felől közel elhelyezkedő épülettömb árnyékoló hatása miatt felszínközeli nappali hőhiány alakult ki. Ez a hőhiány a műholdas infravörös vizsgálatok során hőtöbbletként jelentkezik a tetőszinten (Dezső, 2010).

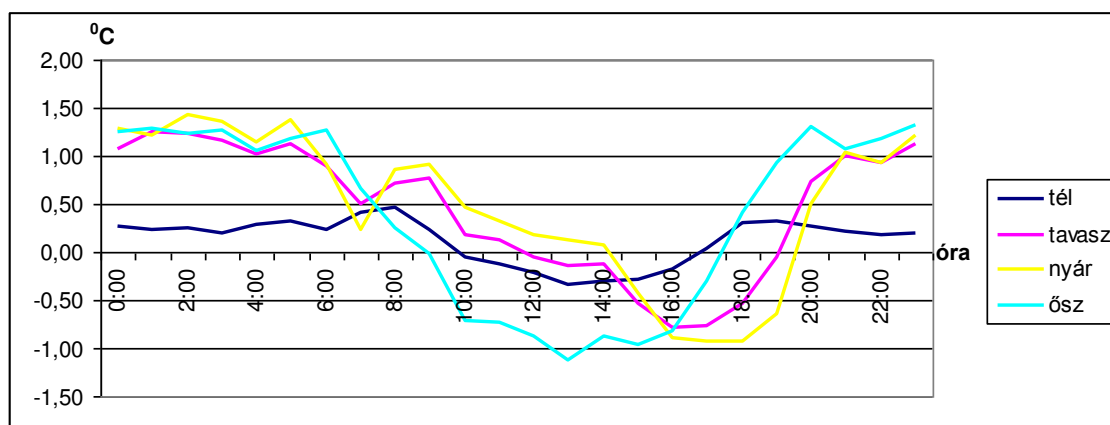


4. ábra. A belvárosi hősziget intenzitásának napi járása Beregszászban 2012-ben.

4.1.2. A hősziget-intenzitás évszakos járása és összehasonlítása

A hősziget intenzitás téli menete jelentős mértékben eltért a többi évszaktól (5. ábra). Az éjjeli hőtöbblet és a nappali hőhiány közötti kisebb különbségek oka a mérsékeltebb téli sugárforgalom lehetett. Az őszi hősziget intenzitásának alakulása követte a téli menet fő

jellemzőit, de ingása nagyobb mértékű volt. Az éjjeli hőtöbblet értékek tavasszal és nyáron nem sokat különböztek az őszi értékektől. Nappal viszont a tavaszi és nyári évszakokban a hőhiány csak délután jelentkezett. Ez azért alakulhatott így, mert a magas napállás miatt az épületek árnyékoló hatása csak délután és reggel volt jelen. A reggel 7 órai minimum szintén emiatt volt észrevehető a tavaszi és nyári évszakokban.

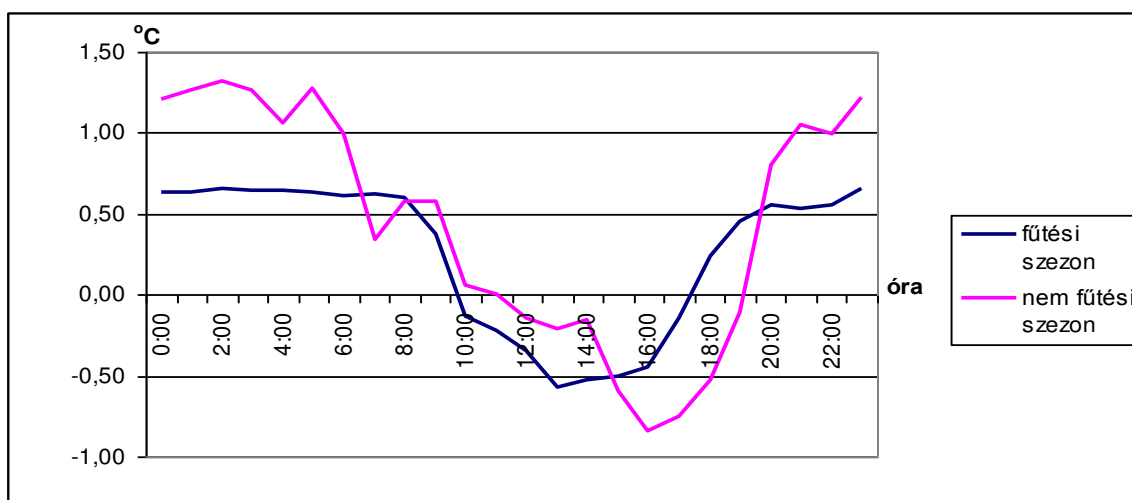


5. ábra. A hősziget intenzitásának évszakonkénti átlagos napi járása Beregszászban 2012-ben.

4.1.3. A fűtési és nem fűtési szezonban mért városi hősziget időbeli alakulása

2012-ben a fűtési szezon november 1-től április 1-ig tartott, ennek megfelelően a kívül eső hónapok jelentik a nem fűtési szezont. A fűtési szezonban a belvárosi hősziget értékei és átlagos napi menete jelentős mértékben különbözött a nem fűtési szezon görbájától. De ugyanakkor hasonlóságot is mutatnak más időszakokhoz viszonyítva. A fűtési szezon átlagos napi hősziget intenzitás menete hasonlított a téli átlagos napi alakulásához, viszont értékei 1–2 tizeddel magasabbak voltak (6. ábra). Valószínűleg a télhez hozzáadott két melegebb hónap miatt voltak nagyobbak a városi hősziget értékei, mert ezekben a hónapokban nagyobb a sugárzás mennyisége, és nagyobb hőtöbblet tud kialakulni.

A nem fűtési szezon hősziget-intenzitásának átlagos időbeli alakulása szorosan követte az évi átlagos napi járását, de maximális hőtöbblete 0,3 °C-al nagyobb volt, a minimuma csak egy tizeddel volt nagyobb (6. ábra). Az magyarázhatja a magasabb hőtöbblet jelenlétét a görbén, hogy a meleg hónapok közül a két leghidegebb (november, március) a fűtési szezonhoz tartozott és így átlagban növelte a hőtöbbletet.

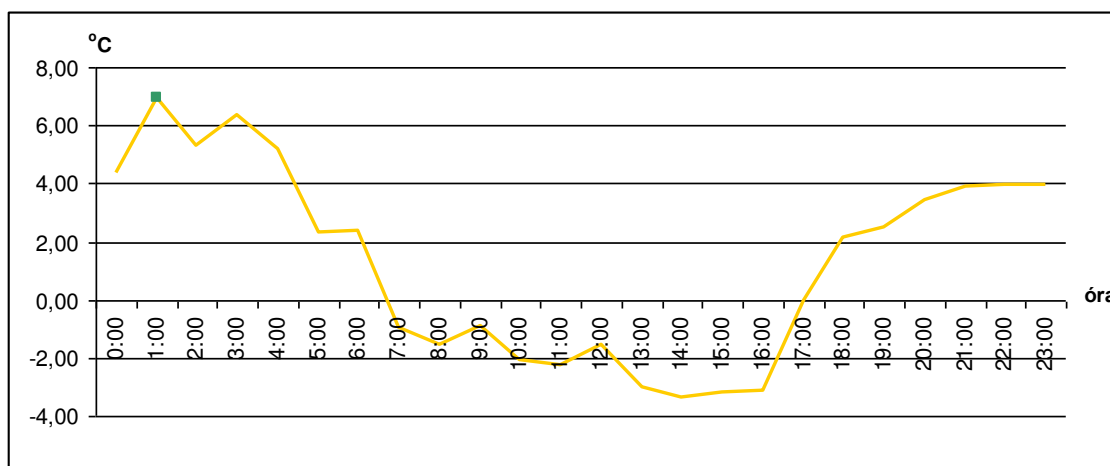


6. ábra. Fűtési és nem fűtési szezon átlagos napi hősziget-intenzitása Beregszászban 2012-ben.

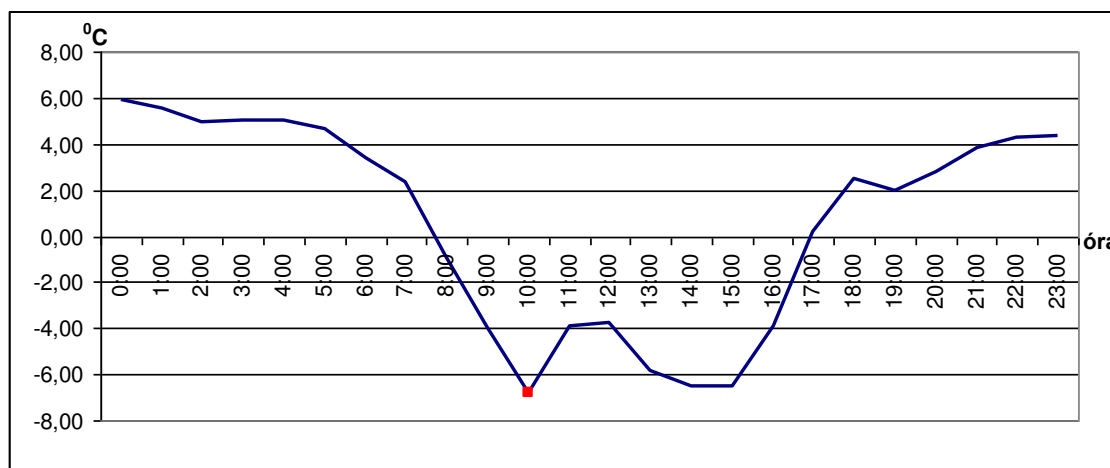
4.1.4. Abszolút maximális és abszolút minimális városi hősziget Beregszászban

Beregszászban az abszolút maximális városi hősziget 2012. október 21-én éjszaka 1 órakor volt $6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (7. ábra). Ezt az időjárási elemek erős ráhatásával lehet megmagyarázni. Az előző három (és ezen a napon is) napon szélcsend volt, felhő csak 7 és 16 óra között fordult elő és $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüli léghőmérséklet volt. Mivel szélcsendes időszak volt, felhők is csak délután borították az eget és viszonylag meleg volt, a magas fallal körbevett udvar zavartalanul melegedhetett fel. Viszont az éjszakai órákban nem volt felhő, ami utat engedett az éjszakai felszíni kisugárzásnak. Ez a folyamat a város határában lévő nyílt terepen meg is történt nagymértékben, viszont az udvaron a magas falak jelen esetben ezt nem engedték, csak kis mértékben. Mindezek a hatások erősítették egymást több napon keresztül, míg kialakult egy nagyobb lehűlés a városhatáron, de a kedvező hatások miatt a főiskola udvarán nem, ezért egy nagyobb hőmérsékletkülönbség alakult ki.

Az abszolút minimális városi hősziget Beregszászban 2012. október 20-án délelőtt 10 órakor volt $-6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (8. ábra). Mivel egymást követő napokon következtek be, az időjárás hatása már adott. Ugyanezek a hatások nem csak az éjszakai hőtöbbletet növelhetik, hanem a nappali negatív hőszigetet is. A városszéli nyílt terep az időjárás hatása miatt a szokásosnál jobban és gyorsabban melegedett, ami ehhez a magas fokú hóhiányhoz vezetett.



7. ábra. A városi hősziget (2012. október 21.) napi járása az abszolút maximális hőtöbblet megjelenésével. A zöld négyzet az abszolút maximum.

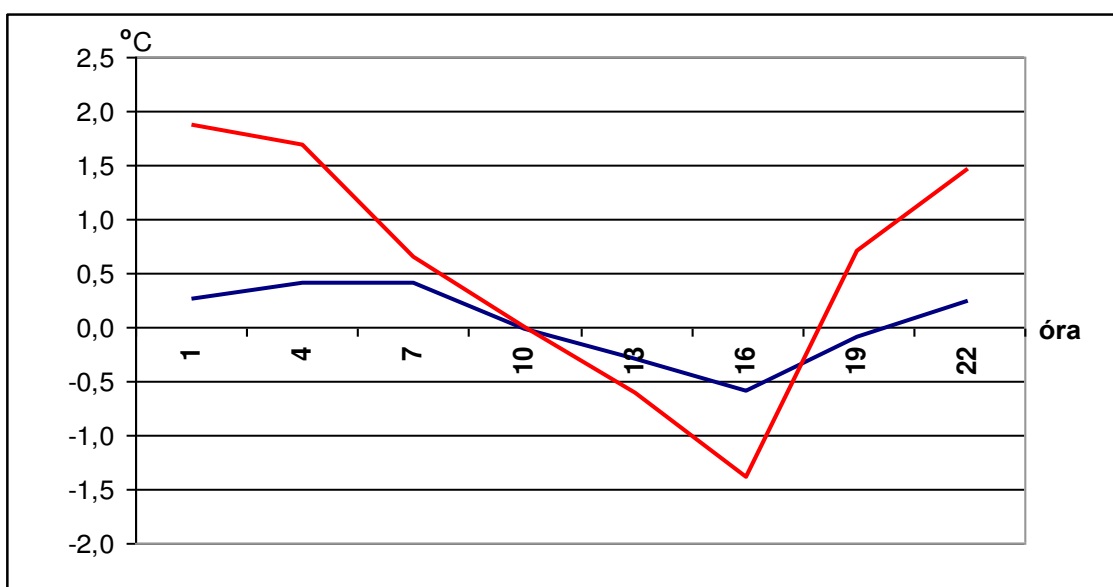


8. ábra. A városi hősziget (2012. október 20.) napi járása az abszolút minimális hőhiány megjelenésével. A piros négyzet az abszolút minimum.

Ezek az eredmények arra a következtetésre juttattak bennünket, hogy az időjárási tényezők nem csak a nagyvárosok, hanem egy ilyen kisváros hőszigetét is erősen befolyásolják. Ez a tény a legjobban az abszolút maximum és minimum vizsgálatokor mutatkozott meg, hiszen a szakirodalomból ismert (Unger, 2010) kedvező időjárási feltételek mellett markánsabb hőszigetek alakultak ki, mint amikor kedvezőtlen feltételek voltak jelen. Ezért irányult a kutatómunka következő szakasza a városi hősziget időbeli járására ható tényezők sajátosságainak megismerésére és számszerűsítésére.

4.2. A belvárosi hősziget intenzitásának átlagos napi járása Beregszászban különböző felhőzettségi viszonyok között

A hősziget intenzitás egyik fő tényezője a felhőzettség (Unger, 2010), amelynek a hatását Beregszász esetében is jól tükrözi a derült és a felhős napok átlagos hősziget intenzitása napi járásának az összevetése (9. ábra). A görbék hasonló alakúak, de a derült időszakokban erőteljesebben jelentkezett mind az éjszakai belvárosi hőtöbblet, mind a nappali hőhiány. Felhőtlen éjszakákon a sűrűn beépített belváros hőmérséklete majdnem 2 °C-kal meghaladta a külterületét, míg borús időben a hőtöbblet átlagosan csak 0,5 °C körül volt. Nap közben viszont az épületek árnyékoló hatása következtében fellépő hőhiány a város központi részében derűs időben a délutáni órákban több mint 1 °C volt, szemben a borús napokkal, amikor a 0,5 °C-ot is alig lépte át.



9. ábra. A belvárosi hősziget intenzitásának átlagos napi járása Beregszászban különböző felhőzettségi viszonyok között 2012-ben. A piros vonal a 0–5-ös átlagos felhőborítottságú napok átlagát jelölik, a kék vonal az 5,1–10-esekét.

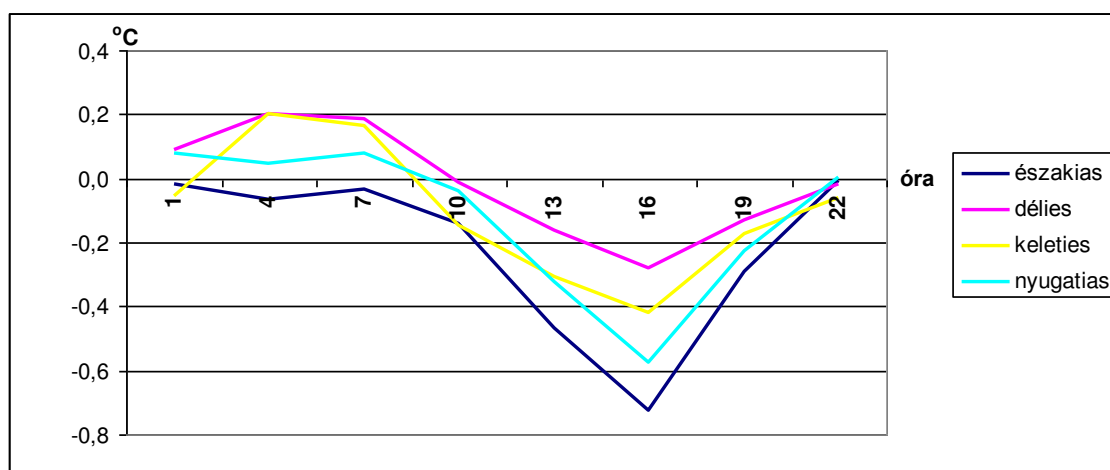
4.3. A belvárosi hősziget intenzitásának átlagos napi járása Beregszászban különböző szélirányok között

Az automata városklíma állomás nem csak hőmérsékletet mért párhuzamosan a meteorológiai állomással, hanem többek között szélirányt is. Így mind a két állomás adatai alapján vizsgálhattuk meg a szélirány hatását a hőszigetre. Mindkét állomás adatai egybehangzóan azt mutatták, hogy leginkább az É-, ÉNy- és a D-, DK-i irányú szelek

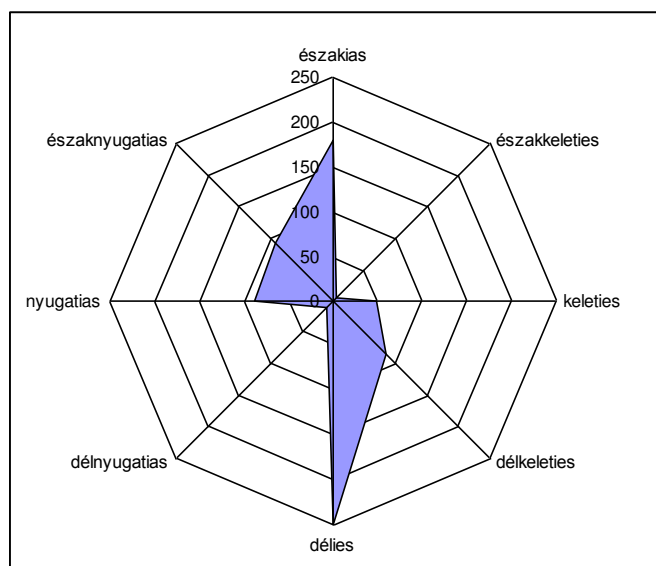
befolyásolták a legjobban a városi hősziget alakulását. Ez annak volt köszönhető, hogy az év folyamán ezek az irányok fordultak elő a legnagyobb számban (11., 13. ábra).

Az É-, ÉNy-i szelek gátolták a legjobban a hősziget kialakulását, mivel az ebből az irányból érkező szél áthaladva a városon és központján először a főiskola felett halad át aztán ér a város peremén lévő meteorológiai állomáshoz. Így haladva a szél a főiskola felett kialakult hőtöbbséget elmosza és gátolja a hősziget kialakulását, viszont a szél hűtő hatása miatt hőhiány is kialakulhat a külterülethez képest (10., 12. ábra). Ennek a folyamatnak köszönhetően markánsabb délutáni hőhiány alakul ki.

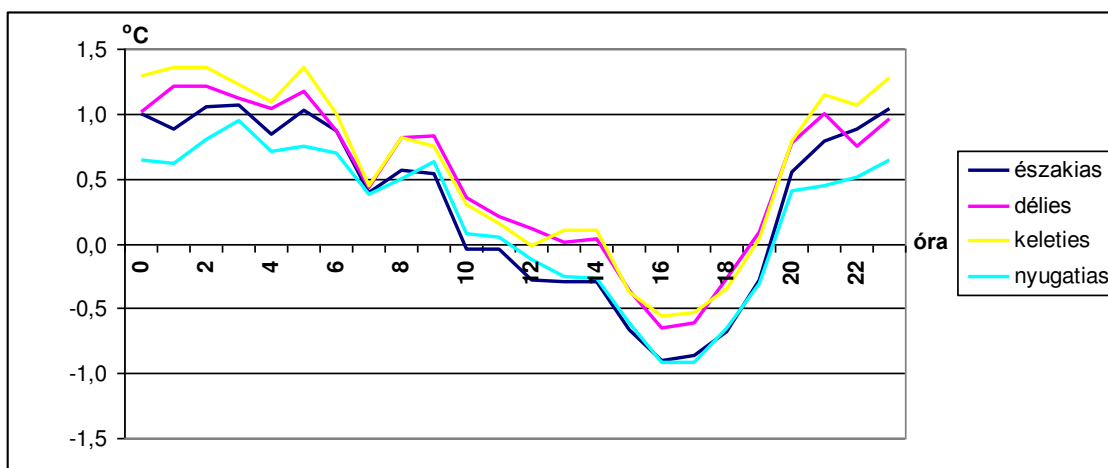
A D-, DK-i szeleknél viszont az előzőtől ellentétes folyamat játszódik le, mivel a déli, délkeleti szelek először a városszéli meteorológiai állomás feletti légtéren halad át csökkentve a hőmérsékletet és aztán ér a városközpont felé, ahol szintén gátolja az éjjeli hősziget kialakulását, de hűvösebb külterületnek és kisebb éjszakai szélereősségnek köszönhetően (16. ábra) kialakul némi hőtöbbség. Nappal viszont a város peremén a felmelegedés üteme lelassul, ezért csökken a város felett kialakult hőveszteség mértéke.



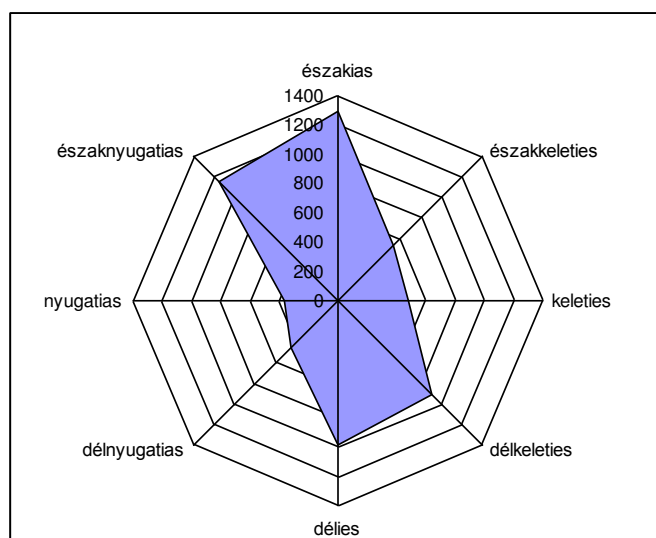
10. ábra. A városi hősziget átlagos napi járásának alakulása a meteorológiai állomás által mért különböző szélirányok figyelembe vételével 2012-ben.



11. ábra. A szélirányok eloszlása a meteorológiai állomás adatai alapján 2012-ben.



12. ábra. A városi hősziget átlagos napi járásának alakulása az automata meteorológiai állomás által mért különböző szélirányok figyelembe vételével 2012-ben.



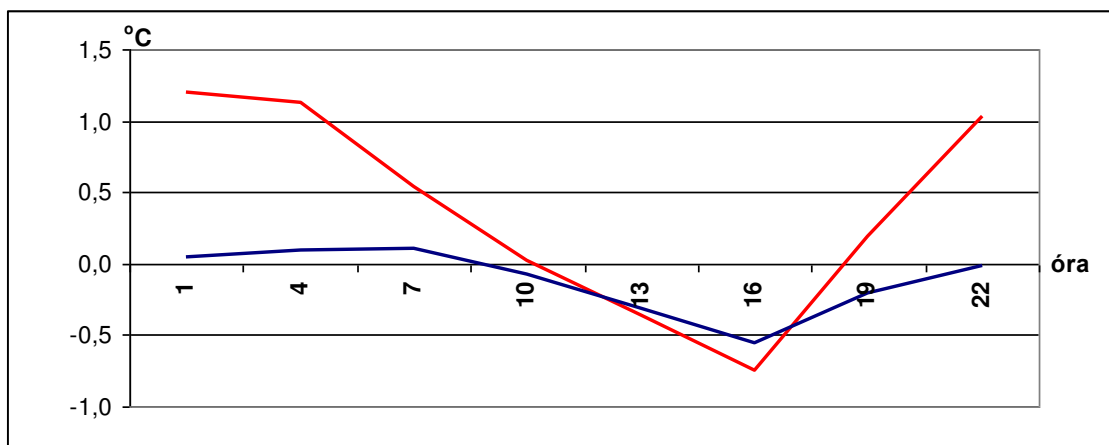
13. ábra. A szélirányok eloszlása az automata meteorológiai állomás adatai alapján 2012-ben.

4.4. A belvárosi hősziget intenzitásának átlagos napi járása Beregszászban különböző szélerősségek között

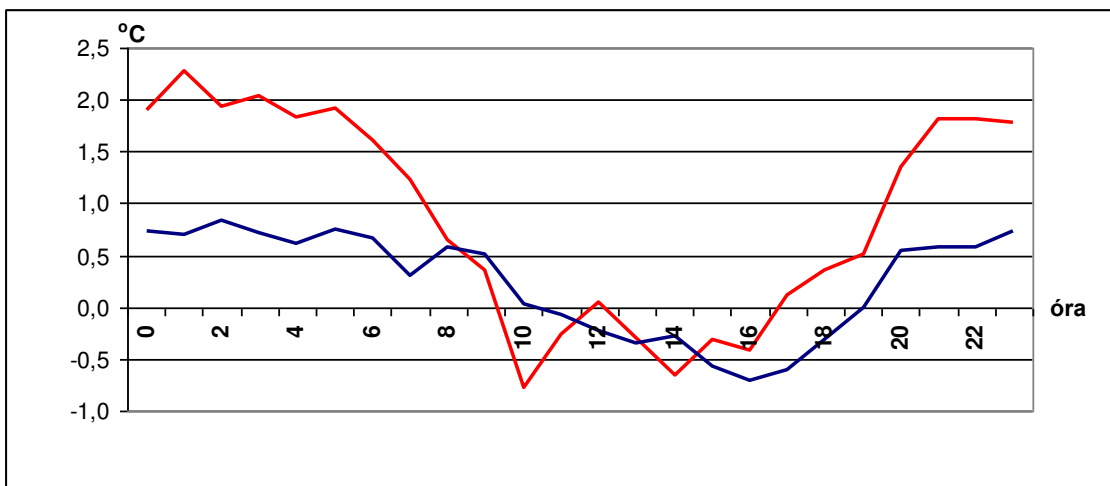
Közismert a szélviszonyok hatása a hősziget kifejlődésére, hisz a fokozott hőcserével járó vízszintes légmozgások gátolják a belvárosi hőtöbblet kialakulását. Kárpátalja síkvidéke nem tartozik a szeles régiók közé. Méréseink ezt alátámasztották, és arra is felhívták a figyelmet, hogy az alacsony szélesebességek döntően az éjjeli órákban jelennek meg (16. ábra). A szélirány és a szélerősség közül a szélerősség befolyásolja a legjobban a városi hősziget kialakulását.

Mindkét állomás adatai alapján elmondható, hogy a szélerősség hatása leginkább éjszaka jelentkezett. A meteorológiai állomás adatai alapján a szélcsendes és a szeles napok átlagértékeit hasonlítottuk össze (14. ábra). Az éjszakai hőtöbblet tekintetében jelentős a különbség a két görbe között. Ezek az adatok alapján a szél megjelenése majdnem teljesen megszünteti az éjszakai hőtöbbletet. Viszont nappali hőhiány tekintetében nem jelentkezik jelentős különbség.

Mivel a belvárosi automata városklíma állomás szélesebesség értékei tizedes pontosságúak, ezért ebben az esetben közel szélcsendes (kisebb, mint 0,5 m/s) és szeles napok (nagyobb vagy egyenlő 0,5 m/s) átlagértékeit hasonlítottuk össze (15. ábra). A 0,5 m/s-os és az azt meghaladó átlagos napi szélesebesség az éjszakai hőszigetet 0,6–0,7 °C körülre mérsékelte, szemben a közel szélcsendes éjszakák 1,5–2 °C-ot meghaladó értékeivel.



14. ábra. A belvárosi hősziget intenzitásának átlagos napi járása Beregszászban a meteorológiai állomás által detektált különböző szélviszonyok között 2012-ben. A piros vonal a szélcsendes napok átlagértékeit jelölik, a kék vonal a szeles napok megfelelőit.



15. ábra. A belvárosi hősziget intenzitásának átlagos napi járása Beregszászban a városklíma állomás által detektált különböző szélereősségek között 2012-ben. A piros vonal a 0,5 m/s-nál kisebb közepes szélebeességű napok átlagértékeit jelölik, a kék vonal a 0,5 m/s-os és annál nagyobb szélebeességű napok megfelelelőit.



16. ábra. A szélebeességék átlagos napi járása Beregszászban a városklíma állomás által detektált adatok alapján 2012-ben.

4.5. A városi hősziget empirikus modellezése Beregszász példáján

A módszereknél leírtaknak megfelelően a városi hősziget intenzitás és az időjárási hatótényezők közötti összefüggést többszörös lineáris regressziós egyenlettel közelítettük. Az egyenletbe elsődlegesen beépített tényezők közül a főiskola udvarán mért hőmérsékletet és a tetőszinti rövidhullámú sugárzást eltávolítottuk, mivel a parciális korrelációs együtthatójuk nem haladta meg a 0,05-öt, tehát jelentéktelen a hozzájárulása a hősziget varianciájának a magyarázatához. E szerint az adott tényezők erős korrelációja a hősziget intenzitásával csak

annak köszönhető, hogy markánsan korrelálnak a többivel, amelyek a hőtöbbletet erőteljesebben befolyásolják.

A továbbiakban a regressziós modellbe beépített változók (csapadékintenzitás, felhőzöttség, szélesebség, rövidhullámú besugárzás, a tetőszinten mért és az automata meteorológiai állomás mellett mért rövidhullámú sugárzások különbsége, valamint a teljes spektrumú sugárzási egyenleg) némelyikét új, transzformált változókkal váltottuk fel, amelyek a hősziget erősségével szorosabb lineáris kapcsolatot mutatnak (a korrelációs együtttható magasabb abszolút értéke alapján). Így, a felhőzöttség 10-es skálán megadott értékét az ún. égbolttisztasági mutatóra ($\acute{E}M$) cseréltük:

$$\acute{E}M = 1/(F + 1),$$

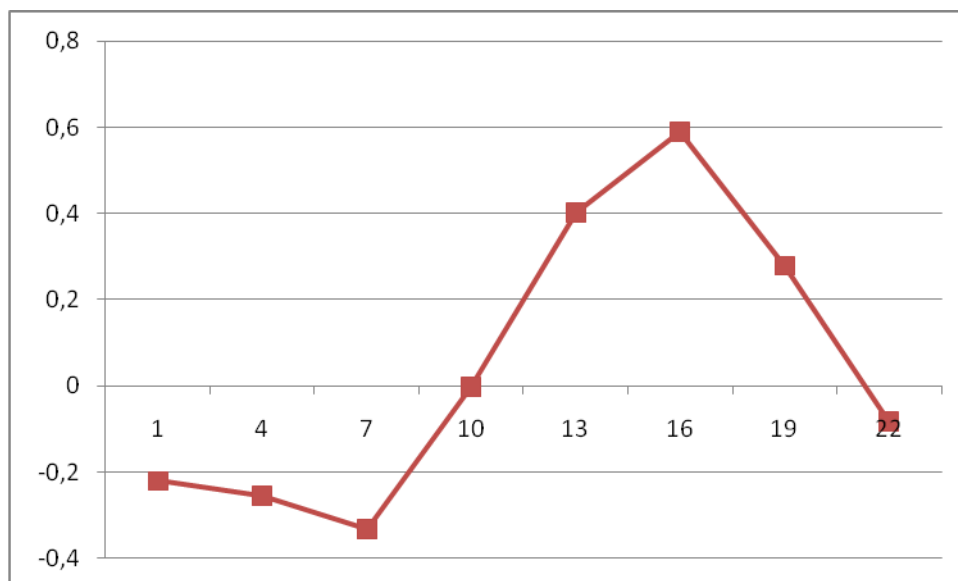
ahol F – a felhőzöttség értéke a 10-es skálán. A szélesebség tényleges átlagértékei helyett pedig annak tízes alapú logaritmusát alkalmaztuk.

Összességében, a Beregszász központjában kialakuló hősziget nagysága az időjárási viszonyok függvényében az alábbi képlettel számítható:

$$BHI = 0,384 - 0,178CSI + 1,274\acute{E}M - 1,019SZ + 0,001L - 0,002FL + 0,014SE,$$

ahol CSI – a csapadék intenzitása mm/h-ban; $\acute{E}M$ – az égbolttisztasági mutató 0,09–1 terjedő skálán; SZ – az átlagos szélesebség értékek tízes alapú logaritmusa; L – rövidhullámú besugárzás az automata állomás szintjén; FL – a tetőszinten mért és az állomás szintjén mért rövidhullámú sugárzás különbsége; SE – teljes spektrumú sugárzási egyenleg.

A modell által számított hőszigetek és a mért hőszigetek közötti eltérések szórása 0,6 °C. A becsült és a mért hősziget eltérése átlagos napi járásának grafikonja azt mutatja, hogy az empirikus modell a nappali értékeket valamelyest felülbecsli, míg az éjjeli hőtöbbletet átlagban alábecsli (17. ábra). A legnagyobb túlbecslés a közép-európai zónaidő szerinti 16 órás értékekre adódott (0,6 °C), míg a legnagyobb alábecslés a reggel 7 óráskora (mindössze 0,3 °C).



17. ábra. A becsült és a mért hősziget intenzitás közötti eltérés átlagos napi járása Beregszászban 2012-ben (vízszintes tengely – órák MEZ szerint, függőleges tengely – °C).

Összegezve a leírtakat, a kiválasztott hatótényezők bevonásával felállított többváltozós lineáris regressziós modell jól jellemzi a hősziget-intenzitás mérőponti eltéréseit Beregszászban. Azonban a modell tovább tökéletesíthető, amire – reményeink szerint – nemlineáris irányú próbálkozások, illetve újabb hatótényezők bevitele adhat módot. A nemlineáris modellépítés célszerűségét sugallhatják a vizsgált hatótényezők normalitásvizsgálatának az eredményei is: a Kolmogorov–Szmirnov-próba minden hatótényező esetén szignifikáns eltérést mutatott a normális eloszlástól.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt században rendkívül felgyorsult a városban lakók számának növekedése és ezzel együtt a városok mérete is nőtt. Különösen igaz ez a világ fejlett területeire (pl. Európa). A nagyobb lélekszámú települések légterében egy speciális éghajlat – az ún. városklíma – alakul ki, melynek legmarkánsabb megjelenési formája a városi hősziget. A hősziget jellemzésére a hősziget-intenzitást használjuk, ami a város belső területén és a külső környezetben mért hőmérsékletek különbsége. Ez a hatás már kisebb települések esetén is kimutatható, a nagy városoknál pedig igen jelentős mértékűvé válik.

Az urbanizációs folyamat gyorsulása azt eredményezi, hogy egyre több embert érintenek közvetlenül a városok okozta időjárási és éghajlati módosulások, így a városklíma kutatásoknak a jövőben is fontos szerepe lesz. Ezek fontos részét képezi a települések hőmérsékleti eloszlásának minél pontosabb becslése, sőt előrejelzése. Ebbe a kutatási irányzatba illeszkedik a munkánk is, melynek célja, hogy feltárjuk a beregszászi városi hősziget időbeli járása és a rá ható időjárási tényezők jellemzőit.

A hőmérsékleti adatokat és az időjárási hatótényezők adatait a belvárosba telepített városklíma állomás és a Beregszász peremén működő meteorológiai állomás szolgáltatta. A belvárosi hőmérsékleti adatokból kivonva a meteorológiai állomás adatait kaptuk meg a városi hősziget értékét. Az időjárási hatótényezők közül a felhőzet, a szél, a csapadék és a sugárzási viszonyok hatását vettük figyelembe.

A beregszászi belvárosi hősziget hatótényezőinek alábbi sajátosságai kerültek felszínre:

- A felhőzet jelentősen mérsékelte a belvárosi léghőmérséklet mind nappali, mind éjszakai kilengését.
- A szélerősség hatása inkább csak éjszaka jelentkezett.
- A D-i, DK-i irányú szelek kevésbé gyengítették a városi hősziget kifejlődését, mint az É-i és ÉNy-i irányúak.
- A hősziget intenzitását becsülő lineáris regressziós modellbe az azzal szignifikáns korrelációt mutató időjárási tényezők, nevezetesen az égbolttisztasági mutató, a csapadékontenzitás, a szélsébség és a sugárzási viszonyok mutatói lettek bevonva.
- A modell a nappali időszak hősziget intenzitására felülbecslést, míg az éjjelire átlagban alulbecslést ad.

SUMMARY

Over the last century extremely accelerated the growth of the number of city dwellers and together with this, the size of the cities also increased. This is especially true in the developed areas of the world (e.g. Europe).

In the atmosphere of the greater population centers a special climate – called urban climate – occurs, whose most prominent manifestation is the urban heat island (UHI). For the characterization of UHI the heat island intensity is used, what is measured by the difference between the temperature of the inner and outer area of the city. This effect is also detectable in case of smaller settlements, in case of large cities it becomes very significant.

The acceleration of urbanization results that more and more people are affected directly by the changing of weather and climate in the cities, so the urban climate research will play an important role in the future. This is an important part of the more accurate estimation of temperature distribution of settlements and even the forecasting. Into this research direction fits our work, which aims to explore the characteristics of temporal changing of urban heat island and the effecting weather conditions in the city of Beregszász.

The temperature data and the weather conditions data are provided by the automatic urban weather station installed in the city center and the synoptic meteorological station operating at the edge of Beregszász. We get the value of urban heat island by subtracting the data of meteorological station from the data of inner city temperature. From the meteorological factors the cloud cover, the wind speed, the precipitation and radiation are taken into account.

The following characteristics of the UHI in Beregszász and its impact factors were discovered:

- The cloud cover significantly mitigated the fluctuation of inner city's air temperature both day and night.
- The effect of wind speed occurred rather at night.
- The winds with the direction of S and SE have weakened less the development of urban heat island as the winds with the direction of N and NW.
- In the linear regression model of the UHI intensity had been involved the weather factors, which show significant correlation with them, namely, the sky cleanliness index, the precipitation intensity and the indicators of the wind speed and the radiation conditions.

- The model gives overestimation for the urban heat island at day period, while on average it gives underestimation at night time.

Köszönetnyilvánítás

A szerző megköszöni az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékének és személyesen dr. Weidinger Tamás egyetemi docensnek, hogy rendelkezésünkre bocsátotta a mérésekhez használt automatikus városklíma állomást, Fedinisinec Erzsébetnek, a Beregszászi Meteorológiai Állomás vezetőjének, hogy az állomás párhuzamosan mért adataihoz való hozzáférést lehetővé tette, valamint Hadnagy Istvánnak, a II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola Biológia és Kémia Tanszéke munkatársának a mérésekben való hathatós közreműködést.

Irodalomjegyzék

1. ARNFIELD, A.J., GRIMMOND, C.S.B.: *An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling*. Energy Build 27, 1998, pp. 61–68.
2. BARANYI B.: *Kárpátalja*. Dialóg Campus Kiadó, Pécs- Budapest, 2009.
3. BARLOW, J.F., BELCHER, S.E.: *A wind tunnel model for quantifying fluxes in the urban boundary layer*. Bound-Lay Meteorol 104, 2002, pp. 131–150.
4. BARTHOLY J.: *A városi hősziget*. A városi hősziget probléma új módszertani közelítései, 2008.
5. BEJARAÍN R.A. AND CAMILLONI I.A.: *Objective method for classifying air masses: an application to the analysis of Buenos Aires (Argentina) urban heat island intensity*. In: *Theoretical and Applied Climatology*. Ausztria, 2003, 93–103 old.
6. *Beregszász katonai térképen*, 2013.
Interneten: www.allenmaci.tvn.hu
7. *Beregszászról*, 2013.
Interneten: www.beregszasz.bereg.net.ua
8. BOTTYÁN ZS.: *A városi hősziget, mint a települések lokális klímájának markáns sajátossága*. Hadmérnök, 2009, 4. évf. 2. szám.
9. CHEN J., LI Q., NIU J., SUN L.: *Regional climate change and local urbanization effects on weather variables in Southeast China*. In: *Stoch Environ Res Risk Assess*. 2011, 555–565 old.
10. DEZSŐ ZS., BARTHOLY J., PONGRÁCZ R.: *A városi hősziget műholdas vizsgálata*. Természet Világa, 2010.
11. DOUSSET B., GOURMELON F.: *Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover*. ISPRS J Photogramm Rem Sens 58, 2003, pp. 43–54.
12. EZEKIEL, M., FOX, K. A.: *Korreláció- és regresszió-analízis. Lineáris és nem-lineáris módszerek* – Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Bp., 1970, 594 p.
13. GEDZELMAN S.D., AUSTIN S., CERMAK R., STEFANO N., PARTRIDGE S., QUESENBERRY S., AND ROBINSON D.A.: *Mesoscale aspects of the Urban Heat Island around New York City*. In: *Theoretical and Applied Climatology*. Ausztria, 2003, 29–42 old.
14. *Kárpátaljai Megyei Statisztikai Főhivatal*, 2013.
Interneten: uz.ukrstat.gov.ua
15. KIM Y.-H. AND BAIK J.-J.: *Daily maximum urban heat island intensity in large cities of Korea*. In: *Theoretical and Applied Climatology*. Ausztria, 2004, 151–164 old.

16. LELOVICS E.: *A hazai városi hősziget hatás összehasonlító elemzése földfelszíni és műholdas mérések felhasználásával.* Eötvös Loránd Tudományegyetem Környezettudományi Centrum, Szakdolgozat, 2010.
17. LELOVICS E., PONGRÁCZ R., BARTHOLY J., DEZSŐ ZS.: *Budapesti városi hősziget elemzése: műholdas és felszíni mérések összehasonlítása.* Légkör. 56. évf., 2011, pp. 55–59.
18. MIHALAKAKOU G., SANTAMOURIS M., PAPANIKOLAOU N., CARTALIS C., TSANGRASSOULIS A.: *Simulation of the Urban Heat Island Phenomenon in Mediterranean Climates.* In: *Pure and Applied Geophysics.* Basel, 2004, 429–451 old.
19. MOLNÁR J., KAKAS M., MARGUCA V.: *A beregszászi hősziget intenzitásának és térbeli szerkezetének vizsgálata.* In: *Táj, környezet és társadalom.* Szeged, 2006, pp. 509–518.
20. OKE, T.R., MAXWELL, G.B.: *Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver.* Atmos Environ 9, 1975, pp. 191–200.
21. OLÁH A.B.: *A városi beépítettség és a felszíntípusok hatása a kisugárzási hőmérsékletre.* Doktori értekezés, Budapest, 2012.
22. OLÁH V.: *A városi hősziget.* Klímaváltozás, 2011.
23. SOÓS NÉ DEZSŐ Zs.: *A magyarországi és közép-európai nagyvárosokban kialakuló városi hősziget vizsgálata finom felbontású műholdképek alapján.* Doktori értekezési tézisek, Budapest, 2009.
24. SÜMEGHY Z.: *A szegedi városi hősziget területi és időbeli eloszlásának térképezése és elemzése.* Doktori értekezés, Szeged, 2004.
25. SZEGEDI S., BAROS Z.: *A hősziget kifejlődése és a település méret közötti kapcsolatok vizsgálata hajdúsági településeken.* In: *Táj, környezet és társadalom.* Szeged, 2006, pp. 657-665.
26. SZEGEDI S., KIRCSI A.: *A városi hősziget kialakulása és térszerkezete különböző időjárási helyzetekben,* 2012.
Interneten: geography.hu/mfk2004/mfk2004/cikkek/szegedi_kircsi.pdf
27. SZEGEDI S., MAKAINÉ GYARMATI R., KAPOCSKA L., BÍRÓNÉ KIRCSI A.: *A városi hősziget kialakulására ható meteorológiai tényezők vizsgálata Debrecenben és a környező településeken.* Városklíma munkaértekezlet, Budapest, 2011.
28. TAN J., ZHENG Y., TANG X., GUO C., LI L., SONG G., ZHEN X., YUAN D., KALKSTEIN A.J., LI F., CHEN H.: *The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai.* In: *Int J Biometeorol.* 2010, 75–84 old.
29. TASNÁDI ILDIKÓ: *Gyakorlati útmutató az SPSS statisztikai program használatához*
Interneten: <http://users.nik.uni-obuda.hu/Farkas/SPSS/SPSS%20jegyzet.html>

30. UNGER J.: *A városi hősziget-jelenség néhány aspektusa*. MTA Doktori értekezés, Szeged, 2010.
31. UNGER J., GÁL T., BALÁZS B., SÜMEGHY Z.: *A városi felszíngeometria és a hőmérséklet területi eloszlása közötti kapcsolat Szegeden*. In: *Táj, környezet és társadalom*. Szeged, 2006, pp. 735–746.
32. VÉRTESI Á. É.: *Budapesti városi hősziget-hatásának modellezési lehetőségei*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Szakdolgozat, Budapest, 2011.
33. VINCE T., SZABÓ GY.: *Beregszász légszennyezettségének jellemzése a falevelekre rakódott por vizsgálata alapján*.
Interneten: http://geo.uszeged.hu/web/sites/default/files/14Kiadvanyok/egyeb/11_Vincze_Timea.pdf
34. ZASZTAVECKA et al. (ЗАСТАВЕЦЬКА О. В. (та ін.)): *Географія Закарпатської області. Підручники & посібники*. Тернопіль, 1996.
35. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Kolmogorov%E2%80%93Szmirnov-pr%C3%B3ba>
36. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Korrel%C3%A1ci%C3%B3>
37. csomalin.elte.hu/~mop/cucc/SPSS/alap/SPSS%20leírás.doc