

Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék

**A TERMIKUS KOMFORTVISZONYOK TÉRBELI
MINTÁZATÁNAK ELEMZÉSE ÉS KAPCSOLATA
A KÖZTERÜLET-HASZNÁLATTAL
SZEGED BELVÁROSÁBAN**

Országos Tudományos Diákköri Dolgozat

Takács Ágnes
SZTE, TTIK / Geográfus MSc

Témavezető:
Dr. Gulyás Ágnes
SZTE, TTIK/Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék
Dr. Kántor Noémi
SZTE, TTIK/Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék

Szeged
2012

Tartalomjegyzék

Tartalmi összefoglaló	2
A dolgozatban előforduló legfontosabb rövidítések jegyzéke	3
1. Bevezetés	4
2. Humán bioklimatológia	6
2.1. Az emberi szervezetre ható légköri viszonyok	6
2.2. A termikus viszonyok által előidézett hőérzet, komfort és stressz	7
2.3. Az élő szervezet hőszabályozó folyamatai	8
2.4. A test energiaegyenlege és a termikus komfort állapota	11
2.5. Humán bioklimatológiai mérőszámok	13
2.5.1. T _{mrt} (Mean Radiant Temperature, átlagos sugárzási hőmérséklet)	13
2.5.2. Termikus komfortindexek	15
2.5.3. PET (Physiologically Equivalent Temperature, fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet)	16
3. A vizsgált terület és az alkalmazott módszerek	18
3.1. Szeged és a mintaterület bemutatása	18
3.2. A vizsgálati módszerek bemutatása	19
3.2.1. A hőstressz-térképek elkészítése	20
3.2.2. Helyszíni mikrometeorológiai mérések	23
3.2.3. Területhasználati adatok feldolgozása	24
4. A vizsgálati eredmények bemutatása, elemzése	25
4.1. A Kárász–Klauzál mintaterület termikus viszonyainak jellemzése	25
4.1.1. A kiválasztott napok meteorológiai háttere	25
4.1.2. A mintaterületen mért mikrometeorológiai paraméterek	26
4.1.3. A Kárász–Klauzál mintaterületre vonatkozó hőstressz-térképek	28
4.2. Validálás: a mért és a modellezett mérőszámok összevetése	35
4.3. Területhasználat	37
5. Eredmények összefoglalása, következtetések	39
Köszönetnyilvánítás	41
Irodalomjegyzék	42

Tartalmi összefoglaló

Míg Földünk népessége az 1950-es évek elejéhez képest 2020-ra közel 3-szorosára, addig a városi lakosság részaránya várhatóan 6-7-szeresére emelkedik. A városiasodás a természeti környezet nagymértékű átalakításával jár, amely a természeteshez képest jóval terhelőbb városi légtérben is megmutatkozik. Míg a városklimatológia a klímaparaméterek városi módosulásaival foglalkozik, addig a városi-bioklimatológia ezeknek az emberi szervezetre kifejtett hatásait vizsgálja, különös tekintettel az emberi egészségre és komfortérzetre. A város-bioklimatológiai vizsgálatok egyik recens irányvonala a különböző városi közterületeken kialakuló termikus viszonyokkal foglalkozik. Ennek megfelelően dolgozatomban Szeged leghíresebb sétálóutcájának és közvetlen környezetének termikus viszonyait elemzem, egyrészt térbeli vonatkozásban, hőstressz-térképek segítségével, másrészt időben, helyszíni mérések adatsorait felhasználva. A hőstressz-térképek elkészítéséhez a mintaterületre 5 m-es rácsközü térhálót fektettem, s a rácspontokra meghatároztam egy humán bioklimatológiai mérőszám, a fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET index) értékeit. A szükséges meteorológiai adatok a Szeged belvárosában elhelyezkedő OMSZ klímaállomásról származnak, melyekből a RayMan számítógépes szoftver segítségével számoltam ki a tér különböző pontjaira jellemző PET értékeket. Az így nyert adatbázisból a Surfer számítógépes programmal izovonalas hőstressz-térképeket készítettem meghatározott időpontokra. Dolgozatomban 2011 4 napjának (8. 22., 9. 13., 10. 4. és 10. 18.) két időpontra vonatkozó (14:00, 17:00) hőstressz-térképeit mutatom be, majd vetem össze helyszíni mikroklimatológiai mérések adatsoraival. Végül a kiválasztott napok területhasználatát mutatom be. A kapott eredmények megmutatják, hogy a mintaterület egyes részei milyen termofiziológiai terhelést rónak az emberi szervezetre az eltérő meteorológiai háttérrel jellemezhető napok különböző időpontjaiban, s hogy ez miképp jelentkezik a terület látogatottsági mintázatában. A globális éghajlatváltozás magyarországi vonatkozásait tekintve fel kell készülnünk a gyakoribb és intenzívebb hőhullámokra, melyek káros hatásai városi környezetben mérsékelhetőek a megfelelő területrendezéssel. Egy „klímabarát” település tervezési munkálatainál a humán komfort vizsgálatok eredményei értékes alapadatul szolgálhatnak, segítségükkel élhetőbb, a klímaváltozás okozta következményeknek megfelelő városi közterek tervezhetők.

A dolgozatban előforduló legfontosabb rövidítések jegyzéke

Energiaegyenleg paraméterei:	
ΔQ_s	emberi test hőtárolásának megváltozása [W]
M	metabolikus hőtermelés [W]
W	külső munka [W]
Q^*	nettó sugárzási mérleg [W]
I	direkt napsugárzás [W]
D	szórt, illetve szóródva visszaverődött napsugárzás [W]
E	környezet (környező tereptárgyak + légkör) hosszuhullámú sugárzása [W]
B	az emberi test által kibocsátott hosszuhullámú sugárzás [W]
Q_c	testfelszínről történő érzékelhető hőáramlás [W]
Q_D	vízpára-diffúzió révén bekövetkező bőrfelszíni látens hőáramlás [W]
Q_{sw}	verejték elpárologtatását kísérő bőrfelszíni látens hőáramlás [W]
Q_{re}	légzéshez köthető érzékelhető és látens hőáramlás [W]
Klimatikus paraméterek:	
T_a	léghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
v	szélsebesség [m/s]
VP	vízgőznyomás [hPa]
RH	relatív nedvesség [%]
G	globálsugárzás [W/m^2]
K_i	rövidhullámú sugárzási fluxusok [W/m^2]
L_i	hosszuhullámú sugárzási fluxusok [W/m^2]
Humán bioklimatológiai mérőszámok:	
T_{mrt}	Mean Radiant Temperature átlagos sugárzási hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
PET	Physiologically Equivalent Temperature fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
Egyéb rövidítések:	
I_{cl}	ruházat hőszigetelő képessége [clo; ($\text{K}\cdot\text{m}^2$)/W]
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
MEMI	Munich Energy Balance Model for Individuals
OMSZ	Országos Meteorológiai Szolgálat
VK-1	árnyékban elhelyezett városklíma állomás
VK-2	napon elhelyezett városklíma állomás

1. Bevezetés

A XXI. századra a városok térhódítása, a városlakók számának növekedése, környezetünk nagymértékű átalakítása jellemző. A városi népesség aránya Európában és Amerikában mára meghaladja a 70%-ot (Rakonczi 2008). A sűrűn lakott urbanizált területekhez olyan jellegzetes városklíma-jelenségek kötődnek, mint például a városi hősziget. A külterülethez viszonyítva melegebb termikus viszonyok a természeteshez képest megváltozott városi felszín, valamint az antropogén folyamatok hatására alakulnak ki (Unger and Sümeghy 2002). Tovább súlyosbítja a helyzetet a városokban a beépített területek légáramlást fékező hatásából adódó csökkent átszellőzési képesség.

A városok melegebb mivolta káros hatással lehet az emberek egészségi állapotára a nyári évszakban a hőszabályozási rendszerükre rótt megnövekedett terhelés következtében. Különösen igaz ez hőhullámok idején, amikor a halálozási ráta megemelkedése várható. Az idős vagy egészségi problémákkal küzdő lakosok különösen veszélyeztetettek ebből a szempontból (WHO 2004). A termikus viszonyok vizsgálata azonban nem csupán a hőmérséklet városi módosulásainak tanulmányozását jelenti. Szervezetünk hőszabályozására ugyanis e paraméteren kívül három másik is befolyással bír: a légnedvesség, a szélesebbesség és a hőhatású sugárzás (Jendritzky 1993, Mayer 1993). A termikus tényezők bioklimatológiai szempontú vizsgálata ezért túlmutat az egyszerű klímaparaméterek értékeinek leírásán: a hangsúly azon van, miként befolyásolják ezek a paraméterek együttesen az emberi szervezetet. Ha a városklimatológiai kutatások során humán bioklimatikus elemzéseket alkalmazunk, fel tudjuk fedezni azokat a kritikus városi helyszíneket, illetve azokat a kritikus időszakokat, melyek az átlagosnál nagyobb hőterhelést rónak az emberekre. Ezen információkat felhasználva a várostervezés során, optimálisabb termikus viszonyokat nyújtó városi közterületek tervezhetők (Mayer et al. 2008).

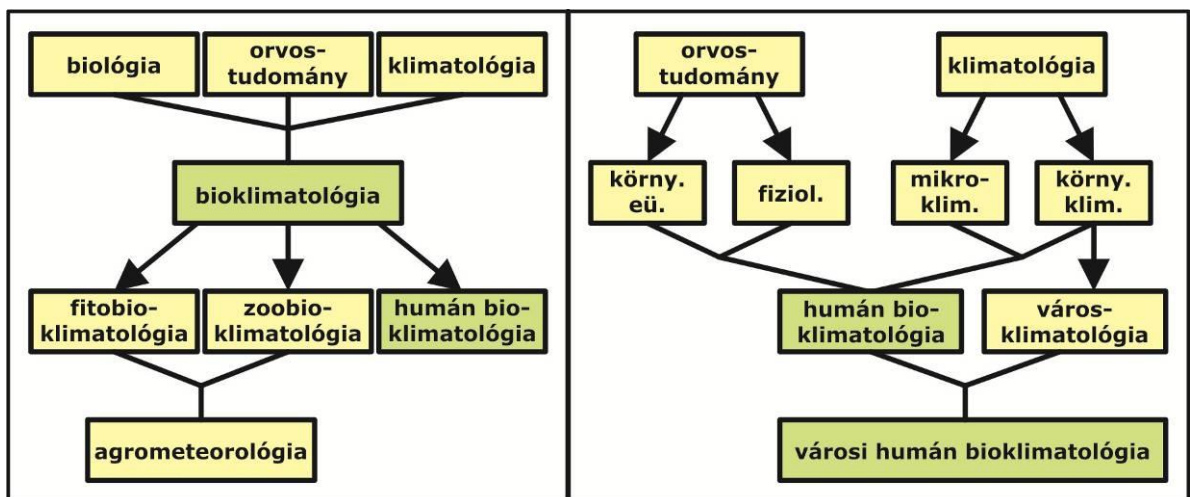
Dolgozatomban egyrészt arra törekedtem, hogy röviden bemutassak egy még új, de külföldön már eléggé elterjedt tudományágat, a humán bioklimatológiát, s ezen belül is a termikus viszonyokkal kapcsolatos kutatási területet. A dolgozatomban második részében egy szegedi belvárosi terület termikus viszonyait elemzem egy népszerű termikus komfortindex, a fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet segítségével.

Szegedi kutatásom célja egyrészt az volt, hogy térképeken szemléltessem a kialakuló hőstressz mintázatát egy népszerű közterületen, s kimutassam a választott terület „kritikus” pontjait. A térképeket modellezési eljárással készítettem, felhasználva

a terület felszíngeometriai adatait, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Szeged belvárosi állomásának adatsorát. Másik célom a kapott eredmények helyszíni mérésekkel történő összevetése, vagyis a modellezési eljárás validálása volt. A dolgozat harmadik célja a kiválasztott tér területhasználatának, illetve az oda látogató emberek viselkedési reakcióinak vizsgálata a termikus viszonyok tükrében. A kapott adatok hasznos információkat szolgáltathatnak a helyi klimatikus viszonyokat, illetőleg a klímaváltozás várható hatásait figyelembevevő várostervezés számára. Kevés pozitív példával egyelőre sajnos csak külföldön találkozhatunk, ahol az ilyen jellegű vizsgálatok eredményei szerves részét képezik a tervezéseknek (Mayer et al. 2008). Remélem, hogy dolgozatommal hozzájárulhatok a helyzet hazai megváltozásához.

2. Humán bioklimatológia

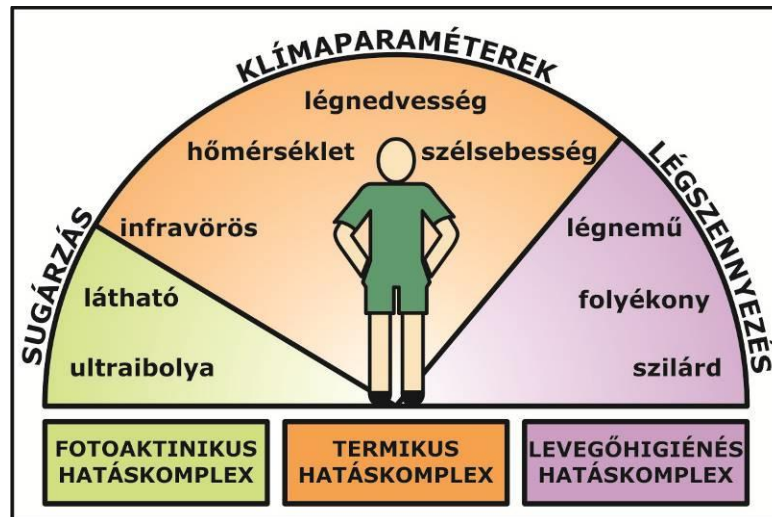
A **bioklimatológia** vagy biometeorológia a légköri környezet élő szervezetekre való hatását kutatja. Az alapján, hogy ez az élő szervezet növény, állat, vagy ember, elkülönítjük a fito-, zoo- és a humán bioklimatológiát (1. ábra; Höppe 1997). A **humán bioklimatológia** avagy a humán biometeorológia egy olyan tudomány, amely a klimatológia (ezen belül is a környezeti klimatológia és mikroklimatológia), a biológia, a fizika, a kémia, az orvostudomány, a pszichológia, az ergonómia stb. eszközeivel az ember és a légkör kölcsönhatását vizsgálja, az eredményeket pedig a gyakorlatban alkalmazza (Bártfai 1986). A légköri környezet hatásainak az emberi szervezet állandóan ki van téve, és vele szemben az élő szervezet az alapvető életfunkciókhoz szükséges egyensúlyát (homeosztázisát) igyekszik fenntartani (Jendritzky 1993).



1. ábra: A bioklimatológia hagyományos felosztása, valamint a humán bioklimatológia kapcsolata a legfontosabb határtudományokkal (Höppe 1997 alapján készítette Kántor 2012)

2.1. Az emberi szervezetre ható légköri viszonyok

A rendkívül összetett atmoszferikus környezet sokrétűen befolyásolja az emberi szervezetet. Ezeket a befolyásoló tényezőket a hatásuk jellege alapján csoportosíthatjuk, ún. hatáskomplexekbe sorolhatjuk (Jendritzky 1993). Erre azért van szükség, mert az egyes paraméterek nem egymástól függetlenül fejtik ki hatásukat az élő szervezetekre, hanem egymás hatását is befolyásolják: bizonyos folyamatok erősíthetik, mások gyengíthetik egymást. A humán bioklimatológia három nagy hatáskomplexet különít el az alapján, hogy a hatáskomplexekbe tartozó légköri tényezők együttesen milyen reakciókat idéznek elő; ezek a fotoaktinikus, a levegőhigiénés és a termikus hatáskomplexek (2. ábra).



2. ábra: Humán bioklimatikus hatáskomplexek (Jendritzky 1993 nyomán készítette Kántor 2012)

A **fotoaktinikus** hatáskomplex a Napból érkező sugárzásokon belül az ultraibolya (UV) sugárzással és a látható fénnel foglalkozik, ezek emberi szervezetre gyakorolt hatását vizsgálja. A látható tartomány felelős természetesen a látásért, míg az UV sugárzás a bőrben lejátszódó D-vitamin szintéziséért, de a bőrrák kialakulása szempontjából is fontos. A **levegőhigiénés** hatáskomplex a légköri szennyezőkkel foglalkozik, amelyek lehetnek szilárd (pl. korom, por), folyékony vagy gáz (kipufogógázok, freon stb.) halmazállapotúak, természetes és mesterséges eredetűek egyaránt. Legismertebb káros anyagok, melyek az ember egészségi állapotára hatással vannak a szén-dioxid, a kén-dioxid, a troposzférikus ózon s a porszennyezés. A **termikus** hatáskomplex a szervezet hőháztartására ható elemeket foglalja magában, melyek együttesen alakítják az ember hőérzetét. A környezeti tényezők közül ide tartozik a léghőmérséklet, a légnedvesség, a légmozgás és az infravörös (IR) sugárzás (Jendritzky 1993).

Napjaink városklimatológiai kutatásaiban a humán bioklimatológiai szempontú megközelítések egyre jelentősebbé válnak. Ez az új irányzat hozta létre a **városi humán bioklimatológiát** (1. ábra), mely az említett hatáskomplexek közül elsősorban a levegőhigiénésre és a termikusra fókuszál (Mayer 1993). A vizsgálataim a termikus hatáskomplexhez kapcsolódnak, ezért a következő alfejezetekben ezt fejtem ki bővebben.

2.2. A termikus viszonyok által előidézett hőérzet, komfort és stressz

Mind a beltéri, mind a szabadtéri (városi) humán bioklimatológiai vizsgálatok kiemelt fontosságú területének számít a termikus viszonyok leírása, az ennek

következtében kialakuló humán hőérzet, a hozzá kapcsolódó ún. termikus komfortérzet, illetve a szervezetből kiváltott fiziológiai stressz számszerűsítése (Mayer 1993). Az ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) által is alkalmazott standard, beltéri viszonyokra leggyakrabban alkalmazott **hőérzet-skála** 7 egymást követő kategóriát tartalmaz: hideg, hűvös, enyhén hűvös, semleges, enyhén meleg, meleg, forró (Fanger 1972). Ennek a pszicho-fizikai skálának a szabadtéri változata 9 fokozatú: nagyon hidegtől nagyon forróig terjed (Knez and Thorsson 2006).

A **termikus komfortérzet** egy olyan bonyolult fogalom, melynek definiálására számos kísérlet történt már. Az ASHRAE 55-ös szabványban a következőképp definiálták a kellemes hőérzetet: „A kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejez ki” (Bánhidi 1976). Legegyszerűbben tehát egy olyan tudatállapotként írható le, melyben az ember elégedett a termikus viszonyokkal, sem hidegebbre, sem melegebbre nem vágyik (Fanger 1972).

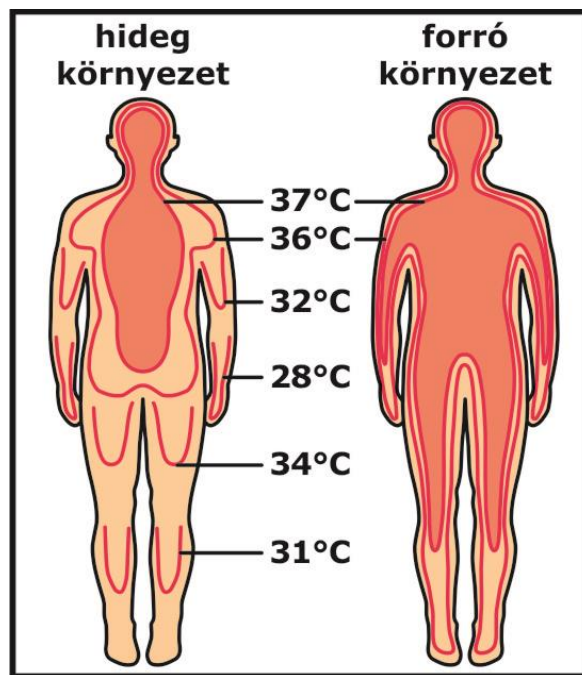
A hőérzet, illetve a termikus komfortérzet kialakulásában elsődleges szerepet játszik a léghőmérséklet (T_a), a szélesebbesség (v), a levegő nedvességtartalma (VP – vízgőznyomás vagy RH – relatív nedvesség), valamint a sugárzási környezet, amit az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) nevű humán bioklimatológiai mérőszámmal szoktak jellemezni (részletesebben lásd a 2.5.1. fejezetben). Bizonyos kutatások tovább pontosították a hőérzet meghatározását olyan tényezők bevonásával, mint például a vizsgált személy öltözete, aktivitása, neme, életkora, testsúlya és magassága. Az egyes tényezők hatásai egyénenként eltérőek, más és más szubjektív hőérzetet válthatnak ki. Ezért egyezményesen azt a termikus környezetet nevezzük komfortosnak, amelyet a megkérdezettek 80%-a kellemesnek tart (Fanger 1972, Bánhidi 1976).

A hőérzet, illetve az ezzel összefüggő komfortérzet és fiziológiai terhelés számszerűsítésére a szakértők különböző bioklimatológiai mérőszámokat hoztak létre. A modern mérőszámok alapja annak modellezése, hogy az emberi szervezet milyen **fiziológiai válaszokat** ad a termikus viszonyokra. A következő fejezet ezeket az élettani reakciókat tekinti át.

2.3. Az élő szervezet hőszabályozó folyamatai

A hőszabályozás az élőlények azon képessége, hogy testük belső, ún. **maghőmérsékletét** (T_c) a külső környezet változásai ellenére többé-kevésbé állandó

szinten tartják. T_c a létfontosságú belső szervek hőmérséklete, amely az állandó testhőmérsékletű (homeoterm) élőlényeknél a külső hőmérséklet változásának hatására is csak szűk határok között változik. A test perifériális részeinek (a bőr és a bőr alatti kötőszövetek, ún. testköpeny) hőmérséklete a maghőmérséklethez képest változékonyabb, és a hőleadás miatt általában alacsonyabb annál (WMO 1992). Optimális esetben az emberi test maghőmérséklete $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg a köpeny hőmérséklete általában kissé hűvösebb; a végtagok, a fül és orr bőrének hőmérséklete pedig elérheti a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot is (3. ábra; Höppe 1993).



3. ábra: A testköpeny és a testmag hőmérséklete hideg és meleg környezetben (Höppe 1993 nyomán készítette Kántor 2012)

Az állandó maghőmérséklet fenntartásának energetikai feltétele, hogy a szervezetben történő hőtermelési és a nettó hőleadási folyamatok kiegyenlítsék egymást (Fanger 1972). Utóbbi alatt a test és a környezete közt zajló hőcserefolyamatok összessége értendő: a környezetből történő hőfelvétel, illetve a környezetbe történő hőleadás. A hőátadás történhet érzékelhető és látens módon.

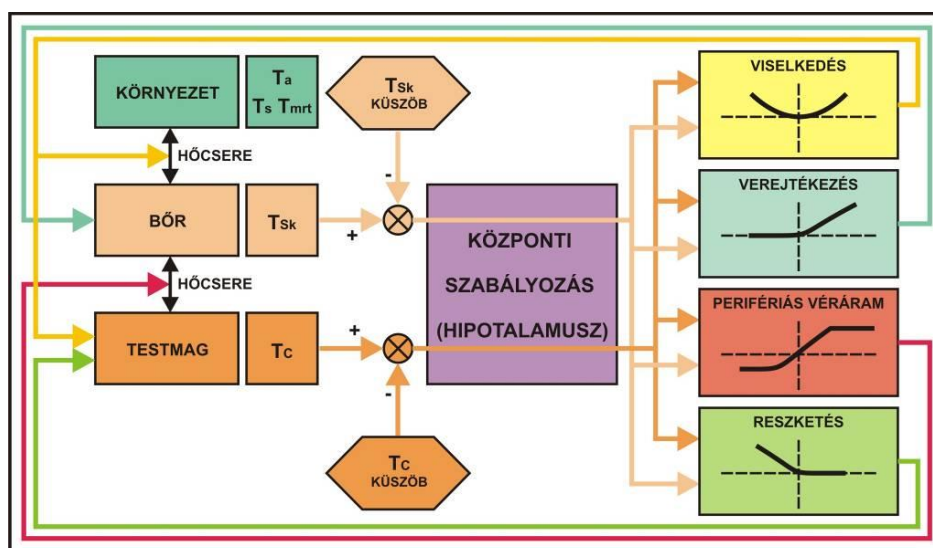
Az érzékelhető hőcserefolyamatokban az emberi test és a környezete között háromféle fizikai mechanizmust különböztetünk meg: **sugárzásos** (radiációs) hőcsere, **áramlásos** (konvektív) hőcsere és **vezetési** (konduktív) hőcsere. Mindhárom folyamatban jelentős szerepe van a testfelszínre jellemző hőmérséklet, vagyis a bőrhőmérséklet (T_{sk}), illetve a környezetet jellemző hőmérsékletek közti különbségnek. Hővezetés esetén annak a felszínnek a hőmérséklete (T_s) mérvadó, mellyel testünk

érintkezik, áramlásos hőcsere esetén a léghőmérséklet (T_a), sugárzásos hőcsere esetén pedig az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) a meghatározó. A test és a testet körülvevő környezet hőmérséklete közötti különbség előjele a hőátadás irányát, nagysága pedig a szállítódó hő mennyiségét határozza meg. Az áramlásos hőcserefolyamatok a légáramlás (v) fokozódásával egyre intenzívebbé válnak (Unger et al. 2012).

Az áramlásos hőcsere másik fontos módja a **párolgás** (evaporáció), amely nem érzékelhető, hanem látens hővesztést jelent. A párolgás erőssége függ a szabad bőrfelszín nagyságától, nedvességtartalmának (VP_{sk}) és a levegő páratartalmának (VP) különbségétől, valamint a légáramlás sebességétől (v) is (Unger et al. 2012).

Az állandó maghőmérséklet fenntartásában az idegrendszernek van a legfontosabb szerepe. Az agy hőszabályozó központja a hipotalamusz, mivel ez a régió hangolja össze a szervezet termoregulációs folyamatait. A termikus környezet változásait szervezetünk ingerként éli meg, mely hatására a bőrünkben lévő receptorok hibajeleket (hideg és meleg jelzéseket) küldenek a termoregulációs központba (Kis-Kovács 2008).

Végző soron tehát a testmag (T_c) és a bőr hőmérsékletének (T_{sk}) változása indukálja azokat a lehetséges fiziológiai folyamatokat, amelyek segítenek az optimális testhőmérséklet fenntartásában. A három legfontosabb termoregulációs folyamat a **perifériás vérkeringés szabályozása**, a **verejtékezés**, illetve az akarattól független izommozgás (**reszketés**), amely minden állandó testhőmérsékletű élőlény hőszabályozásának alapja. Az ember esetében mindez tudatos **viselkedési** tényezőkkel (pl. öltözködés, helyváltoztatás stb.) is kiegészül (4. ábra).



4. ábra: Az emberi szervezet hőszabályozásának sematikus ábrázolása (Kántor 2012)

Ha a bőrünkben lévő receptorok hideg jelzést érzékelnek, akkor a testmaghőmérséklet csökkenésének megakadályozására testünk fokozni kezdi a lebontó anyagcsere-folyamatokat. A szerves anyagokban lévő energia egy része a sejtek számára hasznosítható kémiai energiává alakul, a másik része pedig hő formájában felszabadul. A legtöbb hő a vázizmok működése közben képződik. További hideg jelzések érkezése révén testfelszínünk libabőrössé válik, valamint reszketni kezdünk. A libabőr úgy jön létre, hogy a szőrszálakhoz kapcsolódó, apró szőrmerevítő izmok összehúzódnak. Egy idő után a reszketés megszűnik, mivel az izmok elfáradnak (Unger et al. 2012).

Amennyiben a bőr receptorait meleg jelzés éri, akkor a testmag hőmérsékletének növekedését elkerülendő egy másik hőszabályozási folyamat indul be, a verejtékezés. Ez magas környezeti hőmérséklet esetén vagy fizikai munka hatására alakul ki. A verejtékmirigyek az általuk termelt váladékot a bőr felszínére ürítik, ennek elpárolgatásával pedig a test hőt ad le (Unger et al. 2012).

További szabályozó mechanizmus az ember akaratlagos viselkedése. Ide tartoznak azok a viselkedésformák, melyeket az ember azért tesz, hogy hőérzet szempontjából jobban érezze magát: például ha melege van, akkor elkezd legyezni magát, testhelyzetet vagy esetleg ruházatot változtat (Unger et al. 2012).

2.4. A test energiaegyenlege és a termikus komfort állapota

Az előzőekben említésre került hőszabályozó folyamatok mindegyikének célja, hogy az emberi test megtartsa a számára ideális maghőmérsékletet, amely az egészséges működés alapja. Az előző fejezet értelmében ennek energetikai feltétele, hogy a testen belül termelt energiamennyiséget (metabolikus energia) kiegyensúlyozza a környezetbe leadott nettó hőveszteség. Az alábbiakban a test energiaegyenlegének legfontosabb összetevőit ismertetem, melyeknek egységesen [W] a mértékegységük:

$$M + W + Q^* + Q_C + Q_{SW} + Q_D + Q_{RE} = \Delta Q_S \quad (1)$$

M = a szervezet metabolizmusa során előállított belső metabolikus hőmennyiség

W = külső fizikai munka hatására elvesztett energiamennyiség

Q* = nettó sugárzási mérleg

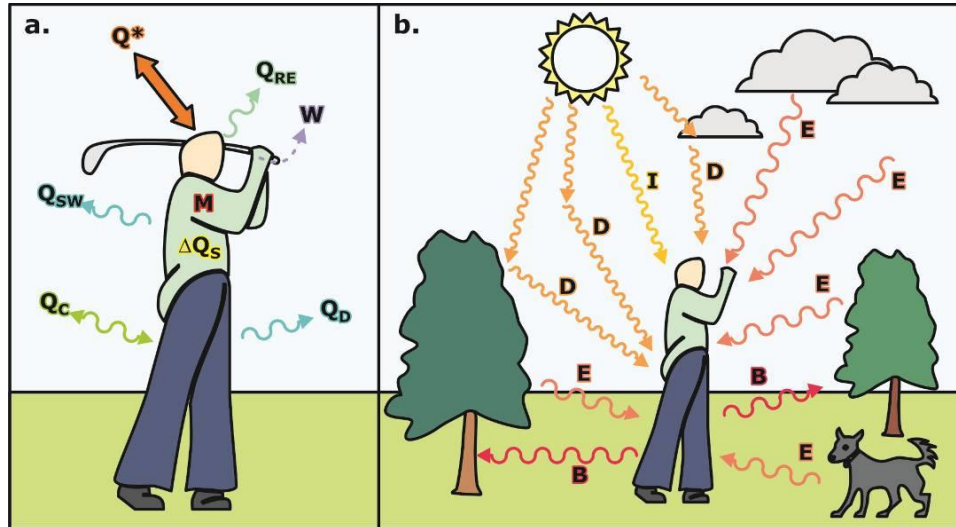
Q_C = testfelszínről történő érzékelhető hőáramlás

Q_D = vízpára-diffúzió révén bekövetkező bőrfelszíni látens hőáramlás

Q_{SW} = verejtékezés révén bekövetkező bőrfelszíni látens hőáramlás

Q_{RE} = légzéshez köthető érzékelhető és látens hőáramlás

ΔQ_S = az emberi test érzékelhető hőtartalmának változása (5.a. ábra; VDI 1998, Unger et al. 2012).



5. ábra: Az emberi energiaegyenleg – humán bioklimatológiai szempontból – legfontosabb összetevői (a) és a nettó sugárzási mérleg (Q^*) tényezőkre bontása (b) (Kántor 2012)

A test sugárzási mérlege különböző rövid- és hosszúhullámú összetevőkre bontható:

$$Q^* = I + D + E + B \quad (2)$$

I = direkt napsugárzás

D = diffúz (légköri részecskéken szóródott) napsugárzás, illetve a környező tereptárgyakról visszavert sugárzás

E = a környező tereptárgyak és a légkör hosszúhullámú sugárzása

B = a test hosszúhullámú hő(ki)sugárzása (5.b. ábra; VDI 1998, Unger et al. 2012).

Az eddigiekből következően a termikus komfort három különböző megközelítésben is definiálható. Az első az ún. energiaforgalmi szempontú megközelítés, mely szerint a komfortállapotban a test energiabevételi és -leadási folyamatai egyensúlyban vannak, vagyis ΔQ_S értéke nulla (Fanger 1972). Ez azonban még nem elegendő a termikus komfortérzet teljesüléséhez. Ahhoz ugyanis az is szükséges, hogy a maghőmérséklet fenntartása a lehető legkevésbé terhelje a hőszabályozó rendszert (vagyis a lehető legkevesebb verejtékezéssel vagy épp reszketéssel járjon a $\Delta Q_S=0$ állapot). A második megközelítés tehát fiziológiai oldalról értelmezi a komfortot, s kimondja, hogy komfortállapotban a bőrben és a

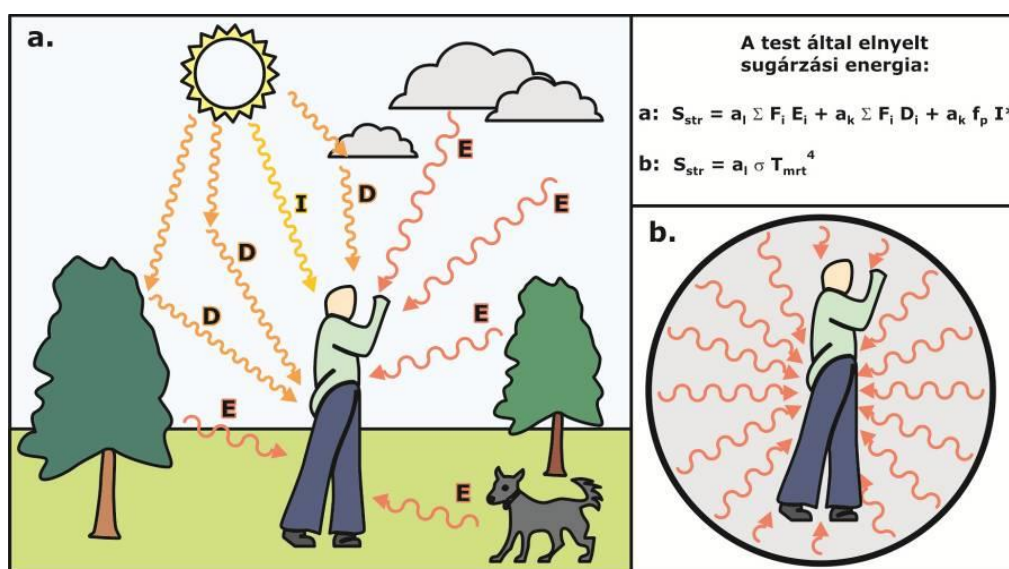
hipotalamuszban található receptorok ingerületi állapota minimális. A harmadik, a korábban már említett ún. pszichológiai megközelítés, mely szerint a termikus komfort állapota akkor valósul meg, ha az ember nem vágyik sem hidegebb, sem melegebb környezetre, és elégedett az adott termikus körülményekkel.

A városi humán bioklimatológiai kutatások feladata, hogy a testet érő termikus hatások révén kialakuló termikus komfortérzetet, illetve a szervezetre rótt fiziológiai stressz mértékét számszerűsítse. A továbbiakban néhány fontosabb mérőszámot mutatok be.

2.5. Humán bioklimatológiai mérőszámok

2.5.1. T_{mrt} (Mean Radiant Temperature, átlagos sugárzási hőmérséklet)

Az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) egy olyan mérőszám, amely összefoglalja az emberi testet érő összes hosszú és rövid hullámhosszú sugárzás hőhatását, s mint ilyen, az energiaegyenleg és a termikus komfort szempontjából meghatározó fontosságú paraméter (VDI 1998). A mérőszám jelentősége abban rejlik, hogy az ember energiaegyenlegét mérsékelt övi földrajzi környezetben leginkább a sugárzási viszonyok befolyásolják, főleg napsütéses körülmények esetében. Definíció szerint a T_{mrt} annak a képzeletbeli, feketetestként sugárzó gömbnek az egységes hőmérséklete, amely ugyanolyan sugárzási energiabevételt eredményezne a „gömbben lévő” emberi testre vonatkozóan, mint az a valóságos környezet, amelyben az emberi test valójában tartózkodik (6. ábra; Thorsson et al. 2007, Kántor and Unger 2011).



6. ábra: A T_{mrt} értelmezését segítő ábra – a sugárzási tér összetevői valós komplex környezetben és a feketetestként sugárzó gömb belsejében (Kántor 2012)

Az átlagos sugárzási hőmérséklet elméleti kiszámítását a következő leegyszerűsített képlet írja le:

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma} \cdot \sum_{i=1}^n \left(E_i + a_k \cdot \frac{D_i}{\varepsilon_p} \right) \cdot F_i + \frac{f_p \cdot a_k \cdot I^*}{\varepsilon_p \cdot \sigma}} \quad (3)$$

E_i = a légköri és környezeti felszínekről kibocsátott hosszuhullámú sugárzási fluxusok [W/m^2]

D_i = a légköri részecskéken szórt és a környezeti felszínekről szóródva visszavert rövidhullámú sugárzási fluxusok [W/m^2]

I^* = direkt napsugárzás intenzitása a beesésre merőleges felületen [W/m^2]

F_i = az ember környezetében elhelyezkedő felszínek "láthatósági faktorai", amelyekkel az egyes térrészek irányából érkező E_i és D_i sugárzási fluxusokat súlyozni kell

f_p = a napmagasságtól és a testhelyzettől függő "vetületi faktor", amellyel a direkt napsugárzást (I^*) súlyozni kell (ha az ember árnyékban van, f_p értéke nulla)

σ = Stefan-Boltzmann-állandó (értéke $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$)

ε_p = az emberi testfelszín emissziós (kibocsátási) együtthatója, amely a hosszuhullámú sugárzásra vonatkozó abszorpció (elnyelési) együtthatóval egyenlő (standard értéke 0,97)

a_k = az emberi testfelszín rövidhullámú sugárzásra vonatkozó abszorpció együtthatója (standard értéke 0,7).

A (3) képlet egyes sugárzási fluxusainak gyakorlatban történő mérése, s így a T_{mrt} meghatározása az egyik legnagyobb kihívást jelentő feladat a városi humán bioklimatológia területén (Kántor and Unger 2011). Ezért e fluxusokat bizonyos egyszerűsítéseket alkalmazva általában modellezési eljárásokkal számítják (Matzarakis et al. 2007), vagy a helyszínen mérik, ám ez esetben csupán néhány kitüntetett irányból érkező komponens mérése lehetséges (Höppe 1992). A hosszuhullámú sugárzást pyrgeométerrel, a rövidhullámú sugárzást pyranométerrel mérik a tér 6 jellemző irányából (észak, dél, kelet és nyugat, valamint alulról és felülről érkező sugárzás). A T_{mrt} kiszámításához szükség van ezen kívül a megfelelő vetületi, illetve láthatósági faktorokat „helyettesítő”, irányonként különböző nagyságú súlytényezők alkalmazására is (Höppe 1992, Matzarakis et al. 1999):

$$T_{\text{mrt}} = \sqrt[4]{\frac{\sum_{i=1}^6 W_i \cdot (a_k \cdot K_i + a_l \cdot L_i)}{\varepsilon_p \cdot \sigma}} - 273,15 \quad (4)$$

K_i = pyranométerrel mért rövidhullámú (nap)sugárzási fluxusok [W/m^2]

L_i = pyrgeométerrel mért hosszúhullámú (földi) sugárzási fluxusok [W/m^2]

a_l = az emberi testfelszín hosszúhullámú sugárzásra vonatkozó abszorpciók együtthatója (standard értéke 0,97)

W_i = a különböző irányokhoz rendelt súlytényezők nagysága (forgásszimmetrikusnak tekintett álló alany esetén a 4 oldalsó irányhoz 0,22, az alsó és felső irányokhoz pedig 0,06-os értékek tartoznak)

273,15 = a [K] és a [°C] közötti átváltási faktor.

2.5.2. Termikus komfortindexek

Az elmúlt néhány évtizedben kifejlesztett humán bioklimatológiai indexek között megkülönböztethetünk ún. empirikus indexeket és racionális indexeket. Az **empirikus indexek** a humánkomfort-kutatások kezdeti szakaszában széleskörűen elterjedtek voltak, mivel könnyen előállíthatók – a kiszámításuk általában könnyen hozzáférhető, egyszerű meteorológiai paraméterekből történik (WMO 1992). Az ún. wind-chill indexek a levegő alacsony hőmérsékletének és a szél csípősségének mértékét fejezik ki; kiszámításukhoz a léghőmérsékletet és a szélesebességet használják (Dixon and Prior 1987). A meleg termikus viszonyok számszerűsítésére alkalmazott empirikus indexek (pl. a hőstressz index, vagy a hőség index) a léghőmérséklet és a légnedvesség kombinációjából állnak (WMO 1992, Höppe 1993, Unger et al. 2012).

Ezen egyszerű indexek viszont egyáltalán nem veszik számításba a T_{mrt} -t s a hőérzet szempontjából fontos termoregulációs folyamatokat, illetve az olyan személyes paramétereket, mint például az alany neme, kora, magassága, testsúlya vagy fizikai aktivitása (Höppe 1993). Napjainkban sokkal gyakoribb az ún. **racionális indexek** alkalmazása. Ezek a modernebb mérőszámok az empirikus indexekkel ellentétben a testünket érő termikus terhelést jóval összetettebb módon értelmezik (Höppe 1993, Jendritzky et al. 2001). A hőérzet a meteorológiai paramétereken kívül számos fiziológiai tényezővel összefüggésben alakul ki. Ahhoz tehát, hogy a hőérzet, illetve a kiváltott termikus stressz mértéke realisabban meghatározható legyen, szükséges az

emberi test energiaegyenleg modelljének (1) leírása, s az egyes tényezők pontos kifejtése (Höppe 1993).

Az első ilyen komplex modellek alapötlete már az 1930-as években megszületett, majd a 70-es évektől előbb beltéri, később kültéri viszonyok között is alkalmazható modelleket fejlesztettek ki. A modelleknek két főbb típusa van: az ún. steady-state modellek és a dinamikus modellek. Míg a steady-state modellek változatlan környezetben használhatók, a dinamikusak már a környezet folyamatos változását is képesek figyelembe venni. Ezen modellek kimeneteként számos komfortindex született, amelyek közül csak a közép-európai humánkomfort-vizsgálatokban leggyakrabban alkalmazottat mutatom be, mivel a dolgozatomban található értékelés alapját is ez az index képezte.

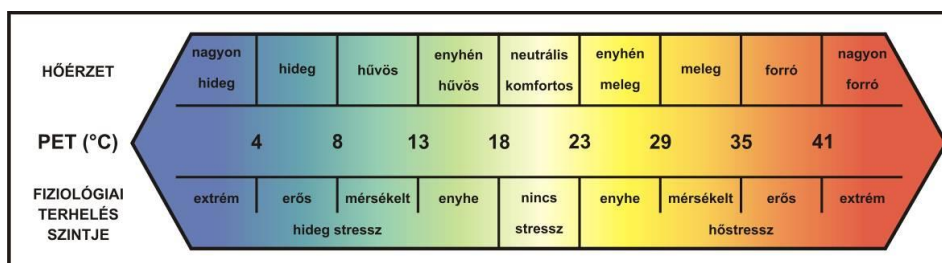
2.5.3. PET (Physiologically Equivalent Temperature, fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet)

A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) értékei egy olyan modellből (MEMI – Munich Energy Balance Model for Individuals) vezethetők le, mely a testet két koncentrikus hengerre bontja (a test magjára és a köpenyre), és részletesen elemzi a két „henger”, valamint a testfelszín szabad és ruhával fedett részeinek energiacsere-folyamatait. A MEMI modell bemenő paraméterei a léghőmérséklet (T_a), a légnedvesség valamely mérőszáma (VP vagy RH), a szélsebesség (v), az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) és az alany személyes paraméterei. Ezek közül a kor, a nem, a testsúly, a magasság és az aktivitás mértékének eredőjeként adódik a „modellezett alany” metabolikus hőtermelése (M). Emellett az alany ruházatára jellemző hőszigetelő értéket (I_{cl}) is meg kell adni (Mayer and Höppe 1987, Höppe 1993). A humán bioklimatológia gyakorlatában a ruházat hőszigetelő képességét általában clo egységekben szokás megadni, ahol 1 clo ($=0,155 \text{ Km}^2/\text{W}$) egy könnyű üzleti öltönynek, avagy tipikus utcai ruházatnak felel meg.

A PET azon léghőmérsékletként értelmezendő, melynél egy feltételezett tipikus beltéri környezetben lejátszódó energiacsere-folyamatok hatására ugyanolyan fiziológiai válaszai, s ennek következtében ugyanolyan átlagos bőrhőmérsékleti és maghőmérsékleti értékei adódnak egy standard alanynak, mint az aktuális kültéri állapotok mellett (Mayer and Höppe 1987, Höppe 1999). A beltéri referenciakörnyezet klímáját az alábbiak szerint definiálták:

- az átlagos sugárzási hőmérséklet egyenlő a levegő hőmérsékletével ($T_{mrt} = T_a$)
- a légmozgás sebessége (v) 0,1 m/s
- a gőznyomás (VP) 12 hPa (nagyjából ekvivalens 50%-os RH-val $T_a = 20$ °C-on).

A PET számítása egy mérsékelt aktivitású, 35 éves, 180 cm magas, 75 kg súlyú, könnyű utcai ruházatban lévő ($I_{cl}=0,9$ clo) férfire, mint standard alanyra vonatkozik. Ennek segítségével olyan mutató definiálható, amely független az egyéni paraméterektől. Ezáltal könnyen összehasonlíthatóvá válnak a különböző termikus környezetek (pl. két eltérő kialakítású városi terület) az általuk előidézett fiziológiai stressz alapján (Unger et al. 2012). A PET index a 20 °C körüli tartomány komfortos hőérzeti körülményeket jelent, ennél nagyobb értékeknél a meleg, alacsonyabb értékeknél pedig a hideg stressz okoz terhelést. (7. ábra; Mayer and Höppe 1987).



7. ábra: A PET skála hőérzeti és hőterhelési kategóriahatárai (Mayer and Höppe 1987 nyomán)

Az 1. táblázatban néhány tipikus termikus környezethez tartozó PET értékek láthatóak. A meleg és napos kinti feltételek mellett adódó 43 °C-os PET érték azt jelenti, hogy ez a szabadtéri környezet épp olyan terhelő fiziológiai szinten, mint amilyen egy 43 °C-os léghőmérsékletű szoba lenne. Ha kísérleti alanyunk a direkt sugárzásról árnyékba vonul, akkor a PET értéke 14 °C-kal csökken, azaz 29 °C-ra változik, ami már nem forró, hanem meleg hőérzeti, illetve mérsékelt hőstressz kategóriába sorolható (1. táblázat, 7. ábra). Nagy különbségek mutatkoznak a levegő hőmérséklete és a PET értékei között télen is, azokon a napokon, amikor erős a direkt sugárzás vagy nagy a szélesebbesség (1. táblázat; Höppe 1999).

1. táblázat: A PET index értékei különböző körülmények között (Höppe 1999 nyomán)

	T_a (°C)	T_{mrt} (°C)	v (m/s)	VP (hPa)	PET (°C)
Egy tipikus szobában	21	21	0,1	12	21
Nyáron, napon	30	60	1,0	21	43
Nyáron, árnyékban	30	30	1,0	21	29
Télen, napon	-5	40	0,5	2	10
Télen, árnyékban és szélben	-5	-5	5,0	2	-13

3. A vizsgált terület és az alkalmazott módszerek

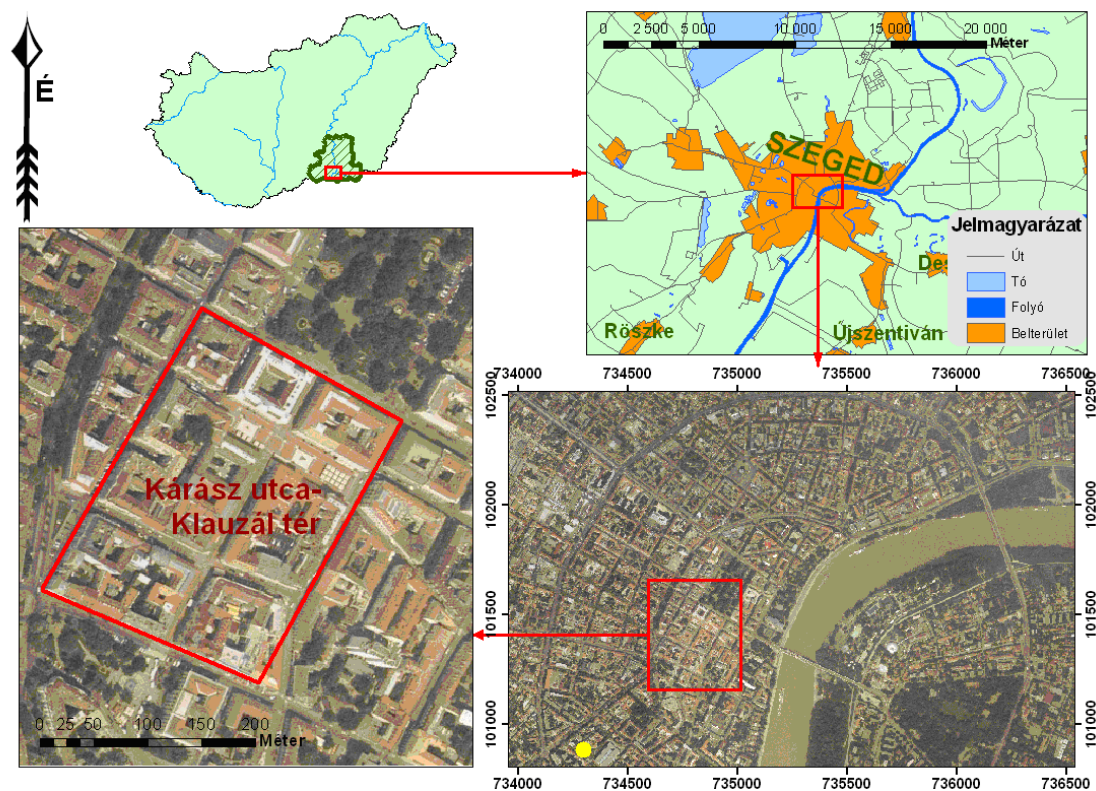
3.1. Szeged és a mintaterület bemutatása

Szeged Magyarország déli határánál terül el az Alföldön, a Tisza és a Maros folyó találkozásánál (é. sz. $46^{\circ} 15'$, k. h. $20^{\circ} 8'$). A Dél-Alföld régió legjelentősebb igazgatási, oktatási, kereskedelmi és kulturális központja. Szeged Magyarország harmadik legnagyobb városa, területe meghaladja a 281 km^2 -t. Népessége 2004 óta folyamatos növekedést mutat, a 2010-es adatok alapján a településen 169731 fő él [1].

A Köppen-féle éghajlat-osztályozás alapján, mely a csapadék és a hőmérséklet változását veszi alapul, Szeged a Cf éghajlati osztályba sorolható, vagyis meleg-mérsékelt éghajlat és egyenletes évközi csapadékeloszlás jellemzi. A Thewartha-féle kategorizálás ezzel szemben jobban hangsúlyozza a növényföldrajzi adottságokat. Ebben a rendszerben Szeged a D.1. osztályban foglal helyet: kontinentális éghajlat hosszabb meleg évszakkal (Péczely 1979).

Az átlagos évi középhőmérséklet 11°C körül alakul (a vegetációs időszaké $18\text{--}19^{\circ}\text{C}$, a júliusi középhőmérséklet $22\text{--}23^{\circ}\text{C}$, a januári pedig -1°C körül ingadozik), a szélesebbesség átlagosan $3,2 \text{ m/s}$, az uralkodó szélirány É-ÉK-i. Éves átlagokat vizsgálva a csapadékmennyiség $550\text{--}600 \text{ mm}$ között változik, a relatív légnedvesség kb. 71% , a vízgőznyomás pedig $9,8 \text{ hPa}$ körül alakul. A napsütéses órák száma 2000 feletti, az évi átlagos globálisugárzás pedig általában nem kevesebb 4400 MJ/m^2 -nél (Unger 1997). A napsütéses órák magas száma miatt sokan a „Napfény városának” nevezik Szegedet.

A vizsgálataimhoz választott mintaterület Szeged leghíresebb sétálóutcája, a **Kárász utca** és a hozzá kapcsolódó **Klauzál tér**, melyek a város három-négyemeletes házakkal jellemezhető belvárosi részén helyezkednek el (8. ábra). A sétálóutcát számos hangulatos műemléképület, üzlet és cukrászda övezi, a Klauzál téren pedig emellett köztéri szobrok is találhatók (9. ábra). Választásom azért esett erre a területre, mert nagy látogatottsággal jellemezhető, így termikus viszonyainak vizsgálata kiemelten fontos a városiak szabadtéri területhasználata szempontjából. A Kárász–Klauzál mintaterületet a város tényleges lakosságán és az ott lakókon túl nagy számban látogatják egyetemisták és turisták is.



8. ábra: Szeged és a mintaterület elhelyezkedése (sárga körrel jelölve az OMSZ belvárosi állomása)



9. ábra: A Kárász utca [2] és a Klauzál tér [3]

3.2. A vizsgálati módszerek bemutatása

Dolgozatomban az említett mintaterületre jellemző termikus terhelés tér-, illetve időbeli mintázatát szeretném szemléltetni az előző fejezetben bemutatott PET index segítségével. E széleskörűen alkalmazott indexet nemzetközi szinten gyakran használják összetett városi struktúrák humán komfort viszonyainak jellemzésére, valamint a termikus hatások előrejelzésére.

Vizsgálataim egyik célja, hogy néhány kiválasztott nap példáján **hőstressz-térképek** segítségével bemutassam az említett mintaterületen kialakuló **termikus viszonyok térbeli mintázatát**. Ezáltal elemezhetővé válik a látogatók szervezetét ért termikus terhelés mértéke a terület különböző pontjain.

Mivel a hőstressz-térképek elkészítéséhez modellezési eljárás szükséges, a másik célom az **alkalmazott modellezési módszer validálása**. Ehhez a szimulált értékeket helyszíni meteorológiai mérésekből származó eredményekkel vetem össze. Ennek jelentősége abban rejlik, hogy a modellezés segítségével a későbbiekben olyan közterületek termikus komfort viszonyait is jellemezni tudjuk, ahol nem nyílik lehetőség közvetlen meteorológiai mérések elvégzésére.

Dolgozatom harmadik célja a kiválasztott mintaterület **területhasználatának**, illetve a **látogatók viselkedési reakcióinak bemutatása**.

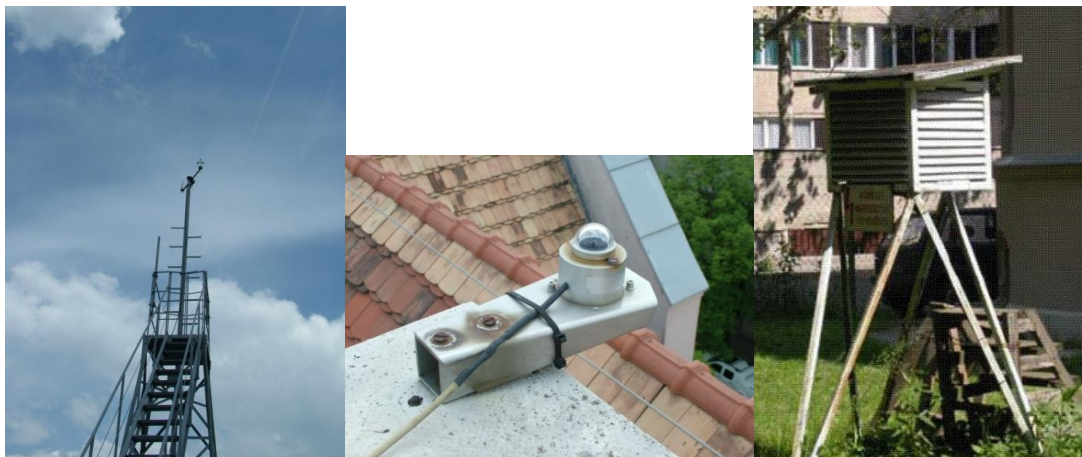
3.2.1. A hőstressz-térképek elkészítése

A hőstressz-térképek előállításához megfelelő felbontásban (5x5 m) le kellett fednem a választott területet a PET index értékeivel. A PET kiszámításához a következő meteorológiai alapadatok szükségesek: léghőmérséklet (T_a [°C]), relatív nedvesség (RH [%]), széleseesség (v [m/s]) és átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt} [°C]). Az első három inputparaméter térbeli változékonysága kevésbé jelentős, így értékeikre jó közelítést adhatnak egy közeli meteorológiai állomásról beszerzett értékek. Ezzel szemben a T_{mrt} értéke pontról pontra jelentősen változhat városi környezetben, az összetett felszíngeometria miatt ugyanis nagyon bonyolult sugárzási tér alakul ki. Ezért a hőstressz-térképek előállítását megelőző PET index-számításhoz a belvárosban elhelyezkedő meteorológiai állomás 10 perces T_a , RH, és v adatai mellett a területre fektetett 5x5 m-es gridháló minden egyes pontjára lemodellezett T_{mrt} értékeket használtam fel. A modellezési eljáráshoz szükség volt a mintaterület felszínmorfológiai adataira, valamint az adott időszakra jellemző globálisugárzás (G [W/m²]) értékekre.

A Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karának épülete mellett található az Országos Meteorológiai Szolgálat (**OMSZ**) belvárosi állomása, ahonnan az általam felhasznált meteorológiai paraméterek származnak (8. ábra). A léghőmérsékletet és a relatív nedvességet az utca szintjétől 2 m-es magasságban, Stevenson-féle mérőházikóban elhelyezett szenzorok mérték; a széleseességet és a globálisugárzást pedig az épület tetején lévő műszerek szolgáltatták (10. ábra). A 26 m-es magasságban mért széleseességet egy empirikus képlet alapján a humán bioklimatológiai vizsgálatokban szokásos 1,1 m-es magasságra redukáltam:

$$v_{1,1m} = v_{26m} \cdot (1,1 / 26)^{0,12 \cdot z_0 + 0,18} \quad (5)$$

ahol z_0 a felszínérdesség magasságát jellemző paraméter, amit belvárosi mintaterületeim miatt 0,2-nek vettem (Gulyás et al. 2006).

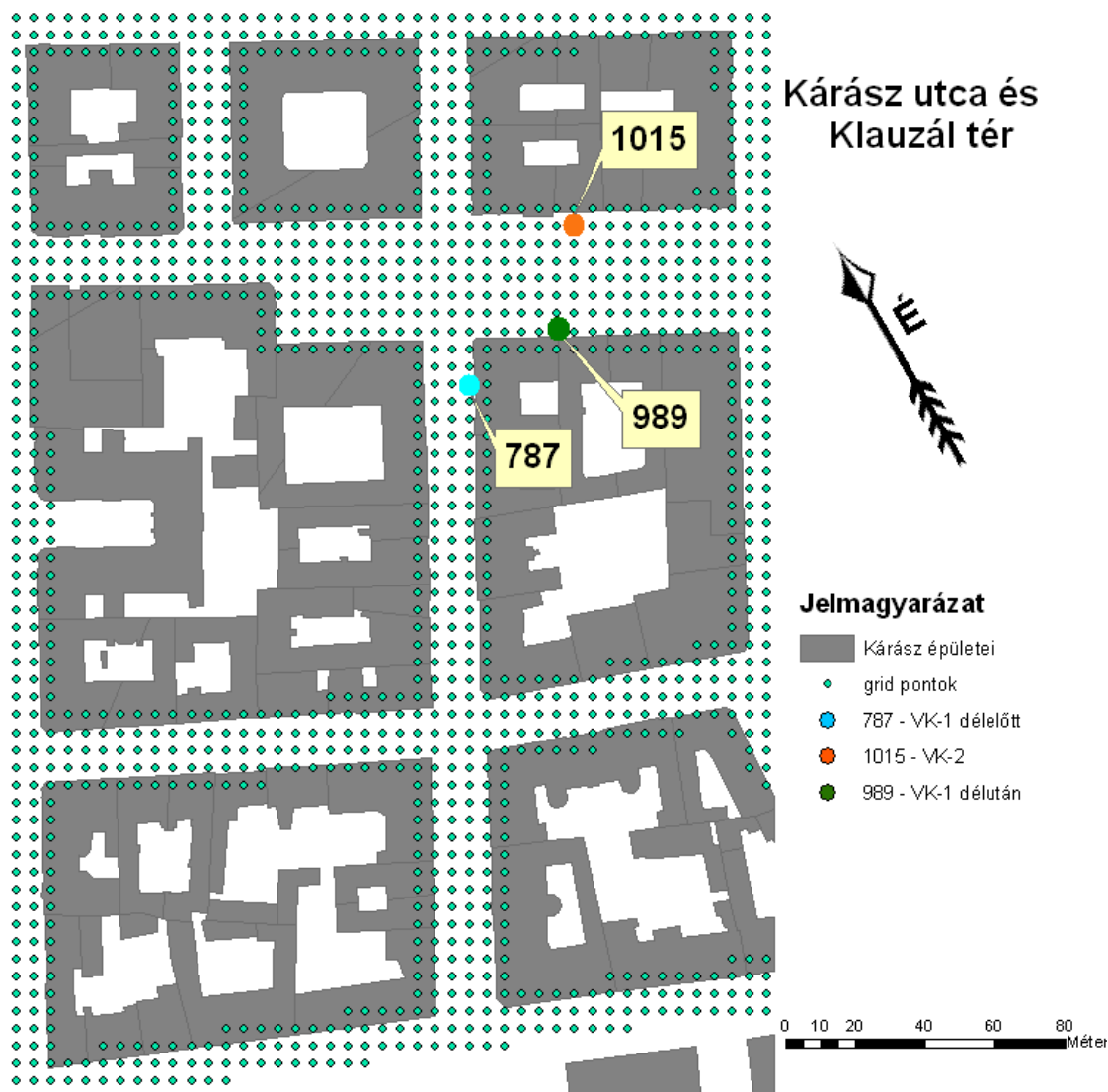


10. ábra: Az egyetemi OMSZ állomás műszerei: szélesebbségmérő és pyranométer (globálsugárzásmérő) az egyetem épületének tetején, valamint a Stevenson-féle mérőházikó az utca szintjén (fénykép: Égerházi Lilla)

A PET és a hozzá szükséges T_{mrt} kiszámításához a **RayMan** sugárzási és bioklíma modellt használtam (Gulyás et al. 2006, Matzarakis et al. 2007). Ezt a számítógépes szoftvert a Freiburgi Egyetem Meteorológiai Intézetének munkatársai a Német Mérnöki Kamara (VDI – Verein Deutscher Ingenieure) irányelvei alapján fejlesztették ki. A modellt napjainkban szerte a világon alkalmazzák, mert igen könnyen kezelhető, felhasználóbarát és benne a komplex városi felszíni struktúra jól megjeleníthető.

A RayMan modell egyik bemeneti adatcsoportja a 3D-s felszíngeometriát leíró adatokat tartalmazza: az épületek és a fás vegetáció relatív koordinátáit, méreteiket s a sugárzás szempontjából jelentős tulajdonságaikat (visszaverőképesség, elnyelőképesség, átbocsátóképesség, kibocsátóképesség). A RayMan e felszínmorfológiai adatbázis, a pontos földrajzi koordináták, valamint a dátum és az időpont ismeretében kiszámolja a T_{mrt} -t: a tereptárgyak okozta árnyékolás alapján leredukálja a globálsugárzás értékét, s kiszámítja a különböző tereptárgyak és az égbolt felől érkező hosszú- és rövidhullámú sugárzási komponenseket.

A modell egyszerre csak egy pontra számítja ki a T_{mrt} (s következésképpen a PET index) értékét, így a hőstressz-térképek elkészítésekor pontszerű adatokból indultam ki. A mintaterületre fektetett 5x5 m-es rácsközű gridhálózat a Kárász–Klauzál mintaterület esetén 1281 modellezési pontot tartalmazott (11. ábra). A lemodellezett terület (77000 m²) jóval nagyobb volt, mint a Kárász utca és a Klauzál tér együttese, melyre a későbbi elemzéseim vonatkoznak.



11. ábra: 5x5 m-es gridhálózat illesztése a mintaterületre, kiemelve a validáláshoz kiválasztott modell-pontokat

A hőstressz-térképek előállításához szükséges meteorológiai adatok a 2011.03.30-tól 2011.10.25-ig terjedő időszakra vonatkoznak. Minden egyes modellpontra, a nap minden időszakára lefutattam a RayMan modellt, így kaptam azt az adatbázist, amelyből később interpoláció segítségével, a **Surfer 8** programmal a hőstressz-térképeket megszerkesztettem. A Surfer program egy rácsalapú izovonalas és 3D-s felülettérkép-készítő és -ábrázoló program, amely a térképek elkészítéséhez minden esetben egy rácsot (gridet) használ. Az általam készített hőstressz-térképek színskálája megegyezik a PET index színskálájával.

Dolgozatomban néhány nap két-két időpontjára készült térkép segítségével mutatom be a mintaterület humán komfort viszonyait. Egész pontosan egy nyári és három őszi nap (2011.08.22., 2011.09.13., 2011.10.04., 2011.10.18.) 14:00 és 17:00 órás adataiból készítettem térképeket. A modellfuttatások révén nyert teljes

adatállományból a Microsoft Excel program segítségével válogattam le a megadott 14:00 és 17:00 órás időpontokat, amelyekből ezután a térképeket készítettem.

3.2.2. Helyszíni mikrometeorológiai mérések

A modelleredmények validálásához szükséges **helyszíni mérések** a Kárász–Klauzál mintaterület napos és árnyékos pontjain történtek 10:00–18:00 között egy-egy mozgatható, **komplex városklíma-állomás** (VK-állomás) segítségével (12. ábra). Mind az **árnyékban** (VK-1), mind pedig a **napon** (VK-2) lévő állomás 1 percenként rögzítette T_a , RH és v értékeit egy-egy Vaisala WXT 520-as műszer-együttes segítségével. Továbbá, a konkrét helyszínre jellemző T_{mrt} reális értékének kiszámítása érdekében mind a két állomás fel volt szerelve egy-egy forgatható Kipp&Zonen sugárzásmérő egységgel (a VK-1-es állomás esetében CNR-1-es, a VK-2-es állomás esetén CNR-2-es típusszámú). Egy ilyen sugárzásmérő műszer-együttes (két CM3 pyranométere és két CG3 pyrgeométere révén) egyidejűleg 4 kimeneti eredményt ad: ezek a műszer alapállásában a felülről, illetve az alulról érkező hosszűhullámú ($L\downarrow$ és $L\uparrow$) és rövidhullámú ($K\downarrow$ és $K\uparrow$) sugárzási fluxusokra vonatkoznak. A 3 percenként történő forgatás lehetővé tette az oldalirányból (észak-dél, kelet-nyugat) érkező sugárzási fluxusok rögzítését is. A T_{mrt} kiszámítása a Höppe (1992) által javasolt képlet (4) alapján történt. A későbbi eredmények összevetése érdekében megjegyzem, hogy az egyetem tetejéről származó G , valamint a helyszínen a sugárzásmérő alapállásában mért $K\downarrow$ értékek ugyanúgy globálsugárzást jelentenek.



12. ábra: Mikroklíma-mérések a Kárász utca – Klauzál téri mintaterületen (fénykép: Égerházi Lilla)

A modelleredmények **validálásához** olyan gridpontok adatsorait választottam ki, melyek a lehető legjobban megközelítették a napos, illetve az árnyékos VK-állomások

tényleges elhelyezkedését a vizsgálati napokon (11. ábra). Így például az augusztus 22-ére vonatkozó eredmények összevetésekor a napos VK-2 állomás adatai a 1015-ös modellpont adataival kerültek összevetésre. (VK-2 adatai: a Klauzál téren 1,1 m magasan mért T_a , RH, v és G , valamint a belőlük számított T_{mrt} és PET; 1015-ös modellpont adatai: a belvárosi OMSZ állomáson mért T_a , RH, az 1,1 m-re redukált v , a tereptárgyak által módosított G , továbbá a sugárzási viszonyok szimulálása révén előállított T_{mrt} és PET.) Míg a **VK-2** mérőállomáshoz csak egy modellpont (**1015**) tartozott, a **VK-1** állomást kénytelenek voltunk áthelyezni a mérési napon, hogy biztosítsuk a folyamatos árnyékoltságát. A délelőtti Kárász utcai elhelyezést leginkább a **787**-es, a délutáni Klauzál téri pozícióját pedig a **989**-es modellpont tükrözte a legjobban.

3.2.3. Területhasználati adatok feldolgozása

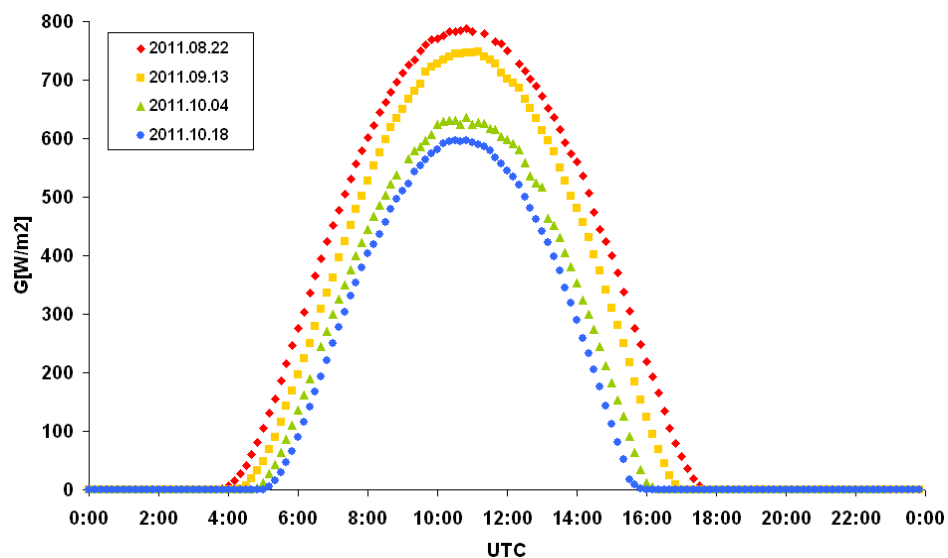
A mikrometeorológiai paraméterek rögzítése mellett **területhasználati megfigyeléseket** is végeztünk minden mérési napon. A 10-től 18 óráig tartó felmérések során 30 percenként megszámoltuk a területen tartózkodó ülő látogatókat. Azért döntöttünk az ülő személyek felmérése mellett, mert ők hosszabb ideig voltak kitéve a mintaterület termikus viszonyainak, mint azok az emberek, akik csupán átkeltek a sétálóutcán. A megfigyelések során a **padokon**, illetve a **kávéházakban** lévő emberek területi elhelyezkedését vittük térképre, jelölve azt is, hogy az adott személyek árnyékos, félarányékos vagy napos pozícióban helyezkedtek el. A területhasználati térképekre felvitt látogatottsági adatokat később „alterület” (pad, kávézó), illetve pozíció szerinti bontásban Excel táblázatokba gépeltem, majd a termikus viszonyokkal (PET értékek) együtt grafikonokon ábrázoltam.

4. A vizsgálati eredmények bemutatása, elemzése

4.1. A Kárász–Klauzál mintaterület termikus viszonyainak jellemzése

4.1.1. A kiválasztott napok meteorológiai háttere

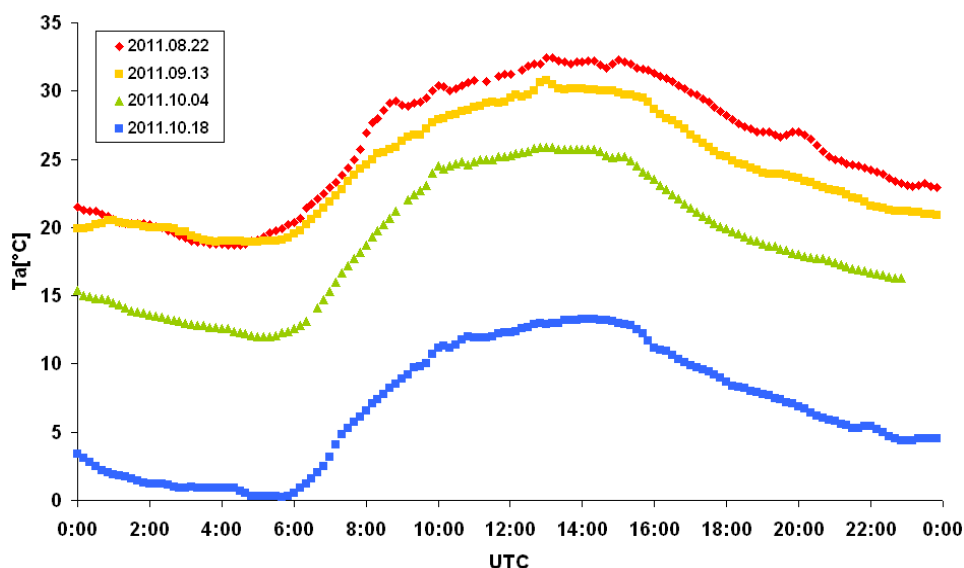
A mintaterület termikus stressz-viszonyainak modellezéséhez kiválasztott nyári (2011.08.22.) és őszi (2011.09.13, 2011.10.04, 2011.10.18) napok mindegyikét zavartalan napsütés jellemezte, ami a **globálsugárzás** tökéletes haranggörbét leíró napi meneteiből is látszik (13. ábra). Ahogy haladunk a tél felé, egyre csökken a napsugárzás ereje, így az augusztus végi majdnem 800 W/m^2 -es értékről október közepére 600 W/m^2 alá csökkent a globálsugárzás napi maximális értéke. Emellett természetesen a napfényes időtartam hossza is egyre rövidebbé vált a napfelkelte időpontjának későbbre s a napnyugta időpontjának korábbra tolódásával (13. ábra).



13. ábra: Az egyetemi állomáson mért globálsugárzás napi menete a négy kiválasztott napon (az időtengely UTC-ben értendő; helyi idő = UTC+2 óra)

Az első mérési napot kánikula jellemezte – ekkor 32°C felett tetőzött a **léghőmérséklet** –, de még szeptemberben is meghaladta a 30°C -ot a napi maximum (14. ábra). Mindegyik napra jellemző, hogy a legmagasabb léghőmérséklet – a globálsugárzás helyi idő szerint 13:00 körüli maximuma után – a délutáni órákban (helyi idő szerint 15:00 és 18:00 között) jelentkezett. Említést érdemlő tény, hogy 25°C -ot túlszárnyaló maximumhőmérsékletével október 4. is nyári napnak számított meteorológiai értelemben. Ebből következően a különösen meleg október eleji, valamint az október közepi mérési napok különböztek legjobban termikus viszonyaik

tekintetében; utóbbi esetében ugyanis már csak 13 °C volt a nap legmelegebb óráiban (14. ábra).



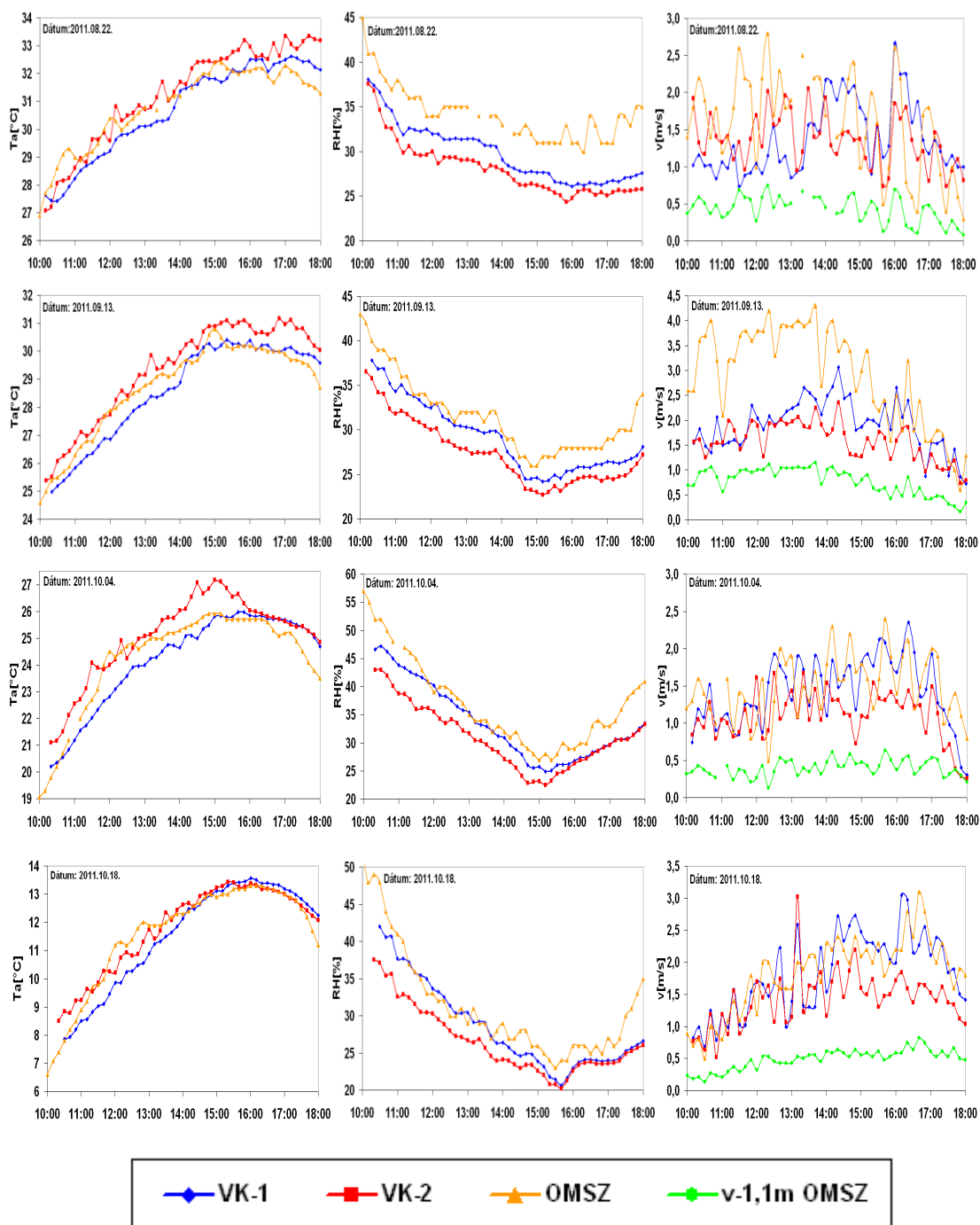
14. ábra: Az egyetemi állomáson mért léghőmérséklet értékek napi menete a négy kiválasztott napon (az időtengely UTC-ben értendő; helyi idő = UTC+2 óra)

4.1.2. A mintaterületen mért mikrometeorológiai paraméterek

A hivatalos OMSZ állomás adatsorához viszonyítva a helyszínen mért **léghőmérséklet** adatokat megállapítható, hogy a napon lévő (VK-2) állomás nagyobb hasonlóságot mutat az egyetemi állomással a kora délutáni órákig (15. ábra). A délután hátralévő részében azonban az árnyékban elhelyezett (VK-1) állomás értékeivel egyezik jobban az egyetemi adatsor. Fontos megjegyezni, hogy a VK-1 jelzésű állomást a kora délutáni órákban odébb helyeztük (lásd 11. ábra 787-es és 989-es gridpontjának megfelelő hely), hogy biztosítani tudjuk a folyamatos árnyékban tartását, s az áthelyezés időpontja meg is látszik a VK-1 léghőmérséklet értékeinek 14:00 körüli megugrásán az első két napon. Az „új árnyék” ugyanis egy korábban napsütötte felszínt jelentett, melynek léghőmérséklete magasabb, mint a korábban folyamatosan beárnyékolott ponté, ahol direkt napsugárzás híján sem a felszín, sem felette a levegő nem melegedett fel olyan mértékben, mint a napsütötte mérőpontban.

Az októberi napokon a két állomás által mért léghőmérséklet értékek a délután folyamán teljesen együtt futnak, ami az alacsonyabb napállásnak és a rövidebb napsütéses időszaknak tulajdonítható; ezeken a napokon ugyanis már délután 3 és 4 óra között árnyék vetült az eredetileg napos VK-2-es állomásra is. 2011.10.18. hűvös őszi délutánjának órái alatt szinte alig volt eltérés a területi adatsorok és a belvárosi OMSZ adatok közt, kivéve a mérés utolsó 30 percét. Ez az utolsó 30–40 perctől jellemző

eltérés valamennyi vizsgálati napon ugyanígy megjelenik: a vegetáció nélküli, mesterséges felszínborítású Kárász–Klauzál mintaterület hosszabb ideig megtartja magasabb léghőmérsékletét, mint a vegetációval nagyobb mértékben fedett terület, amelyre az OMSZ adatok vonatkoznak. Mind a négy kiválasztott napon általában 6–7 °C-ot emelkedett a léghőmérséklet a mérési időszakban a délelőtti 10 órás értékekhez képest.



15. ábra: A helyszínen és az egyetemi OMSZ állomáson mért léghőmérséklet, relatív nedvesség és szélsebesség értékek a négy kiválasztott napon (az időtengely helyi időben értendő)

Ahogy az várható volt, a **relatív nedvesség** napi menetei a hőmérsékleti görbék negatív tükörképeként alakulnak. Érdekes megfigyelni, hogy a helyszíni állomások mindig alacsonyabb RH értékeket rögzítettek, mint az egyetemi szenzor. A Kárász utca – Klauzál tér mesterséges felszínburkolatának (9. és 12. ábra) köszönhetően ugyanis a mintaterület levegője egyrészt melegebb, másrészt szárazabb, mint a belvárosi OMSZ állomás mikrokörnyezete. Utóbbi egy füves terület több lombhullató fával a közelében (10. ábra), melyek párologtatásuk révén biztosítják a magasabb légnedvességet (15. ábra). A két októberi mérési napnál megfigyelhető, hogy az egyetemi állomás és az árnyékos VK-1-es műszer közel azonos relatív nedvességet mért a dél körüli, kora délutáni órákban (15. ábra).

A négy kiválasztott napon nem volt különösebben erős légmozgás; általában 3 m/s alatt alakult a **szélsebesség**. Szeptember 13-át leszámítva megközelítőleg együtt futottak a helyszínen (1,1 m-en) és a belvárosi OMSZ állomáson mért szélsebesség értékek (15. ábra). Figyelembe véve azonban, hogy ez a hasonlóság a talajfelszín felett 26 m magasságban mért légmozgással adódott, rögtön fény derül a modellezési eljáráshoz használt bemenő adatok egyik hibájára. A 26 m-en mért szélsebesség értékeket ugyanis a szakirodalmi ajánlásoknak megfelelően 1,1 m-re redukáltuk, s ez az (5) képlet alapján mintegy egynegyedére való csökkentést jelentett. A redukált értékekhez képest viszont a területen általában jóval magasabb szélsebességet mértünk (15. ábra).

4.1.3. A Kárász–Klauzál mintaterületre vonatkozó hőstressz-térképek

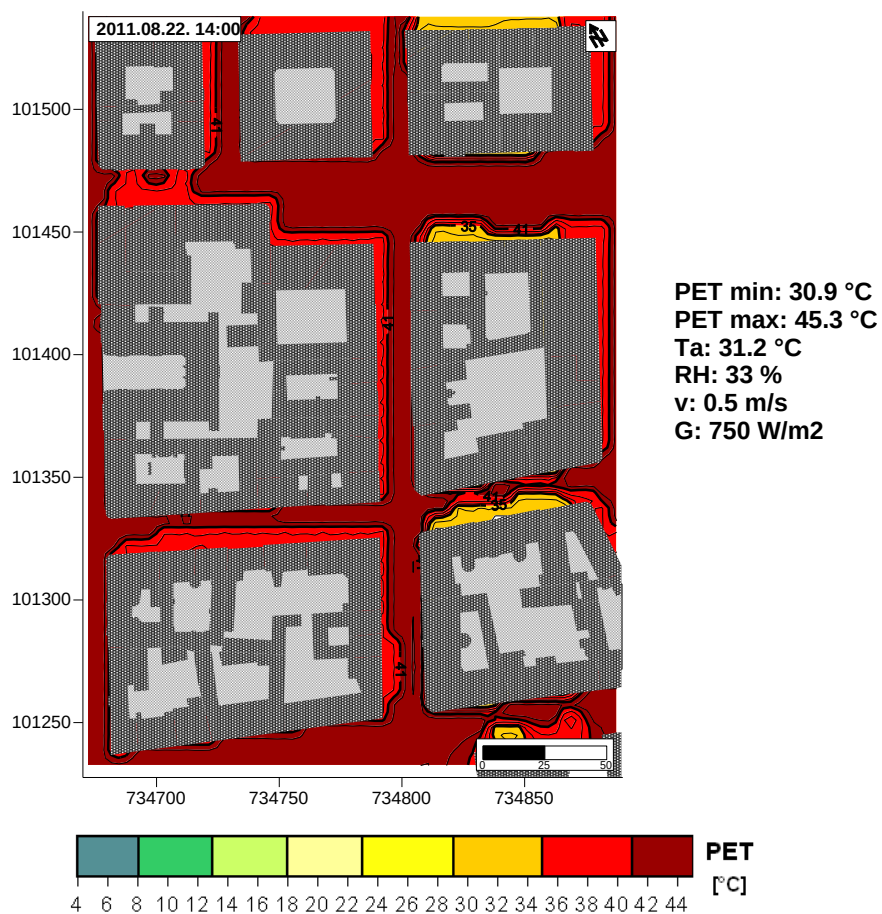
Az első elemzésre kerülő nap **2011.08.22.**, s ennek első hőstressz-térképe a **14:00**-as időpontra vonatkozik (16. ábra). A PET izovonalak alapján több markánsan elkülönülő területrészt különböztethetünk meg. Erre az időpontra a belvárosi OMSZ állomás adatai alapján 31,2 °C-os léghőmérséklet, 33%-os relatív nedvesség és 0,5 m/s-os redukált szélsebesség volt jellemző, a globálsugárzás pedig közel 750 W/m²-es értéket vett fel. A mintaterület napos részein kialakult, akár 45 °C-os PET értékek a magas globálsugárzással és léghőmérséklettel, valamint a gyenge szélsebességgel magyarázhatók. A 41 °C-ot meghaladó PET értékek nagyon forró hőérzetnek, illetve extrém hőterhelésnek feleltethetők meg a Közép-Európa lakosaira meghatározott PET-skála alapján (7. ábra). Jól látszik a hőstressz-térképen, hogy az épületek ÉK-i oldalán alacsonyabb PET értékek találhatók, ami az általuk nyújtott árnyékolással

magyarázható. Viszont még a legalacsonyabb PET értékű (31 °C) pontok is meleg hőérzetet, illetve mérsékelt hőstresszt eredményeztek (7. ábra).

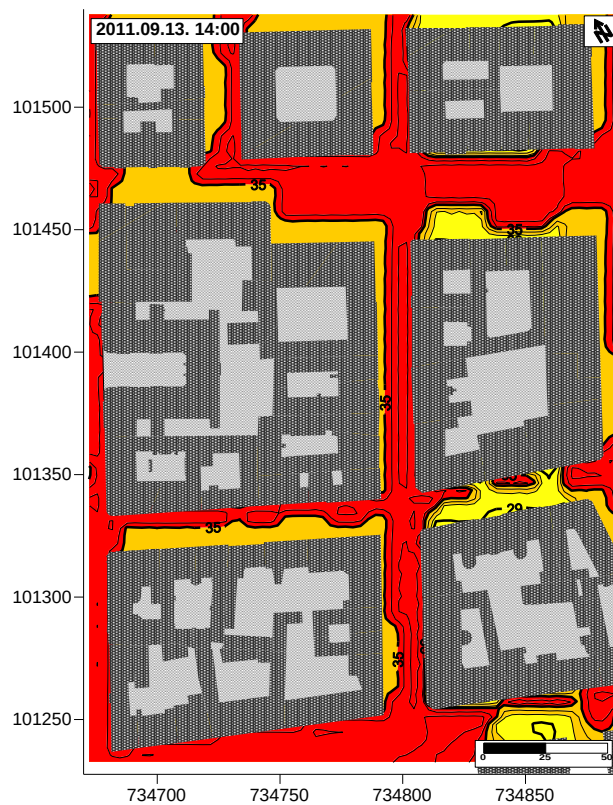
Az aktuális napállásnak, illetve árnyékolási viszonyoknak megfelelően a program kifejezetten nagy hőterhelést mutat a terület Kárász utcára (mint fő tengelyre) merőleges ÉNY-DK irányultságú keresztutcain (16. ábra). Ebben az irányban húzódik a mintaterület másik kardinális része, a Klauzál tér is. A Kárász utca – Klauzál tér kereszteződés D-i pontján lévő épülettömbben található Szeged legnevesebb cukrászdája, melynek szabadtéri része kisebb részben a Kárász utcán, nagyobb része pedig a Klauzál téren található. A kihelyezett asztalokhoz ülő vendégek ezért különböző mértékű terhelésnek voltak kitéve: a Kárász utcán, illetve a sarokhelyzetben lévő asztalokat extrém, míg a Klauzál tér DNY-i sávjába helyezett asztalokat csupán mérsékelt hőstressz érte a szimulációk alapján.

A következő hőstressz-térkép ugyanazon nap egy későbbi, **17:00**-ás időpontjára vonatkozik (16. ábra). A kora délutáni időponthoz képest a T_a kb. 1 °C-ot emelkedett, a RH 31%-ra csökkent, a v nem változott, a globálisugárzás pedig a délutáni időpontnak megfelelően 400 W/m²-re mérséklődött. Ebben az időpontban a területet 31,7–40,5 °C-os PET értékek jellemzik, melyek mérsékelt és erős hőstressz-kategóriának felelnek meg (7. ábra). Az árnyékos területrészek hőterhelése ez időpontban kissé magasabbnak adódott (minimális PET értékek magasabbak), mint a 14:00-ás szituáció esetén volt. Ez a magasabb T_a -el hozható összefüggésbe, míg a napos részekre eredményezett kevésbé terhelő PET értékek a mérsékeltebb hőszugárzással magyarázhatók.

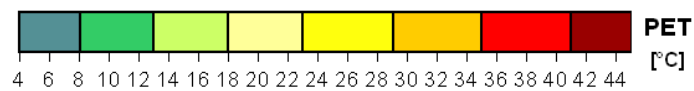
A 17. ábra egy kora őszi nap adatait tartalmazza (**2011.09.13.**) **14:00** és **17:00** órára vonatkozóan. Az alap-meteorológiai adatok közül T_a 14:00 órakor 1,7 °C-kal, 17:00 órakor pedig 2,4 °C-kal volt alacsonyabb, mint augusztus 22-én. Az RH hasonlóképp alakult a nyári és őszi napokon, a G adatok azonban jelentősen alacsonyabbak voltak szeptemberben. 14:00-kor kb. 50, 17:00-kor pedig mintegy 90 W/m² a különbség a két nap G értékei közt. A hőstressz-térképek a korábban tárgyaltakéhoz hasonló területi mintázatot mutatnak. A kora délutáni időszakban a terület nagy része mérsékelt (29–35 °C), vagy erős (35–41 °C) hőstressz-kategóriába tartozott (17. ábra). A direkt sugárzásnak való kitettsége révén a Kárász utca erősen terhelő volt a magasabb napállás idején (kora délután); ezzel szemben a késő délutáni beárnyékolódása miatt már csupán mérsékelt hőstresszel volt jellemezhető. Az alacsonyabb napállásnak köszönhetően a délutáni termikus mintázat némiképp heterogénebb volt 09.13-án, mint a nyári napon (17. ábra).



16. ábra: A Kárász–Klauzál mintaterület 2011. augusztus 22. helyi idő szerint 14:00 és 17:00 órára vonatkozó PET-térképe

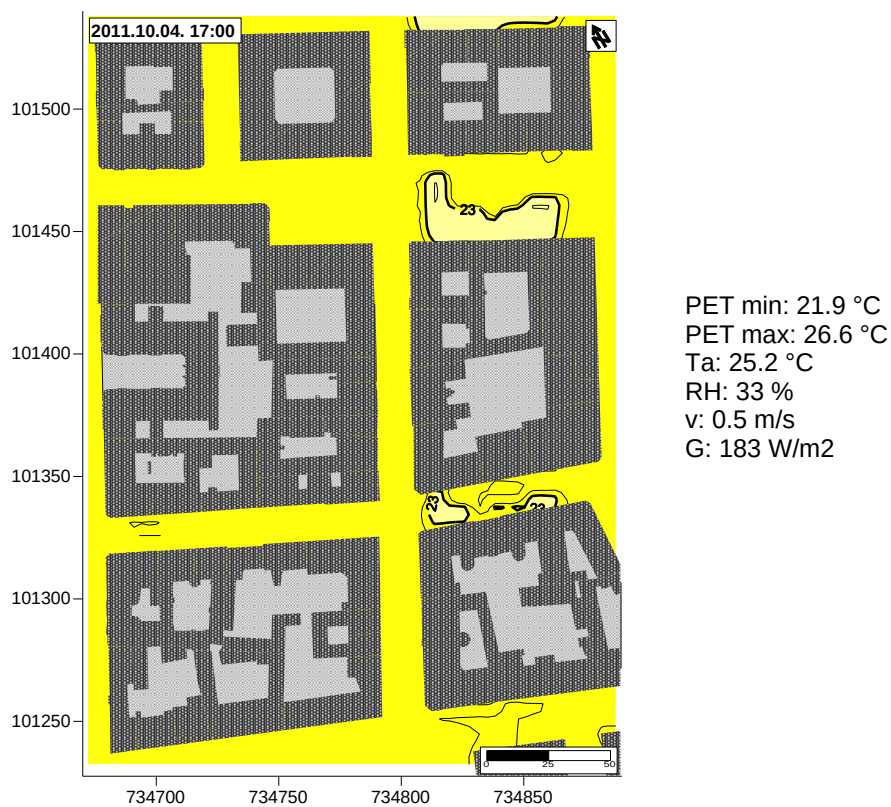
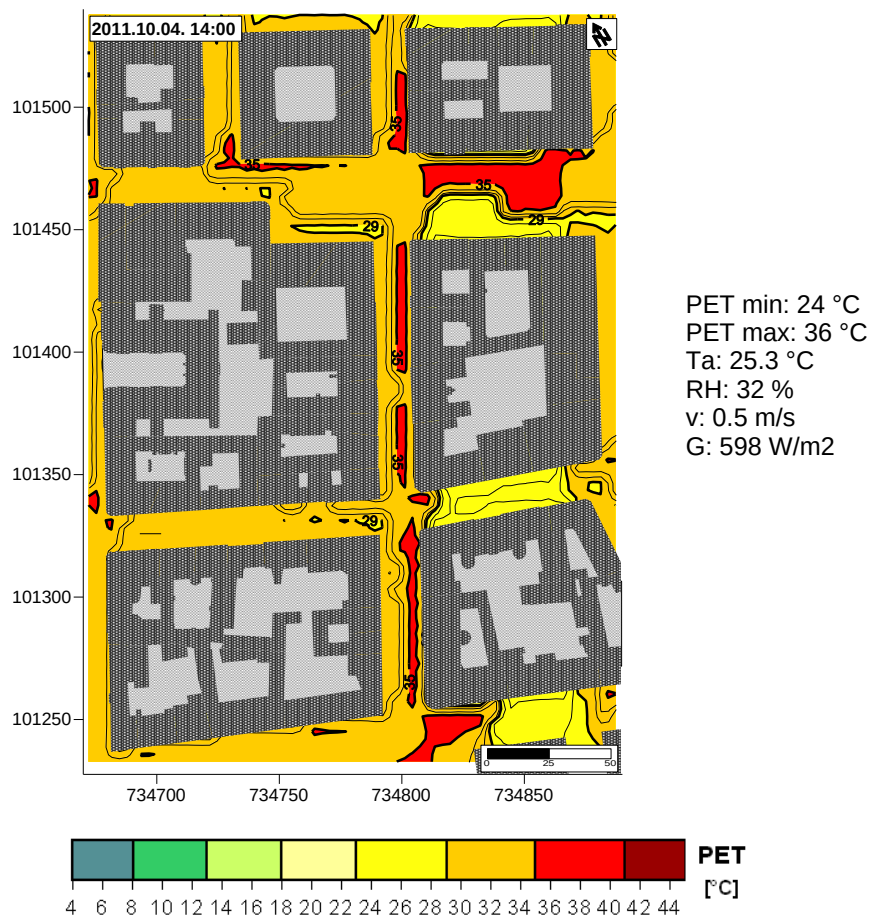


PET min: 28.6 °C
PET max: 40 °C
Ta: 29.5 °C
RH: 30 %
v: 1.0 m/s
G: 702 W/m2



PET min: 28.6 °C
PET max: 35.4 °C
Ta: 29.9 °C
RH: 29 %
v: 0.4 m/s
G: 311 W/m2

17. ábra: A Kárász–Klauzál mintaterület 2011. szeptember 13. helyi idő szerint 14:00 és 17:00 órára vonatkozó PET-térképe



18. ábra: A Kárász–Klauzál mintaterület 2011. október 4. helyi idő szerint 14:00 és 17:00 órára vonatkozó PET-térképe



PET min: 9.4 °C
 PET max: 19.2°C
 Ta: 12.3 °C
 RH: 29 %
 v: 0.6 m/s
 G: 544 W/m2



PET min: 7.6 °C
 PET max: 11.8°C
 Ta: 13.0 °C
 RH: 27 %
 v: 0.6 m/s
 G: 112 W/m2

19. ábra: A Kárász–Klauzál mintaterület 2011. október 18. helyi idő szerint 14:00 és 17:00 órára vonatkozó PET-térképe

A harmadik térképpár **2011. október 4.** termikus viszonyait ábrázolja **14:00** és **17:00** órákor (18. ábra). Az előző napokéhoz képest alacsonyabb T_a és G értékekkel jellemezhető, ugyanakkor a viszonylag meleg őszi időjárás az eddigiekhez képest alacsonyabb PET értékeket eredményezett. A térképeken jól kivehető, hogy az alacsonyabb napmagasság eredményeképpen a terület sokkal nagyobb része van árnyékban 14:00-kor, mint a nyár végi, illetve kora őszi napokon, következésképpen kisebb a magasabb PET értékekkel jellemezhető (napsütötte) területrészek aránya. A legmelegebb területrész (Klauzál tér K-i része) még épphogy erős, míg a hűvösebb árnyékos területrészek enyhe hőstresszel jellemezhetőek délután 14:00 órákor. Ugyanakkor a késő délutáni órákra oly mértékben lecsökken a G értéke (200 W/m^2 alá), hogy a terület nagy részén a tényleges léghőmérséklettel összemérhető, enyhén meleg hőérzethez köthető PET értékeket láthatunk (18. ábra).

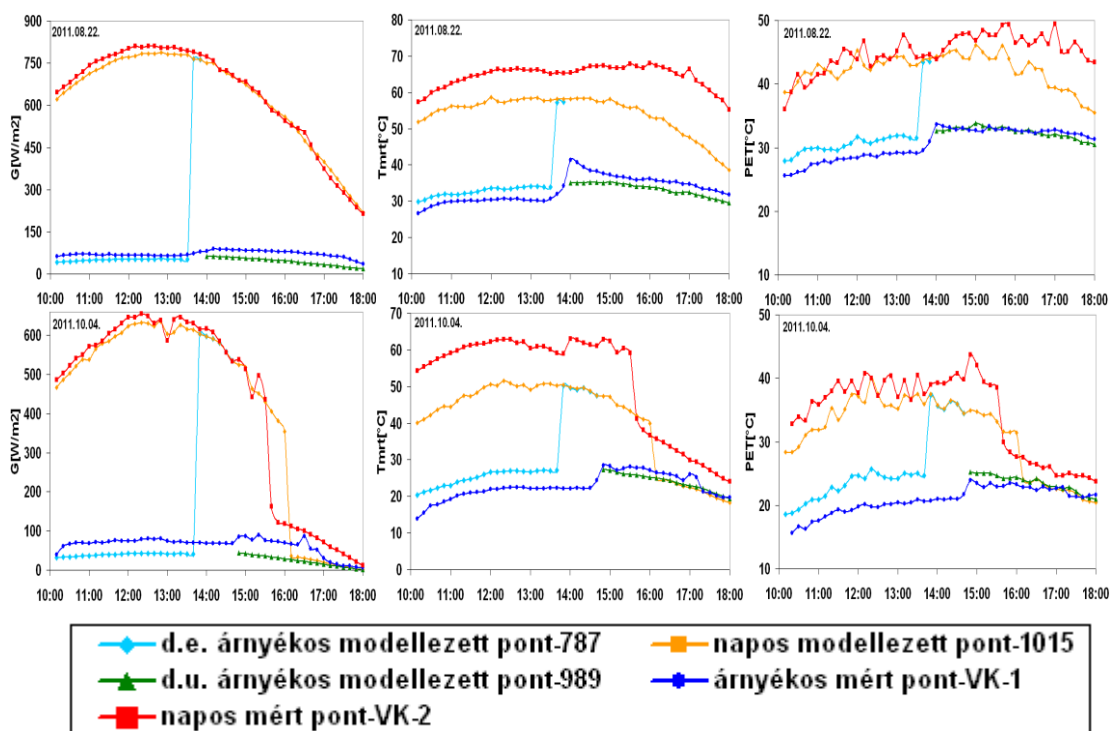
Az utolsó kiválasztott nap – **2011. október 18.** – már tipikus őszi időjárási viszonyokat mutat (19. ábra). Mind a **14:00**, mind a **17:00** órás térképeken látható, milyen markánsan eltérnek az előző napoktól a meteorológiai inputparaméterek értékei. A léghőmérséklet 14:00 és 17:00 órákor éppenhogy csak meghaladta a 12°C , illetve 13°C -ot. Jelentős változást mutat a globálisugárzás is, értéke kb. 544 , illetve 112 W/m^2 -re csökkent a két kiválasztott időpontban. Az előző napokéhoz képest alig magasabb (de még mindig nagyon alacsony) bemenő szélesebbesség adattal ($1,1 \text{ m}$ -re redukált OMSZ szélesebbesség adat) számolt a program. A Klauzál teret ÉK-ről határoló épületek előterében újfent magasabb PET értékeket fedezhetünk fel, mint a terület többi részén, ez esetben azonban a napfénynek való kitettség sokat javít a humán komfortérzeten. Az árnyékos részeken ugyanis mérsékelt, míg a benapozott részeken csupán enyhe hidegstressz (vagy neutrális állapot) alakult ki (19. ábra).

17:00 órára a G értéke jelentősen lecsökkent, s ebből kifolyólag a területre csupán a mérsékelt hidegstressz kategóriába eső értékek jellemzőek (19. ábra). A 2011. 10.18-i 17:00-ás térképet összevetve az augusztusi megfelelőjével jelentős különbség, hogy míg a nyári esetben az ÉNY-DK irányú, nyitottabb területrészek voltak a legmelegebbek, most épp ezek mutatják a legalacsonyabb PET értékeket. Ennek oka, hogy míg nyáron még a késő délutáni órákban is a napsugárzás magas értéke határozza meg leginkább a hőérzetet, addig az őszi késő délutáni órákra – napsugárzás hiányában – a hosszúhullámú sugárzás szerepe értékelődik fel (16. ábra). Ennek értéke pedig az épületek, mint hősugárzóforrások közelében magasabb, s így képes itt kissé javítani az

egyébként hideg hőérzetet. Az utolsó térképpárról elmondható, hogy míg a 14:00-ás termikus stressz-mintázat jelentősebb területi változatosságot mutat a napos és árnyékos területrészek elkülönülésének megfelelően, az alacsonyabb napálláshoz s a terület teljes beárnyékolódásához köthető 17:00-ás térkép jóval homogénebb (19. ábra).

4.2. Validálás: a mért és a modellezett mérőszámok összevetése

A modellezéssel nyert eredmények validálásához olyan modellpontok adatsorát vettem össze a helyszíni mérések eredményeivel, amelyek a lehető legjobban tükrözték a városklíma mérőállomások tényleges helyzetét (11. ábra). Mivel a **VK-1**-es állomást át kellett helyeznünk annak érdekében, hogy folyamatosan **árnyékban** legyen, ezért hozzá két modellpont tartozik. Az első pozíciót reprezentáló modellpont a Kárász utcán elhelyezkedő **787**-es, a második pedig a Klauzál téri **989**-es. A **napon** elhelyezett **VK-2** állomás helyzetét a **1015**-ös modellezési pont közelítette meg legjobban. Az egyetemi OMSZ állomás adatsorának felhasználásával modellezett globálsugárzás, átlagos radiációs hőmérséklet és fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet értékek validációs vizsgálatát 2011. augusztus 22. és október 4. példáján keresztül mutatom be (20. ábra).



20. ábra: A helyszíni mérésekből és a modellezésből származó G , T_{mrt} és PET értékek 2011. augusztus 22-én és október 4-én (az időtengely helyi időben értendő)

A **globálsugárzás** adatsorait tekintve a napos (VK-2) állomás párvaként megjelölt 1015-ös gridpont G értékei meglehetősen jól mutatják a helyszíni mérések eredményeit a vizsgálati napokon. Az alacsonyabb napállással jellemezhető októberi napon a helyszínen mért G értékek kissé korábban csökkennek le a mérőpont tényleges beárnyékolódása miatt, mint amit a modell a 1015-ös gridpont esetén szimulált. Ez a modellterület 5x5 m-es felbontásával magyarázható, ami nem tette lehetővé a mikrometeorológiai állomás valós helyzetének tökéletes reprezentálását. A 787-es modellpont 13:30-ig szintén elég jó egyezést mutat az árnyékos VK-1-es állomás által ténylegesen mért értékekkel. A délutáni árnyékos viszonyokat reprezentáló 989-es modellpont szintén jól tükrözi a mikrometeorológiai állomással mért alacsony globálsugárzás értékeket. Az ábra legszembetűnőbb eltérése a 2011.10.04-én a 787-es pont globálsugárzás értékének már 13:40 körül bekövetkező éles megugrása (20. ábra), amely azzal magyarázható, hogy a modellpontból látható égboltrészleten már megjelenik a Nap. Ezzel szemben a valós mérőpont (VK-1 állomás a délelőtti pozíciójában) egészen 14:50-ig nem kapott direkt napsugárzást.

A globálsugárzás napi meneteinek jellegzetességei részben felismerhetők az **átlagos sugárzási hőmérséklet** (T_{mrt}) járásában is (20. ábra). Megfigyelhető, hogy a napos ponton mért értékek akár 10 °C-kal is (az elvileg nekik megfelelő) modellezéssel nyert értékek felett futnak. Ez arra enged következtetni, hogy az alsó és oldalsó irányból érkező sugárzási fluxusok a valós szituációban jóval nagyobbak voltak, mint a RayMan által számított megfelelőik. Az elvileg árnyékosnak szánt 787-es modellpont 14:00 előtti utolsó két T_{mrt} értéke a globálsugárzásnál tárgyaltak értelmében jelentősen torzított a valós (VK-1) értékekhez képest. Ezzel szemben az árnyékos 989-es modellpont T_{mrt} görbéje szépen együtt mozog az árnyékos VK-1-es állomás értékeivel a délutáni órákban.

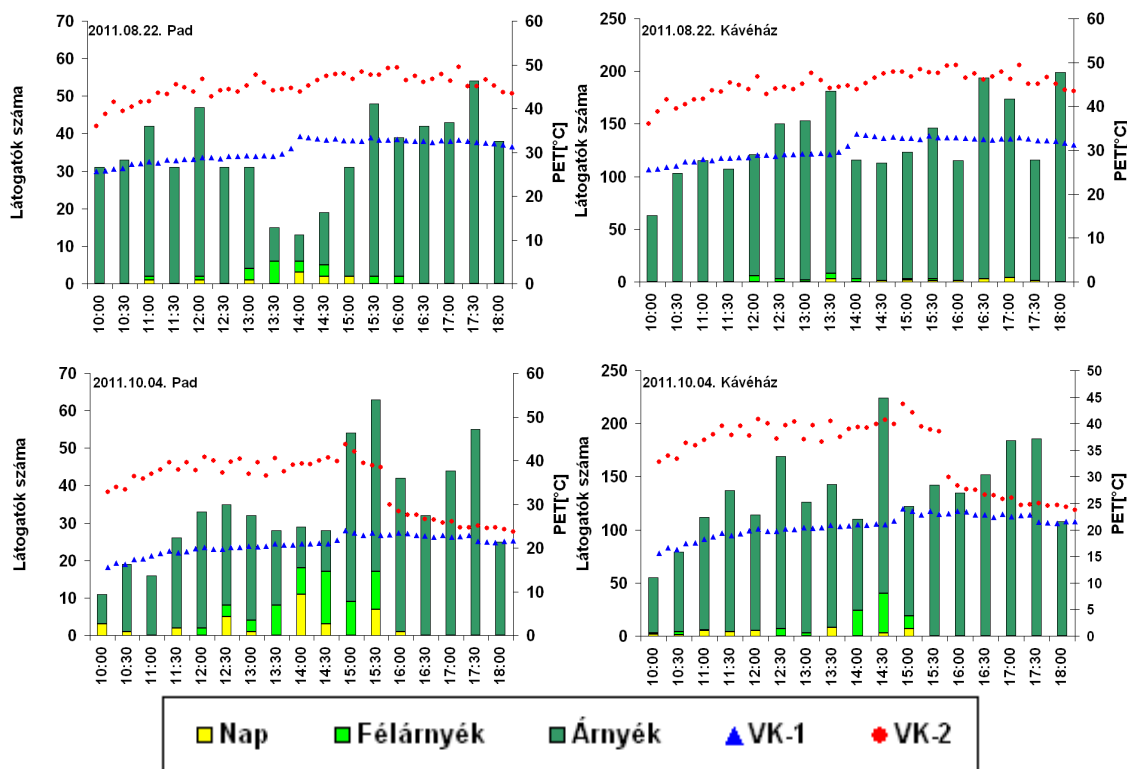
A napos és árnyékos mérőpontok jellegzetesen különböző **fiziológiaileg ekvivalens hőmérséklet** (PET) értékeket mutattak a mérési napok folyamán (20. ábra). A 2011. augusztus 22-én tapasztalt kánikula nem csak a napos adatokban, de még az árnyékos PET értékekben is tükröződik; előbbiek esetén erős és extrém (36–49,5 °C), utóbbiak esetén enyhe és mérsékelt (25,6–33,7 °C) szintű hőstresszt jelentenek. Október 4-én a mérés alapján számított PET értékek az árnyékban rövid ideig enyhe hidegstresszt, majd stresszmentes (neutrális) viszonyokat jeleztek szinte az egész mérés folyamán. A napos ponton állva azonban először erős, majd extrém hőstressz érte volna

az ott tartózkodók szervezetét, majd a pont beárnyékolódását követően ez enyhe szintre esett volna vissza (20. ábra).

Hasonlóképpen a T_{mrt} grafikonjaihoz (20. ábra), a mérésből származó napos PET értékek is terhelőbb viszonyokat mutatnak, mint a modellezettek. Ezeket az eltéréseket indokolja továbbá a modellezéshez felhasznált egyetemi állomás léghőmérséklet adatsora is, amely a délutáni órákban a Kárász utcán mért értékek alatt fut (T_a ábra). A helyszíni magas T_{mrt} és T_a együttes terhelőbb PET értékeket előidéző hatása valószínűleg jelentősebb lenne, amennyiben a másik két alapparaméter (RH és v) ezt némileg nem kompenzálná. Az egyetemi állomás tartósan magasabb relatív nedvesség és alacsonyabb (redukált) szélesség értékei is az ellenkező irányba hatnak, vagyis a modellezett PET értékek valamivel terhelőbb körülményeket mutatnak (20. ábra).

4.3. Területhasználat

A területhasználat vizsgálatával az emberek termikus környezetre adott viselkedési reakciójára világítok rá. A 21. ábra felső kettő grafikonja 2011.08.22-ére vonatkozik; az első a padokon helyet foglaló embereket ábrázolja, a második pedig a kávéházban lévőket mutatja. A kiválasztott napon nagyon magas volt a léghőmérséklet és a globálisugárzás, valamint gyenge szélesség uralkodott, s ez eredményezte a magas PET értékeket mind az árnyékos, mind pedig a napos területrészeken. Az árnyékos PET értékek meghaladták a 33 °C-ot, a napon pedig közel 50 °C-os PET értékeket számítottunk. A padok területhasználatával kapcsolatban két szembetűnő jelenséget figyelhetünk meg: az egyik a látogatottság nagymértékű visszaesése, a másik pedig a napon elhelyezkedők relatív arányának megemelkedése délután 13:00 és 15:00 óra közt. Mindkét jelenség ugyanazzal magyarázható, nevezetesen, hogy ekkor a padok nagy részét direkt sugárzás érte, így az a kevés látogató, aki úgy döntött, hogy elidőzik a területen, nagyrészt csak ezek közül válogathatott. Ezzel viszont ezek az emberek különösen nagy termikus terhelésnek tették ki a szervezetüket. A második grafikonon jól látszik, hogy a mintaterületen lévő kávéházakban rendkívül sokan tartózkodtak a mérési időszak folyamán, s hogy ezek az emberek szinte 100%-ban kihasználták a teraszrészek fölé helyezett napernyők általi árnyékot. A kávézóban lévőek száma többször megközelítette a 200-at (13:30, 16:30, 18:00), s az árnyékolás biztosítottságának köszönhetően a padok igénybevételeben megfigyelhető markáns visszaesés a kávéházak esetén nem jelentkezik (21. ábra).



21. ábra: A Kárász–Klauzál mintaterület területhasználata 2011. augusztus 22-re és 2011. október 4-re vonatkozóan

A 21. ábra második két grafikonja egy későbbi őszi napot mutat be (2011.10.04), mely a korábban említettek szerint meteorológiai értelemben megfelelt a nyári nap definíciójának. A diagramokon megfigyelhető, hogy az augusztusi forrásághoz képest az emberek ekkor szívesebben töltik az idejüket a napos területrészeken, főleg ami a padok igénybevételét illeti. Ez annak is köszönhető, hogy a napsugárzás már nem olyan erős, mint nyáron. A PET értékek is alacsonyabbak, az árnyékban mért maximum 24 °C, a naposé pedig 43,7 °C. A kávéházak igénybevételében megfigyelhető egy kiugró érték 14:30-kor, amikor majdnem 250-en tartózkodtak valamelyik vendéglátóhely teraszrészén. A napon lévők arányának drasztikus visszaesése 16:00 után ezen a napon azzal magyarázható, hogy ekkortól egyszerűen nem álltak rendelkezésre napos alternatívák – szinte az egész területet beárnyéktolták a környező épületek (21. ábra).

5. Eredmények összefoglalása, következtetések

Dolgozatomban arra törekedtem, hogy egy gyakran látogatott szegedi közterületen bemutassam a termikus viszonyok tér- és időbeli alakulását, s elemezzem ezek látogatottságra gyakorolt hatását.

Vizsgálataimat Szeged leghíresebb sétálóutcáján, a Kárász utcán és a hozzá tartozó Klauzál téren végeztem el. Néhány kiválasztott időpontra modellezési eljárás segítségével elkészítettem a mintaterület hőstressz-térképeit. A hőstressz-térképek előállításához szükséges teljes meteorológiai adatbázis a 2011.03.30-tól 2011.10.25-ig terjedő időperiódust fedte le. Elemzéseimet, illetve hőstressz-térképeimet négy kiválasztott nap két-két időpontjára készítettem el: 2011.08.22., 2011.09.13., 2011.10.04. és 2011.10.18.; 14:00 és 17:00 óra. A termikus viszonyok jellemzésére a PET bioklimatikus mérőszámot használtam, mely az emberi test energiaegyenlegén alapul, s egy indexben egyesíti a meteorológiai tényezőknek az emberi szervezetre gyakorolt termofiziológiai hatásait. Ennek köszönhetően reális közelítést nyújt a mintaterületen kialakuló humán hőérzetről, illetve a testet érő hőstressz mértékéről. A második célom annak leellenőrzése volt, hogy a kapott hőstressz-térképek mekkora hasonlóságot mutatnak a helyszínen mért meteorológiai mérésekből származó valós eredményekkel. A harmadik célom a kutatásba bevont terület igénybevételeinek vizsgálata volt.

Az eredményül kapott térképek jól szemléltetik a területen kialakult hőstressz mintázatát különböző időjárási viszonyok idején. Erre a mintázatra a kora délutáni órákban elsősorban a beérkező napsugárzás hat. Erős globálsugárzás mellett egy vagy akár kettő (2011. augusztus. 22. 14:00; 16. ábra) hőstressz-kategória is jellemezheti a terület különböző részeit.

Az ilyen eljárással készült hőstressz-térképek jól használhatók arra, hogy kimutassuk velük egy-egy mintaterület termikus szempontból kritikus pontjait adott időszak (évszak, napszak) során. A Kárász–Klauzál mintaterületen kizárólag az épületek árnyéka, valamint a kávéházak napernyői nyújthatnak menedéket a hőterhelés ellen, mivel a területen nem található fás vegetáció, amely csökkentené a terület termikus terhelését a napsütéses viszonyok mellett.

A modelleredmények validálása során fény derült a modellezési eljárás egyszerűsítésekből adódó torzításaira. Ezek kiküszöbölhetőek egyrészt részletesebb

modellfelbontással, másrészt a modellterületet alkotó objektumok (ez esetben az épületek) sugárzási tulajdonságainak (pl. albedó, emisszivitás) pontosabb, a reális értékeket jobban tükröző megadásával. Érdemes még megjegyezni a modellszámításokhoz szükséges bemeneti adatokkal kapcsolatban, hogy a modellezéshez felhasznált meteorológiai alap-paraméterek akár jelentősen is eltérhetnek a helyszínt jellemző adatoktól. Erre világított rá az egyetemi állomás és a Kárász–Klauzál mintaterületen elhelyezett mikroklíma-állomások a négy kiválasztott napra vonatkozó léghőmérséklet, légnedvesség és szélsősebesség adatainak összehasonlítása. Ha tehát az ember reálisabb hőstressz-térképet szeretne készíteni egy területről, szükséges, hogy a modellezéshez felhasznált bemeneti adatok megfelelő közelségből származzanak (legjobb esetben a terület egy, vagy akár több pontján legyenek mérve).

A területhasználattal kapcsolatban elmondható, hogy a mintaterület padjain elhelyezkedő emberek számának változása megfelel a terület sugárzási viszonyaiban (árnyékoltságában), illetve PET értékeiben megfigyelhető változásnak.

Célszerűnek tartanám hasonló jellegű felmérések kiterjesztését Szeged belterületén lévő további összefüggő zöldterületekre, parkokra, játszóterekre, illetve több időszakra. Különösen a nyári évszak felmérését tartom fontosnak, mivel ekkor számíthatunk a legnagyobb termikus terhelésre. A modellezési eljárást és a helyszíni méréseket a későbbiekben szubjektív vizsgálatokkal (kérdőívezés révén nyert adatok kielemezésével, részletesebb megfigyelésekkel) is bővíteném, hogy reális képet kapjunk arról, miként élik meg az emberek ténylegesen az objektív mérőszámokkal kimutatható termikus viszonyokat. Hosszabb távon ezek a komplex vizsgálatok olyan adatbázist eredményezhetnek, melynek várostervezésben történő felhasználásával komfortosabb közterületek alakíthatók ki. Úgy gondolom, hogy a dolgozatomban kapott eredmények továbbdolgozása hasznos információkat szolgáltatathat a város- és parktervezők, illetve döntéshozók számára a minél komfortosabb városi környezet megteremtése érdekében.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, Dr. Gulyás Ágnes egyetemi adjunktusnak és Dr. Kántor Noémi tudományos munkatársnak (SZTE TTIK Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék) segítségükért, a szakmai beszélgetésekért, valamint hogy nagymértékben hozzájárultak dolgozatom megszületéséhez.

Külön köszönet jár Dr. Kántor Noéminek, aki hathatós segítséget nyújtott a vizsgálataim lebonyolításában és az adatfeldolgozásban, illetve rendelkezésemre bocsátott az irodalmi háttér szemléletes bemutatására szolgáló néhány ábrát.

Köszönet illeti Égerházi Lillát, Kovács Attilát, Muhi Kornélt és Právetz Tamást, akik szintén segítségemre voltak a dolgozatom elkészítésében.

Irodalomjegyzék

- Bánhid, L., 1976: Zárt terek hőérzeti méretezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Bártfai, E., 1986: Az orvosmeteorológia mai helyzete Magyarországon. *Légtér* 31, 16–20.
- Dixon, J.C., Prior, M.J., 1987: Wind-chill indices – a review. *Meteorol Mag* 116, 1–17.
- Fanger, P.O., 1972: Thermal Comfort. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Gulyás, Á., Matzarakis, A., Unger, J., 2006: Assessment of the microclimatic and thermal comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. *Build Environ* 41, 1713–1722.
- Höppe, P., 1992: Ein neues Verfahren zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur in Freien. *Wetter und Leben* 44, 147–151.
- Höppe, P., 1993: Heat balance modelling. *Experientia* 49, 741–746.
- Höppe, P., 1997: Aspects of human biometeorology in past, perfect and future. *Int J Biometeorol* 41, 19–23.
- Höppe, P., 1999: The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol* 43, 71–75.
- Jendritzky, G., 1993: The atmospheric environment – an introduction. *Experientia* 49, 733–738.
- Jendritzky, G., Maarouf, A., Fiala, D., Staiger, H., 2001: Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for Outdoor Applications. Windsor-Conference on Thermal Standards, April 5–8, Windsor, UK (http://www.utci.org/isb/documents/windsor_vers04.pdf).
- Kántor, N., Unger, J., 2011: The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment – the mean radiant temperature. *Cent Eur J Geosci* 3, 90–100.
- Kántor, N., 2012: Városi közterületek termikus komfortviszonyainak értékelése Szeged példáján különös tekintettel a látogatók szubjektív reakcióira. SZTE PhD dolgozat.
- Kis-Kovács, G., 2008: Emberi hőérzet, hőhatás, stressz. In Halicska Sz. (szerk.): *Embertpróbáló időjárás – orvosmeteorológiáról mindenkinek*. Athenaeum 2000 Kiadó, Budapest, 51–69.
- Knez, I., Thorsson, S., 2006: Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. *Int J Biometeorol* 50, 258–268.
- Matzarakis, A., Mayer H., Iziomon, M.G., 1999: Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol* 43, 76–84.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. *Int J Biometeorol* 51, 323–334.
- Mayer, H., Höppe, P., 1987: Thermal comfort of man in outdoor urban spaces: Understanding the human parameter. *Solar Energy* 70, 227–235.
- Mayer, H., 1993: Urban bioclimatology. *Experientia* 49, 957–963.

- Mayer, H., Holst, J., Dostal, P., Imbery, F., Schindler, D., 2008: Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. *Meteorol Zeitschr* 17, 241–250.
- Péczei, Gy., 1979: Éghajlat. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Rakonczi, J., 2008: Globális környezeti kihívásaink. Universitas Szeged Kiadó, Szeged.
- Thorsson S., Lindberg F., Holmér B., 2007: Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *Int J Climatol* 27, 1983–1993.
- Unger J., 1997: Városklimatológia – Szeged városklimája. *Acta Climatol Univ Szegediensis* 31/B (Urban Climate Special Issue), 69 p.
- Unger J., Sümeghy Z., 2002: Környezeti klimatológia. Kisléptékű éghajlatok, városklíma. SZTE TTK, JATEPress, Szeged.
- Unger, J., Sümeghy, Z., Kántor, N., Gulyás, Á., 2012: Kisléptékű környezeti klimatológia. SZTE TTK, JATEPress, Szeged.
- VDI, 1998: Methods for the human-biometeorological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. Part I: Climate. VDI 3787. Beuth, Berlin, 29 p.
- WMO, 1992: Climatic impacts and applications. No.726, Chapter 6, 72–80.
- WHO, 2004: Heat-waves: risks and responses. Series, No. 2, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 124 p.

Internetes forrás:

- [1] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Szeged>
- [2] <http://www.u-szeged.hu/felveteli/szeged?objectParentFolderId=1249>
- [3] http://hu.wikipedia.org/wiki/Klauz%C3%A1l_t%C3%A9r_%28Szeged%29