SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Városi közterületek komplex humán-bioklimatológiai értékelése és annak várostervezési vonatkozásai szegedi példák alapján

ÉGERHÁZI LILLA ANDREA

TÉMAVEZETŐK:
DR. UNGER JÁNOS
tanszékvezető egyetemi tanár

DR. KÁNTOR NOÉMI
tudományos munkatárs

SZTE TTIK ÉGHAJLATTANI ÉS TÁJFÖLDRAJZI TANSZÉK

SZEGED
2014

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, PROBLÉMAFELVETÉS, CÉLKITŰZÉS 3

1.1. PROBLÉMAFELVETÉS 3
1.2. CÉLKITŰZÉS 4

2. IRODALMI ELŐZMÉNYEK 5

2.1. A VÁROS MINT A MEGVÁLTOZOTT TERMÉSZETES KÖRNYEZET 5
2.1.1. A városi környezet néhány aspektusa 5
2.1.2. Hatáskomplexek: a szervezetre ható légköri tényezők 8
2.2. A SZERVEZET VÁLASZREAKCIÓI A TERMIKUS VISZONYOKRA 9
2.2.1. Az emberi test hőszabályozása 10
2.2.2. A szervezet hőcserefolyamatai és az arra ható légköri tényezők 12
2.3. A TERMIKUS KOMFORTÉRZET ÉS SZÁMSZERŰSÍTÉSE 14
2.3.1. A termikus komfortérzet fogalmának megközelítései 14
2.3.2. A humán-bioklimatológiai mérőszámok 15
2.4. A TERMIKUS ALAPPARAMÉTEREK GYŰJTÉSE ÉS ELŐÁLLÍTÁSA A VÁROSI KÖZTERÜLETEK BIOKLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATA SORÁN 20
2.4.1. Helyszíni mérések mobil mérőállomásokkal 21
2.4.2. A klímaparaméterek beszerzése telepített mérőállomások adatbázisából 24
2.4.3. A termikus paraméterek térbeli kiterjesztése mikroklíma-modellek segítségével 25
2.5. A FONTOSABB MIKROKLIMATOLÓGIAI MODELLEK ÉS A BENNÜK REJLŐ LEHETŐSÉGEK 26
2.5.1. A RayMan Pro modell 27
2.5.2. Az ENVI-met System modell 29
2.5.3. Egyéb modellek 31
2.5.4. A modellek alkalmazásának nemzetközi tapasztalatai és felhasználási lehetőségeik a várostervezésben – néhány jellemző példa 32
2.6. A HUMÁN TÉNYEZŐ BEVONÁSA A VÁROSI HUMÁN-BIOKLIMATOLÓGIAI KUTATÁSOKBA 35
2.6.1. A látogatók megfigyelésére épülő vizsgálatok 35
2.6.2. A kérdőíves felmérésen alapuló vizsgálatok 36

3. A SZEGEDI HUMÁN-BIOKLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATSOROZAT 38

3.1 A MÉRÉSSOROZAT HELYSZÍNEI 38
3.1.1. Szeged földrajzi fekvése, városszerkezetének és éghajlatának rövid ismertetése 38
3.1.2. A vizsgált mintaterületek bemutatása 39
3.2. ADATGYŰJTÉS – HELYSZÍNI MÉRÉSEK ÉS MODELLEZÉSEK 42
3.2.1. A mintaterületre érkezők megfigyelése 43
3.2.2. Kérdőíves felmérés 45
3.2.3. A mikrometeorológiai paraméterek helyszíni mérése 46
3.2.4. A mikro-bioklimatológiai viszonyok modellezése egy kiválasztott mintaterületen 47
3.3. A MIKROKLÍMA-MODELLEZÉS FOLYAMATÁNAK RÉSZLETEI 48
3.3.1. A szimulációk meteorológiai háttéradatai 48
3.3.2. A tereptárgyak és a felszínborítás adatbázisa 49
3.3.3. Az ENVI-met modellfuttatáshoz szükséges előkészületek 50
3.3.4. A RayMan modellfuttatáshoz szükséges előkészületek 51
3.4. AZ ADATFELDOLGOZÁS SORÁN ALKALMAZOTT MÓDSZEREK 53
3.4.1. A mért adatokból származtatott bioklimatológiai mérőszámok 53
3.4.2. A modelleredmények térbeli megjelenítése: a hőstressztérképek készítése 53
3.4.3. A modelleredmények összevetése a mért adatokkal 54
3.4.4. A szubjektív reakciók összekapcsolása a modellezett eredményekkel 55

4. EREDMÉNYEK 56

4.1. A VIZSGÁLATOK IDŐJÁRÁSI HÁTTÉRKÖRÜLMÉNYEI 56
4.2. A MINTATERÜLETEK TERMIKUS VISZONYAINAK ÉRTÉKELÉSE A HELYSZÍNI FELMÉRÉSEK EREDMÉNYEI ALAPJÁN 59
4.2.1. A vizsgált közterületek kialakításából adódó mikro-bioklimatológiai módosulások 60
4.2.2. A mintaterületeken kifejlődött termikus viszonyok értékelése 66
4.2.3. A mikro-bioklimatikus paraméterek időbeli alakulása a Retek utcai játszótér árnyékos és napos mérőpontjain 69
4.3. A MIKROKLIMATOLÓGIAI SZIMULÁCIÓKBÓL NYERT EREDMÉNYEK A RETEK UTCAI JÁTSZÓTÉR PÉLDÁJÁN 73

4.3.1. A mikro-bioklimatikus viszonyok térbeli mintázata három különböző meteorológiai háttérrel rendelkező napon ... *73*
4.3.2. Az ENVI-met és RayMan modellből származó hőstressztérképek összevetése ... *77*
4.3.3. A modelleredmények összevetése a helyszíni mérésekkel ... *81*
4.4. A VIZSGÁLT JÁTSZÓTÉR LÁTOGATOTTSÁGA A MEGFIGYELT ADATOK ALAPJÁN ... 86
4.4.1. A játszótér igénybevételének időbeli mintázata ... *86*
4.4.2. A területhasználat térbeli mintázata a termikus viszonyok tükrében ... *89*
4.5. A RETEK UTCAI JÁTSZÓTÉR SZUBJEKTÍV ÉRTÉKELÉSE ... 91

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS KITEKINTÉS ... 95

5.1. AZ ALKALMAZOTT MODELLEK ÉRTÉKELÉSE ... 95
5.2. MEGOLDÁSI JAVASLATOK A TERMIKUS TERHELÉS MÉRSÉKLÉSÉRE ... 98
5.3. A TERMIKUS KOMFORTKUTATÁSOK BEILLESZTÉSE A VÁROSTERVEZÉS GYAKORLATÁBA ... 101

6. ÖSSZEFOGLALÁS ... 106

7. SUMMARY ... 110

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ... 114

IRODALOMJEGYZÉK ... 115

1. BEVEZETÉS, PROBLÉMAFELVETÉS, CÉLKITŰZÉS

1.1. PROBLÉMAFELVETÉS

Napjaink gyorsuló ütemű urbanizációs folyamatainak eredményeként a világnépesség több mint fele városi területeken él és dolgozik (*UNFPA* 2011). A városok számának és térbeli kiterjedésének növekedése azonban magában hordozza azt is, hogy a lakosság egyre nagyobb hányadát érintik a települési környezet terhelő és olykor ártalmas hatásai. Ez utóbbiért elsősorban a nagy hőtároló-képességű mesterséges anyagok, az antropogén tevékenységeket (pl. közlekedés, ipar, fűtés vagy a légkondicionáló berendezések túlzott használata) kísérő szennyezőanyag- és hőkibocsátás, valamint a városi területek rossz átszellőzése tehető felelőssé. A városok – természetes területekhez képest – megváltozott fizikai tulajdonságai révén kialakuló hőterhelése, továbbá a légszennyezés, a zaj, a fokozott élettempó és az ezzel járó stressz hosszú távon számos egészségügyi probléma kiváltó okai lehetnek, de rövid távon is jelentősen befolyásolják életünket. Hatással vannak ugyanis többek között teljesítőképességünkre, valamint mindennapi komfortérzetünkre is (*Unger et al.* 2012).

A fennálló városi és városklimatológiai problémákat tovább súlyosbítja, hogy a globális klímaváltozás jelenlegi tendenciái a szárazföldi területek nagy részén a hőmérséklet további emelkedését, valamint a szélsőséges időjárási események egyre gyakoribbá válását jelzik előre (*IPCC* 2013). Ez pedig további kihívások elé állítja szervezetünk alkalmazkodóképességét.

A településeken élő és dolgozó emberek egészségének és közérzetének figyelembevétele, a szervezetüket érő stresszhatások mérséklése különösen fontos feladatnak tekinthető a várostervezés és -fejlesztés során, melyek megvalósulásához elengedhetetlen a városi környezet hatásainak fiziológiai szempontú elemzése. Napjainkban egyre inkább előtérbe kerülnek azok a törekvések, melyek az emberi életminőség javítására és a humánkomfort-viszonyok optimalizálására, azaz hétköznapi kifejezéssel élve „az élhető városi környezet” megteremtésére és fenntartására irányulnak. A várostervezés és -rendezés területén azonban (mind hazai, mind pedig nemzetközi szinten) többnyire az esztétika az elsődleges tervezői szempont, sokszor a praktikus városszerkezet és a humánkomfort-viszonyok figyelembe vételének rovására. Tény azonban, hogy a várostervezés és a tervek kivitelezése során a tervezőknek, területrendezőknek és építészeknek számtalan tételből álló szempontrendszernek kell megfelelniük, s elkerülhetetlen, hogy bizonyos aspektusok mások rovására jussanak érvényre. Fontosnak tartom azonban az emberi hőérzettel s a hozzá kapcsolódó ún. termikus komfortérzettel kapcsolatos tényezők (hangsúlyosabb) figyelembevételét, hiszen azok jelentősebb hatással bírnak az emberi életminőségre, mint önmagában a látványos megjelenés. Ebben nyújthatnak segítséget a várostervezőknek a városi légtér meteorológiai-klimatológiai, valamint légszennyezési viszonyaira fókuszáló humán-bioklimatológiai vizsgálatok, melyek elsősorban arra helyezik a hangsúlyt, hogy feltárják, milyen hatást gyakorolnak az emberekre az urbanizálódott területek módosult klímaviszonyai, valamint hogy meghatározzák az ott élők számára legideálisabb városi klímát (*Mayer* 1993). Emellett iránymutatással kell szolgálniuk a várostervezők és döntéshozók számára, hogy ésszerű tervezési stratégiákkal, a városrendezés során felhasznált anyagok megfelelő megválasztásával és felhasználásával, valamint a városi zöldterületek és -felületek növelésével megalapozzák egy élhetőbb és komfortosabb városi környezet megteremtését (*Eliasson* 2000).

1.2. CÉLKITŰZÉS

Doktori munkám egyik fő mozgatórugója az volt, hogy hozzájáruljak egy olyan letisztult, a város- és közterület-tervezés gyakorlatában is alkalmazható humán-bioklimatológiai módszertan kidolgozásához, mely a pusztán „esztétikumalapú" tervezéssel szemben különös figyelmet fordít a városlakók komfortérzetére és életminőségére is. Ezen kívül eredményei relevánsak a közeljövőben várható klimatikus trendek tekintetében, és nem csupán a fennálló, illetve a jövőbeli problémákra hívja fel a figyelmet, hanem megpróbál azokra megoldásokat is találni. Másfelől szeretnék munkámmal bekapcsolódni a nemzetközi szinten már kiterjedt, a hazai viszonylatban azonban még kevésbé ismert szabadtéri hőstressz-, illetve termikus komfortkutatásokba.

Kutatómunkám során a következő célokat tűztem ki magam elé:

- röviden bemutatassam a városi humán-bioklimatológia tudományát, továbbá ismertessem az ehhez kapcsolódó hazai és nemzetközi vizsgálatok legfontosabb kutatási eredményeit,
- átfogó képet adjak a több éven át tartó szegedi humán-bioklimatológiai projektről, melybe saját vizsgálataim is illeszkednek, s melynek keretében több városi közterület, illetve azok termikus komfortviszonyainak sokrétű felmérése zajlott,
- számszerűen jellemezzem a termikus terhelés mértékét a vizsgált szegedi közterületeken, s kimutassam a terek kialakításából eredő mikro-bioklimatikus módosító hatások mértékét,
- részletesen szemléltessem a termikus viszonyok térbeli és időbeli alakulását két nemzetközileg is elismert mikro-bioklímamodell segítségével,
- megbecsüljem a modellek megbízhatóságát, értékeljem azok előnyeit, hátrányait, valamint az alkalmazásuk lehetőségeit, elősegítve ezzel várostervezési felhasználásukat,
- megvizsgáljam, miként jelennek meg egy közterület termikus viszonyainak időbeli, illetve térbeli jellegzetességei a területhasználat mintázatában, illetve a látogatók reakcióiban,
- részletesen értékeljem a látogatók területkialakítással kapcsolatos szubjektív véleményeit,
- környezet- és klímatudatos megoldási javaslatokkal szolgáljak a városi területeken jelentkező termikus terhelések mérséklésére,
- munkámmal elősegítsem egy új várostervezési szemléletmód bevezetését, és egy – a közterületek széleskörű vizsgálatán alapuló – tervezési útmutatóval szolgáljak a szabadtéri komfortviszonyok lehetséges optimalizálása érdekében.

2. IRODALMI ELŐZMÉNYEK

2.1. A VÁROS MINT A MEGVÁLTOZOTT TERMÉSZETES KÖRNYEZET

A lakosság nagy tömegeinek helyet adó városi területeken a hajdan zavartalan természetes környezet drasztikus átalakuláson ment keresztül. Ez többek között olyan − eredetileg a városlakók kényelmét és a városi életvitel hatékonyságát szolgáló − intézkedéseknek köszönhető, mint az úthálózatok kialakítása, a csatornázás vagy a tömeges építkezések. Ezeket az igényeket azonban elsősorban olyan mesterséges építőelemek szolgálják ki, melyek textúrájukban, színükben, emellett tartósságukban és teherbírásukban jelentősen eltérnek a természetes anyagoktól.

Mára az emberi tevékenység oly intenzitásúvá vált a városokban, hogy a környezet anyagi tulajdonságainak megváltoztatásán túl az ebből eredő járulékos hatások is megjelentek, amelyeket elsősorban a városlakók szenvednek el. Az alábbiakban a városi élettér néhány jellegzetes vonását mutatom be.

2.1.1. A városi környezet néhány aspektusa

A városi talajok és a felszínborítás

A városok nagymértékben módosítják az alattuk fekvő felszíneket, ezáltal megváltoztatják a talajok fizikai és kémiai tulajdonságait (*Doichinova et al.* 2006). A városi talajok sajátos jellemzője a nagyfokú mechanikai tömődöttség, az ebből adódó szerkezetnélküliség, oxigénhiány, illetve a rendellenes levegő- és vízháztartás. Tápanyagokban, lebontó szervezetekben és mikroorganizmusokban elszegényednek, humusztartalmuk lecsökken (*Craul* 1994), továbbá az intenzív antropogén tevékenységek (pl. közlekedés, hulladéklerakók létesítése) hatására a városi talajok felső szintjében akár mérgező anyagok is feldúsulhatnak (*Jámbor* 1982, *Szabó* 1996).

A fokozott építkezések következményeként a településeken a vizet és a levegőt át nem eresztő mesterséges rétegek, így az aszfalt, a beton és a különféle térkövek válnak meghatározóvá. A természetestől eltérő anyagú, állagú, színű, és így megváltozott hővezető-képességű, hőkapacitású és albedójú építőanyagok egyeduralkodóvá válnak, módosítva ezáltal a települések energia- és vízegyenlegét (*Asaeda et al.* 1996). A folyamatos, olykor egymásra rakódó építkezések eredményeként ún. „kultúrszint” alakul ki a városi talajok felszíni rétegében, amely az évek múlásával egyre vastagodik.

Fontos említést tenni a településeket behálózó csatornarendszerekről és vízelvezető árkokról, melyek az alapvetően vízzáró felszínborítással együtt megakadályozzák a felszínre hulló csapadék talajba szivárgását. Ez az antropogén vízkitermeléssel együtt a talajvízszint drasztikus lecsökkenését eredményezi a városi területeken (*Jámbor* 1982, *Farsang és Puskás* 2007). A mesterséges burkolatok, az építkezések és a leromlott talajadottságok eredőjeként a vegetáció szinte teljesen kiszorul az urbánus közegből, holott a növényzetnek és azon belül is elsősorban a fás vegetációnak (árnyékoló és szennyezés-megkötő hatása révén) igen fontos szerep jut az élhető és komfortos városi környezet megteremtésében (*Shahidan et al.* 2010).

A sugárzási mérleg, az energia- és vízegyenleg jellemzői

A felszínre érkező, illetve az onnan visszaverődő napsugarak a szennyezettebb városi légtérben jelentősebb mértékben gyengülnek, mint a vidéki területeken. Ennek következtében a

városi felszínek **rövidhullámú sugárzási** bevétele akár 2−10%-kal is kevesebb lehet (*Peterson és Stoffel* 1980). A csökkenés menetében napi tendencia figyelhető meg, attól függően, hogy a napsugarak milyen hosszú utat tesznek meg a városi légkörben. A településeken azonban nem csak a rövidhullámú sugárzási bevétel, hanem a kiadás is mérséklődik, amit egyrészt az építőanyagok lecsökkent albedója (*Oke* 1974), másrészt a tagolt városi felszínek hatására csapdába eső napsugarak okoznak. Ezekből az egymást ellensúlyozó folyamatokból adódóan a város egészére vonatkoztatott teljes rövidhullámú sugárzási mérleg nem módosul számottevően a vidéki területekhez képest.

Hasonló tapasztalható a **hosszúhullámú sugárzási** egyenleg esetén is. Bár a felmelegedett felszínek révén megnövekszik a város mint rendszer hosszúhullámú kisugárzása, ennek jelentős részét a szennyezett városi légtér elnyeli, majd a bejövő égboltsugárzással együtt visszasugározza a felszínre. Ehhez hozzáadódik, hogy maga a felmelegedett városi levegő is bocsát ki hosszúhullámú sugárzást (*Unger et al*. 2012). Végső soron tehát a teljes sugárzási mérleg nem változik számottevően a természetes területekhez képest, az eltérés a legtöbb esetben 5% alatti (*Probáld* 1975). Érdemes azonban megemlíteni, hogy a rövid- és hosszúhullámú sugárzásokkal kapcsolatos számítások a legtöbb esetben a városi légtér felsőbb zónáira vonatkoznak. Az utcák szintjén − ahol az átlagos városlakó idejének nagy részét tölti − humán szemszögből nézve jóval nagyobb különbségek is előfordulnak.

A települések teljes **energiaegyenlegében** már markánsabb eltérések figyelhetők meg. Ennek hátterében részben az áll, hogy az energiaegyenleg a vidéki területekhez képest egy további tényezővel, az antropogén hőtermeléssel egészül ki. Ennek értéke a felhasznált fűtőanyag mennyiségéből becsülhető; tipikus napi átlaga (a külterülettől a belváros felé haladva) 5–50 Wm^{-2} között változik (*Oke* 1988). Az energiaegyenleg alakulása szempontjából a városi felszínek lecsökkent nedvességtartalmának is fontos szerep jut. Ebből adódóan ugyanis (elsősorban száraz időszakban) mérséklődik a látens hő részaránya, ami jelentősen megemeli a településeken az érzékelhető és a rendszerben tárolt hő mennyiségét (*Unger és Sümeghy* 2002).

A városi területek **vízegyenlege** szintén nagymértékben eltér a természetes megfelelőjétől, hiszen a rendszer bevételi oldalán újabb tagok jelennek meg. A város vízháztartásánál számolnunk kell az antropogén égési folyamatok (pl. közlekedés, ipari tevékenység, fűtés) révén a városi légtérbe került vízmennyiséggel, valamint a távolabbi, vidéki területekről vagy a mélyebb rétegekből a városba szállított víznyereséggel. Ez utóbbi elsősorban a lakosság és az ipar megnövekedett vízigényét elégíti ki. Fontos megemlíteni, hogy ezek a vízbevételi források leginkább antropogén tevékenységekhez kötődnek, illetve emberi döntések eredményei, így jellegzetes napi és éves ritmust mutatnak. A város vízegyenlegére ezek mellett befolyással bír, hogy az urbánus környezetben a csapadékösszeg kissé megemelkedhet, valamint a vizet át nem eresztő felszíneknek köszönhetően a lefolyás valamelyest megnövekszik a természetes területekhez képest (*Unger és Gulyás* 2000).

A klímaparaméterek módosulása a városokban

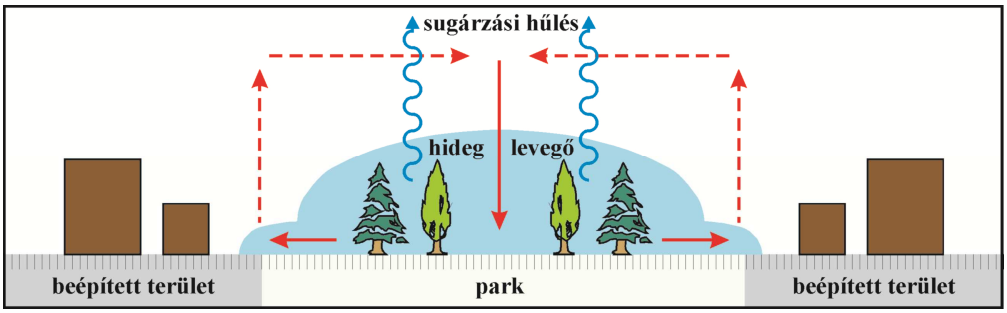
A természetes területekhez képest jelentősen módosult városi környezetben az erős tagoltság, valamint az egyes felszínek anyagi tulajdonságainak eredőjeként jellegzetes klimatikus viszonyok fejlődnek ki. Ez az ún. **városklíma**, mely definíció szerint egy olyan lokális éghajlat, amely a beépített városi területek és a regionális szintű klíma kölcsönhatásának eredményeként alakul ki (*WHO* 2004).

A települések klímáját elsősorban a földrajzi helyzet, a városszerkezet és a környezeti adottságok határozzák meg, de egyéb tartós és intenzív antropogén beavatkozások tovább módosíthatják. A városklímát befolyásoló legfontosabb tényezőket a 2.1.1. táblázat foglalja össze. E szerint bizonyos hatótényezők kötöttek, nem módosíthatók, míg mások könnyebben változtathatók és tudatosan tervezhetők (*Unger et al.* 2012), ami támpontot adhat a fenntartható, klímabarát várostervezés számára.

2.1.1. táblázat A települések klímáját meghatározó legfontosabb tényezők (*Unger et al.* 2012 nyomán)

A VÁROSKLÍMÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK					
Földrajzi helyzet	**Idő**	**Időjárás**	**Városméret**	**Városi aktivitás**	**Városszerkezet**
klíma domborzat környék felszínjellege vízpart közelsége	napszak évszak	szél felhőzet légköri stabilitás	kiterjedés lakósűrűség	energiafelhasználás vízfelhasználás kibocsátások	építőanyagok geometria felszínborítás
kötött	**módosító**		**szabályozható**		

A települések sajátos klímájának egyik legtipikusabb megjelenési formája az ún**. városi hősziget**, mely a városok felett és a felszín alatt néhány méteres mélységig tapasztalható hőmérsékleti többletet jelenti a környező, vidéki területekhez képest (*Landsberg* 1981, *Oke* 1987). Amennyiben külön nem jelölik, a városi hősziget a felszínközeli levegő hőmérsékletére vonatkozik, s intenzitását a városi és a vidéki területeken azonos magasságban, illetve egy időben mért értékek különbségével adják meg (*Oke* 1987, *Unger* 1992, 1996). Napi maximumát rendszerint napnyugta után 3–5 órával éri el (*Oke és Maxwell* 1975, *Oke* 1981). Ez elsősorban a forró nyári nappalokat követő éjszakákon okozhat problémákat, legfőképp a humánkomfort és az egészségügy szempontjából, hiszen megakadályozza a városlakók éjszakai felfrissülését (*Gulyás* 2009). Az ebből adódó hőterhelés mérséklésében igen fontos szerep jut a városi parkoknak, fasoroknak és zöldövezeteknek, hiszen azok – kiterjedésüktől függően – jelentős hőmérséklet-csökkentő hatással bírnak (*Jonsson* 2004, *Shashua-Bar et al.* 2011, *Chow et al.* 2011, *Cohen et al.* 2012).



2.1.1. ábra A parki szellő kialakulásának sematikus ábrája (*Unger et al.* 2012)

A vegetációval borított felszínek helyi hűtőhatásának köszönhetően a város egyes részei (pl. a mesterséges felszínek) melegebbek, míg mások (pl. a zöldterületek) hűvösebbek lesznek, ez pedig egy kisléptékű cirkuláció, az ún. **park szellő** kialakulásához vezet. A szellő a felszínhez közel a zöldterületek irányából indul ki, majd ezt a kiáramló levegőt a zöldterületek felett egy lefelé mozgó légáramlat pótolja (2.1.1. ábra). A légmozgás a park méretétől függően néhány 100 m-től akár 1-2 km-ig is érezhető (*Eliasson és Upmanis* 2000, *Unger et al.* 2012).

Nagy általánosságban az erősen tagolt és érdesebb városi felszínek felett a légmozgás jelentősen mérséklődik, egyes esetekben azonban a szélsebesség felerősödése, ún. ventillációs folyosók kialakulása tapasztalható. Ezeknek a feltérképezése és fenntartása napjainkban egyre fontosabbá válik, mert hozzájárulnak a belvárosi hőterhelés mérsékléséhez és a szennyezett városi levegő felhígulásához (*Gál és Unger* 2009, *Unger et al*. 2012).

Gyenge regionális szélviszonyok esetén a város maga is generál egy, a park szellőhöz hasonló mechanizmusú légmozgást. Ez az ún. **vidéki szellő**, mely a csaknem mindig melegebb városi környezet hatására az alsóbb légrétegekben a vidéki területek irányából indul meg. A meleg levegő a települések magjában feláramlik, és egy sajátos cirkulációt indukál (*Eliasson és Holmer* 1990). A vidéki szellő jellegzetessége, hogy jelenléte közben gyengíti a kialakulásához nélkülözhetetlen hősziget-intenzitást, és ha az egy adott küszöbérték alá esik, akkor a cirkuláció leáll.

Végezetül említést kell tenni a **páratartalom** és a **csapadékviszonyok** városi módosulásairól is. A településeken a párologtató, természetes felszínek csökkenésével a levegő intenzív kiszáradása jellemző, ami elsősorban a relatív nedvesség alacsonyabb értékeiben mutatkozik meg. A szennyezett városi légkörben a kondenzációs magvak megnövekedett száma pedig kedvez a köd- és felhőképződésnek, ez utóbbi többletcsapadékot eredményezhet a városokban. A korszerű fűtési és termelési technológiáknak köszönhetően azonban a levegőtisztasági feltételek jelentősen javultak a városokban, ami egyben a ködös periódusok gyakoriságának csökkenését vonta maga után (*Landsberg* 1981).

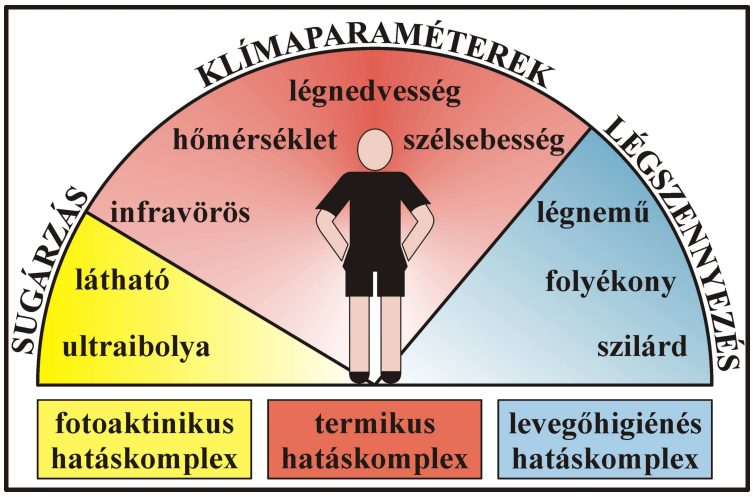
A légköri tényezőknek az előbbiekben bemutatott városi módosulásaival a **városklimatológia** tudománya foglalkozik részletesen. Különbséget kell azonban tennünk a tekintetben, hogy a sugárzási mérleg, az energiaegyenleg és a klímaparaméterek alakulását a teljes városi környezetre vonatkozóan, vagy pedig a városban tartózkodó emberi szervezet szemszögéből tanulmányozzuk. A **városi humán-bioklimatológia** (vagy város-bioklimatológia) tudománya – a városklimatológia részeként – már túlmutat az egyes légköri elemek városi módosulásainak értékelésén, s e helyett azok összesített hatására koncentrál, elsősorban az emberi egészség és komfortérzet aspektusából. E tudományterület a humán-bioklimatológia speciálisan városi területekre fókuszáló része, és legfontosabb feladata azon túl, hogy megvizsgálja, miként hatnak az emberekre az urbanizálódott területek módosult klímaviszonyai, megállapítsa az ott élők számára legideálisabb városi klímát (*Höppe* 1997, *VDI* 1998, *Mayer* 1993).

2.1.2. Hatáskomplexek: a szervezetre ható légköri tényezők

Az atmoszférikus környezet egyes hatótényezőit nem lehet egymástól elkülönítve kezelni és tanulmányozni, hiszen azok összefonódva, komplex módon lépnek kapcsolatba a szervezettel, befolyásolva ezáltal a test belső (dinamikus) egyensúlyi állapotát, a homeosztázist. A humán-bioklimatológia ezeket az elemeket – attól függően, hogy milyen válaszmechanizmusokat váltanak ki az emberekben – három nagyobb csoportba, ún. hatáskomplexekbe sorolja (2.1.2. ábra).

A **fotoaktinikus hatáskomplexbe** a napsugárzás azon tartományai tartoznak, amelyek (a hőhatást leszámítva) valamilyen biokémiai reakciót idéznek elő a szervezetben. Ilyen hatást fejtenek ki az ultraibolya sugárzás egyes részei (UV-A és UV-B, 280–380 nm hullámhossztartomány), melyek a sztratoszférikus ózonrétegen áthatolva még képesek eljutni a légkör alsóbb rétegeibe. Ezen sugárzási tartományok felelősek például a bőrben lejátszódó D-vitamin-

szintézisért, a pigmentációért, illetve olyan kellemetlen folyamatokért, mint a gyulladásos bőrpír, a szem különböző kóros elváltozásai (pl. szürkehályog, szaruhártya-gyulladás), a bőröregedés meggyorsítása vagy a bőrrák. A fotoaktinikus komplex másik fontos tartománya a látható fény, mely többek között a színérzékelésben és a szervezet ún. cirkadián ritmusának beállításában játszik szerepet (*Jendritzky* 1993).



2.1.2. ábra A humán-bioklimatológia hatáskomplexei (*Jendritzky* 1993, *VDI* 1998)

A **levegőhigiénés hatáskomplex** az egészségre káros légnemű, szilárd vagy folyékony halmazállapotú, természetes vagy antropogén eredetű, nyílt vagy zárt térben található légszennyezési komponenseket foglalja össze. Ezek szervezetre gyakorolt hatása elsősorban légköri koncentrációjuktól függ, amely a kibocsátás, tovaszállítás, valamint az eközben bekövetkező különböző hígulási folyamatok és az esetleges kémiai átalakulások során alakul. Ezt nagymértékben befolyásolják a légköri állapotjelzők is, köztük a szélsebesség, a napsugárzás, a csapadék mennyisége és eloszlása, valamint a páratartalom (*VDI* 1998).

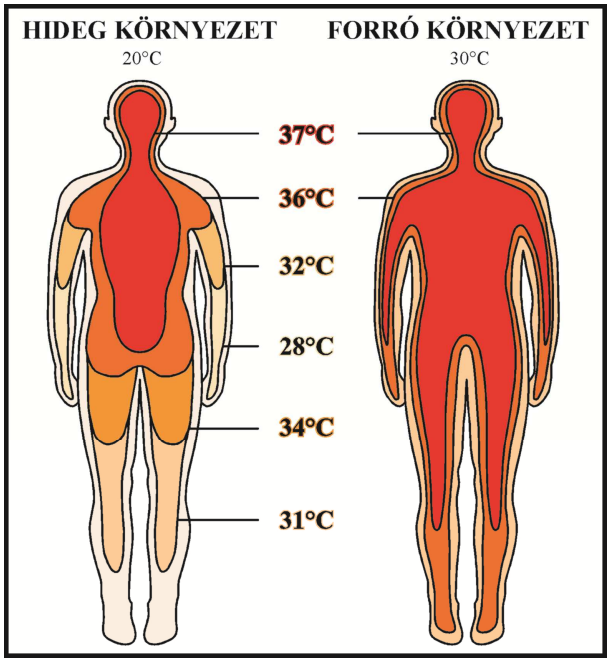
Az ún. **termikus hatáskomplex** azokkal a meteorológiai paraméterekkel foglalkozik, amelyek az emberi szervezet hőszabályozó (termoregulációs) mechanizmusaira hatnak. Ide tartozik a léghőmérséklet, a légnedvesség, a légmozgás, valamint a hőhatású (infravörös) sugárzás (*Jendritzky* 1993, *VDI* 1998). Ezeknek a paramétereknek az összessége jelenti a bennünket körülvevő termikus környezetet, így hőérzetünk értékelése szempontjából egyik sem hanyagolható el.

Mivel dolgozatom az atmoszférikus tényezőkön belül elsősorban a termikus környezet szervezetre gyakorolt hatásaira és az ebből eredő stresszhelyzetekre, illetve a hozzá kapcsolódó humán-komfortérzet témakörére fókuszál, a továbbiakban az ehhez szorosan kötődő ismereteket részletezem.

2.2. A SZERVEZET VÁLASZREAKCIÓI A TERMIKUS VISZONYOKRA

Az emberi test – valamennyi homoioterm élőlényhez hasonlóan – többé-kevésbé állandó (kb. 37 °C) hőmérsékletű, melyet szervezetünk folyamatosan működő hőszabályozási folyamatai tartanak fenn. A termoregulációs mechanizmusok tekintetében akkor beszélhetünk alapállapotról, ha mind a hőtermelés, mind pedig a hőleadás minimumértéken van. Ez ruházattal fedett (és nyugalomban lévő) test esetén 20–24 °C, míg ruha nélkül 27–29 °C környezeti hőmérsékleten valósulhat meg.

Testünk a hőszabályozás szempontjából egy kétszintes rendszerhez hasonlítható, mely a testmagra és a testköpenyre osztható. A testmag a belső szerveinket foglalja magába, melynek állandó hőmérsékleten (ún. maghőmérséklet) tartása nélkülözhetetlen a normális testi folyamatok szempontjából. A köpenyhez sorolható a teljes bőrfelület, a bőr alatti kötőszövetek és a végtagok tömegének legnagyobb − elsősorban a törzstől távolabb elhelyezkedő − része. A köpeny külső felszínének a hőmérséklete, az ún. bőrhőmérséklet a környezetből érkező hatások függvényében jóval szélesebb határok között mozog, mint a maghőmérséklet (*Höppe* 1993, 2.2.1. ábra).



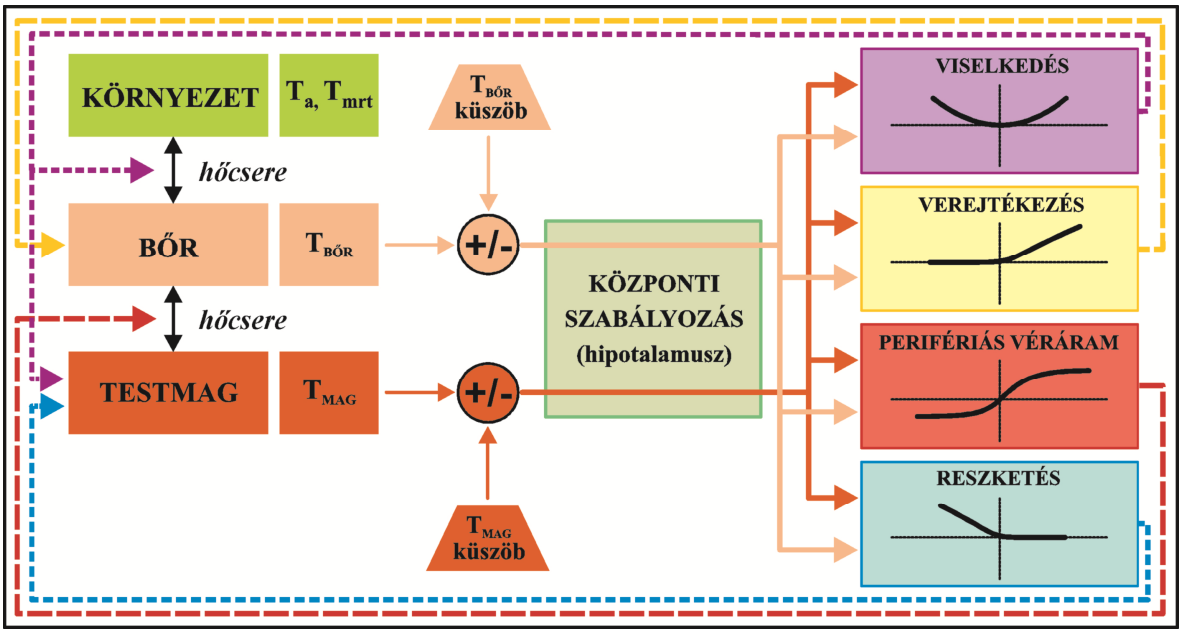
2.2.1. ábra A testmag, illetve a testköpeny hőmérsékleti régióinak változása hideg és forró környezeti feltételek esetén (*Höppe* 1993, *Schuh* 2009)

2.2.1. Az emberi test hőszabályozása

A termikus környezet megváltozását szervezetünk ingerként éli meg, melynek hatására a bőrünkben lévő receptorok ún. hibajeleket küldenek a termoregulációs központokba, és utána megkezdődik a hiba elhárítása. A szabályozás legfontosabb központi szerve a hipotalamusz, melynek tevékenysége a bőr vérkeringésének szabályozásán túl a szervezet hőtermelésére, valamint a verejtékmirigyek működésének serkentésére is kiterjed (*Kis-Kovács* 2008).

A hibajelek alapvetően két csoportra oszthatók. A környezetünk, és vele együtt testünk lehűlésekor az agyunk az ún. „hideg jelzést” érzékeli. Ennek hatására a **bőr erei összehúzódnak**, így mérséklődik a perifériákra kiáramló vér mennyisége (és ezáltal csökken a szervezet hőleadása), valamint a **tápanyagok elégetésének fokozásával** növekszik a szervezet saját hőtermelése. A szervezet további jellegzetes reakciója a **didergés**, ami akkor következik be, ha a hőleadás mértéke meghaladja a szervezet által megtermelt energia mennyiségét. Ebben az esetben testünk a szükséges hőt az izmok akaratunktól független folyamatos mozgatásával éri el. Lehűlés esetén szervezetünk másik automatikus válasza a **libabőrösség**, melynél a szőrszálakat mozgató izmok összehúzódnak, ami a szőrszálak megemelkedését eredményezi. Az ezzel járó izomtevékenység maga is hőt termel, de a folyamat eredendően a testfelszín szigetelésének megnövekedésében játszott szerepet, elsősorban azokban az időkben, amikor még rendelkeztünk tényleges bundával (*Lányi* 1990).

A termikus környezet melegedésével, és így testhőmérsékletünk (mag-, valamint bőrhőmérsékletünk) emelkedésével az agyunkba ún. „meleg jelzések” érkeznek, melynek következtében testünk **csökkenti a hőtermelését** és növeli a hőleadást. Ennek érdekében **kitágulnak a bőr erei**, hogy minél nagyobb mennyiségű meleg vér áramolhasson a testfelszín közelébe (*Lányi* 1990). (A perifériku vérerek kitágulásának és a korábban említett összehúzódásának együttesét ún. vazomotorikus folyamatoknak nevezik.) Meg kell azonban említeni, hogy testünk „védekező” mechanizmusa ebben az esetben korlátokba ütközik, ugyanis a belső hőtermelés lecsökkentése csak egy bizonyos határérték (alaphőtermelés) eléréséig valósulhat meg, ezek után csupán a fokozott hőleadás hozhat enyhülést (*Lányi* 1990, *Fonyó* 1998, *Havenith* 2005). A további hőelvonásban a szervezet legfontosabb hűtőmechanizmusa, a **verejtékezés** (izzadás) segít. Ennek során a bőrben található verejtékmirigyek váladéka a bőr felszínére kerül, ahol megkezdődik a benne lévő víz elpárolgása (*Fonyó* 1998). A párolgás természetesen hőmennyiség elvonásával jár (azaz látens hő szabadul fel a környezetbe), így hozzájárul a szervezet hűtéséhez. Hozzá kell azonban tenni, hogy a zavartalan párolgáshoz a körülöttünk lévő levegő megfelelően alacsony páratartalmára is szükség van, ugyanis minél magasabb a levegő nedvességtartalma, annál nehezebb a szervezet számára a párologtatás. Ez ad magyarázatot arra, miért érezzük kellemetlenül magunkat az egyidejűleg magas hőmérséklettel és magas nedvességtartalommal jellemezhető „fülledt” időben.



2.2.2. ábra Az emberi szervezet legfontosabb hőszabályozási folyamatai, ahol a jobb oldali grafikonok a hideg és meleg hibajelek (vízszintes tengely), valamint az erre adott humán reakciók (függőleges tengely) közötti összefüggéseket ábrázolják (*Fiala et al.* 2001, *Havenith* 2005 nyomán *Kántor* 2012)

Testünk automatikus, tudatunktól független termoregulációs folyamatait egyéb, **tudatos tevékenységek** is kiegészítik, melyre a humán-bioklimatológia tudománya ún. „viselkedési alkalmazkodásként” hivatkozik. Ezek közé sorolható az akaratlagos testmozgás, pl. hűvösebb időjárás alkalmával a toporgás, vagy melegebb körülmények esetén önmagunk legyezése. A terhelő termikus viszonyokra ezen felül a testhelyzetünk (álló / ülő / fekvő) vagy elhelyezkedésünk megváltoztatásával (pl. árnyékos, napos vagy szélvédett területre húzódással) is reagálhatunk. Szintén az alapvetőbb viselkedési alkalmazkodási formák közé tartozik az aktuális termikus környezetnek megfelelő ruházat megválasztása, illetve a termikus viszonyok módo-

sulásával járó ruházatváltoztatás (2.2.2. ábra). Ezzel kapcsolatban említést kell tenni a humánbioklimatológiai számításokban alkalmazott ún. clo egységről, mely a ruházat hőszigetelőképességének mértékét (I_c) fejezi ki. 1 clo = 0,155 Km^2W^{-1} olyan mértékű szigetelést jelent, mely egy átlagos, egészséges, nyugodtan ülő személy számára komfortos közérzetet biztosít egy olyan környezetben, mely meghatározott paraméterekkel (21 °C léghőmérséklet, 60−70%-os relatív nedvesség, szélcsend) rendelkezik. 1 clo nagyjából egy könnyű, nyári utcai öltözet (vagy vékony öltöny) hőszigetelő-képességének feleltethető meg (*WMO* 1992, *ISO* 2005).

2.2.2. A szervezet hőcserefolyamatai és az arra ható légköri tényezők

Az emberi test energiaegyenlege

Az emberi szervezet zavartalan működése érdekében a test és a környezete között lezajló energiacsere-folyamatoknak kiegyenlítettnek kell lenniük, azaz a test hőtermelésének hosszabb távon meg kell egyeznie a környezetbe leadott nettó energiaveszteséggel (*Kis-Kovács* 2008).

Az emberi test hőháztartásának nyereség oldalán elsőként az a hőmennyiség jelenik meg, melyet maga a szervezet állít elő az elfogyasztott táplálék alkotóelemeinek oxidációja révén. Ez az ún. **metabolikus hő** (***M***), melynek mennyisége a szervezet metabolikus aktivitásának a függvénye (*Höppe* 1993, *Fanger* 1972). Az izmok aktív működése során a metabolikus hő egy része **fizikai munkavégzésre** fordítódik (***W***), ez veszteségként jelenik meg a rendszerben (2.2.3. ábra). A megtermelt energia nagyobb része azonban (egy ideig) **belső hőként** (*H*) az izomzatban marad. A szervezet által előállított hő mennyiségét a könnyebb kezelhetőség és összevethetőség érdekében gyakran ún. metabolikus egységben (met) adják meg, ahol 1 met a nyugodt üléshez tartozó 58 Wm^{-2}-es értékkel egyezik meg (*Bánhidi* 1976, *WMO* 1992, *Fonyó* 1998, *Havenith* 2005).

A test a megtermelt hő legnagyobb részét (86%) a bőrön keresztül – áramlással, vezetéssel vagy sugárzással –, míg kisebb hányadát (14%) a légutakon át – áramlásos hőcserével – adja le (*WMO* 1992).

A bőrhöz kötődő áramlásos (konvektív) energiacsere a testfelszín és a vele érintkező, és közben folyamatosan elmozduló vékony légréteg között következik be. Ez egyrészt **érzékelhető hő** ($\boldsymbol{Q_C}$) formájában a légréteg hőmérsékletének változását eredményezi. Másrészt látens hőként szabadul fel a környezetbe a bőrön keresztül történő **vízpára átdiffundálása** ($\boldsymbol{Q_D}$), valamint a **verejték elpárologtatása** ($\boldsymbol{Q_{SW}}$) közben (*Jendritzky* 1993, *VDI* 1998, 2.2.3. ábra).

A **légutakon keresztül végbemenő áramlásos hőcsere** ($\boldsymbol{Q_{RE}}$) alkalmával az energiamennyiség egyrészt a belélegzett levegő felmelegítésére, másrészt annak nedvesítésére használódik fel (2.2.3. ábra). Tehát az energia mind érzékelhető, mind pedig látens hő formájában megjelenik (*VDI* 1998).

Mivel az emberek többnyire függőleges testhelyzetben tartózkodnak, a környezet és a test között vezetéssel csak igen ritkán cserélődik nagy mennyiségű energia, így a szervezet energiaegyenlegében ez a tényező gyakorlatilag nem jelenik meg. Ennél azonban jóval fontosabbak a sugárzás útján zajló hőcserefolyamatok. Ezek ugyanis a **test teljes sugárzási mérlegének** (***Q****) alakulásában játszanak fontos szerepet. A (2.1) egyenletben szereplő tagok az egységnyi ruhával borított felszín által, egységnyi idő alatt átlagosan elnyelt, illetve kibocsátott energiát jelölik. Ez alapján a sugárzásos energiacsere legfontosabb tényezői a Napból közvet-

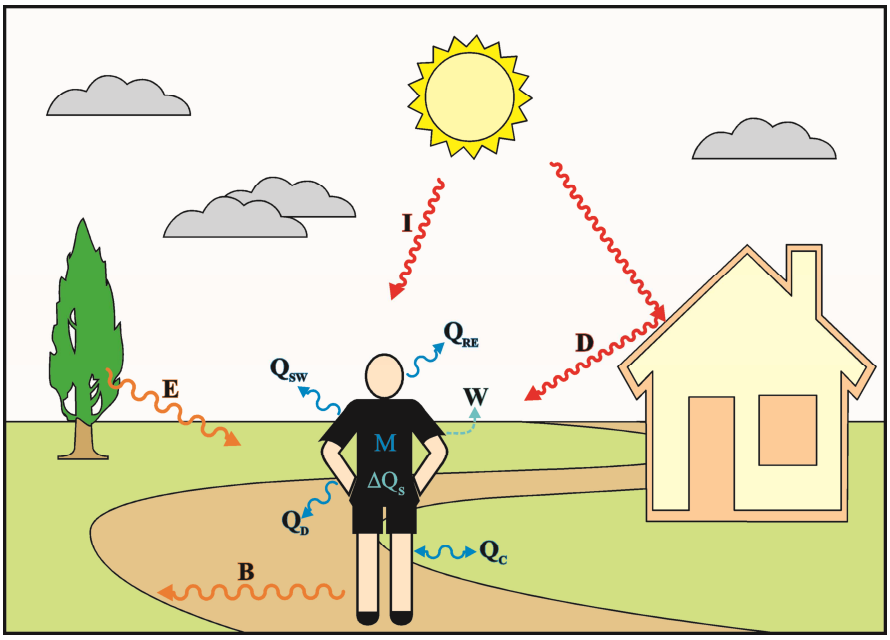
lenül érkező, a test által elnyelt (rövidhullámú) sugárzás (***I***), a légköri részecskéken szóródott és a tereptárgyakról visszavert rövidhullámú sugárzás (***D***), a tereptárgyak és a környezet hosszúhullámú sugárzása (***E***) és az emberi test hosszúhullámú hőkisugárzása (***B***). E paraméterek közül egyedül az utóbbi számít veszteségnek a test hőcserefolyamatai szempontjából (*Jendritzky* 1993, *VDI* 1998).

$$Q^* = I + D + E + B \tag{2.1}$$

Az említett paraméterek együttesen határozzák meg a szervezet energiaegyenlegét, melyet a (2.2) összefüggés szerint lehet leírni:

$$M + W + Q^* + Q_C + Q_{SW} + Q_D + Q_{RE} = \Delta Q_S \tag{2.2}$$

Az egyenlet bal oldalán lévő tényezők a jobb oldalon szereplő tag, azaz a **szervezet érzékelhető hőtartalmának megváltozását** (**ΔQ_S**) eredményezik. Az energiaegyenleg egyes tényezői attól függően, hogy a szervezet számára energianyereséget, vagy -veszteséget jelentenek, pozitív vagy negatív előjellel szerepelhetnek. Ebből adódóan az *M* értéke mindig pozitív, a *W*, Q_D, Q_{SW} és Q_{RE} mindig negatívak, míg a Q^* és a Q_C pozitív vagy negatív előjellel is előfordulhat (*VDI* 1998, *Kis-Kovács* 2008).



2.2.3. ábra Az emberi szervezet energiaegyenlegében szereplő tényezők
(*Jendritzky* 1993 és *Havenith* 2005 nyomán)

Az energiamérleget befolyásoló környezeti paraméterek

Az energiaegyenleg egyes tényezőinek előjelét, azaz a hőáramok irányát a meteorológiai elemek számottevően módosíthatják. A gyakran tévesen egyedüli befolyásoló paraméternek gondolt léghőmérsékleten kívül olyan fontos légköri tényezők is hatással vannak termoregulációs folyamatainkra, mint a légmozgás, a légnedvesség, valamint a hőhatású sugárzás.

A testet körülvevő környezet **léghőmérséklete** T_a [°C] a szervezet érzékelhető hőszállítási folyamatait (Q_C és Q_{RE}) befolyásolja. A hőcsere irányát a bőr és a vele érintkező vékony légréteg hőmérséklet-különbsége határozza meg. Amennyiben a test felszíne melegebb a levegőréteg hőmérsékleténél, a szervezet hőt veszít, hiszen ekkor a hőáram a testfelszín irányából a környezet felé tart. A léghőmérséklet emelkedésével azonban az érzékelhető

hőleadás gyengülni kezd, majd leáll. Körülbelül 33 °C-os léghőmérsékleti értéknél az érzékelhető hőáram iránya megfordul, s ennél melegebb levegő esetén a Q_C már hőnyereségként jelentkezik a szervezet energiaegyenlegében (*WMO* 1992).

Különösen fontos paraméter az ún**. átlagos sugárzási hőmérséklet** $\boldsymbol{T_{mrt}}$ [°C], mely egyetlen számértékben összegzi a szervezetre ható valamennyi hőhatású sugárzás mennyiségét (lásd 2.3.2. fejezet). Ebből adódóan a test sugárzásos hőcserefolyamait (Q^*) befolyásolja. Ez a szabadban mindenekelőtt a melegebb időszakokban jelentős, amikor a testet erőteljes napsugárzás éri, illetve felforrósodott tereptárgyak veszik körül (pl. épületek, burkolatok, padok). Ekkor a test irányába tartó hőszállítási folyamatok válnak meghatározóvá (*Havenith* 2005).

A látens hőcsere (Q_{SW}, Q_D, Q_{RE}) alakulásában a **levegő nedvességtartalma** (relatív nedvesség ***RH*** [%], parciális gőznyomás ***VP*** [hPa]) játszik fontos szerepet. Ha ugyanis a nedvességtartalom alacsony, akkor a szervezet hatékonyabban párologtat, tehát a bőr felszínére kerülő verejték és a bőrön átdiffundáló nedvesség könnyebben párolog el, ami a test számára hőveszteségként jelenik meg. A párologtatás lehetőségét és mértékét a nedves levegőben található vízgőzmolekulák parciális nyomása (a levegő parciális gőznyomása – VP) szabja meg. Ha a levegő melegebb és a telítettséghez közeli állapotban van, akkor a korábban említettek szerint korlátozza a szervezet megfelelő párologtatását (*Havenith* 2005). Létezik azonban olyan helyzet is, amikor a magasabb léghőmérséklethez szárazabb levegő társul. Ez szintén veszélyes lehet a szervezet számára, hiszen ekkor a verejték azonnal elpárolog a bőrfelszínről. Ha ekkor nem pótoljuk a vízveszteséget, a test rövid idő alatt kiszáradhat (*WMO* 1992).

A **légmozgás** ***v*** [ms^{-1}] mind az érzékelhető (Q_C, Q_{RE}), mind pedig a látens (Q_{RE}, Q_{SW}, Q_D) hőcserefolyamatok tekintetében alapvető jelentőségű meteorológiai elem. A levegő elmozdulásával a testfelszín közelében lévő felmelegedett és vízgőzzel telítődött levegő elszállítódik, ami a szervezet számára hőelvonással jár együtt. Ez nyáron javíthatja a komfortérzetünket, a hűvös évszakokban azonban az erőteljes hőveszteség akár a test kihűlését is eredményezheti (*Havenith* 2005).

A meteorológiai paraméterek és a szervezet energiacsere-folyamatainak egyes tényezői között fellépő függvénykapcsolatokat a 2.2.1. táblázat összegzi.

2.2.1. táblázat Az energiaegyenleg-tagok és a meteorológiai tényezők függvénykapcsolatai (*Höppe* 1999 és *Ali-Toudert* 2005 nyomán)

	Hőmérséklet (T_a)	Sugárzás (T_{mrt})	Légnedvesség (VP)	Légmozgás (v)
Q^*		$Q^* = f(T_{mrt})$		
Q_C	$Q_C = f(T_a)$			$Q_C = f(v)$
Q_D			$Q_D = f(VP)$	$Q_D = f(v)$
Q_{sw}			$Q_{sw} = f(VP)$	$Q_{sw} = f(v)$
Q_{RE}	$Q_{RE} = f(T_a)$		$Q_{RE} = f(VP)$	

2.3. A TERMIKUS KOMFORTÉRZET ÉS SZÁMSZERŰSÍTÉSE

2.3.1. A termikus komfortérzet fogalmának megközelítései

Az atmoszférikus környezet percről percre más és más hatásokkal állítja szembe szervezetünket, így nem egyszerű feladat annak a megválaszolása, hogyan is érezzük magunkat egy adott környezetben. Ráadásul a környezet ingereire mindenki másképpen reagál, sőt, a válto-

zatlan termikus viszonyokat néhány óra elteltével még ugyanazon ember is másképp értékelheti (*Kis-Kovács* 2008).

A termikus komfortérzet definícióját három oldalról közelíthetjük meg. **Pszichológiai** szempontból úgy fogalmazhatunk, hogy a termikus komfort a környezetünkkel kapcsolatban kialakult olyan elégedett tudatállapot, amikor sem hidegebbre, sem pedig melegebbre nem vágyódunk (*Höppe* 2002). **Fiziológiailag** viszont ez akkor következhet be, amikor a bőrben, illetve a hipotalamuszban lévő termoreceptorok ingerületi állapota minimális (*Höppe* 2002). Az **energiaforgalmat** illetően a termikus komfort állapotának a feltétele a test és a környezet közötti hőcserefolyamatok egyensúlya. Más szavakkal ez annyit jelent, hogy a szervezetünk által termelt és a környezetből felvett hőmennyiség megegyezik a testünk által leadott energiával (*Fanger* 1972). Ez az energetikai egyensúly azonban úgy is fennállhat, hogy közben hőháztartási rendszerünket jelentősen igénybe veszi (pl. erőteljes verejtékezéssel vagy didergéssel jár együtt). Ezért azt mondhatjuk, hogy testünk hőháztartásának egyensúlyi helyzete ($\Delta Q_S = 0$) a fiziológiailag definiált termikus komfort állapotának szükséges, de nem elegendő feltétele.

2.3.2. A humán-bioklimatológiai mérőszámok

A humán-bioklimatológiai kutatások egyik alapvető feladata olyan módszerek kidolgozása, melyekkel jól reprezentálhatók az atmoszférikus környezet szervezetünkre kifejtett termofiziológiai hatásai. Ennek következtében számos olyan mérőszámot (indexet) alkottak meg, melyek segítségével számszerűsíteni lehet a légköri viszonyok komfortérzetünkre gyakorolt hatását, illetve a környezet által a szervezetünket ért fiziológiai terhelés mértékét (*Unger* 1995, 1997).

2.3.1. táblázat A fontosabb empirikus mérőszámok és a szabadtéren is alkalmazható racionális indexek (*Gulyás* 2009 nyomán)

EMPIRIKUS INDEXEK			
INDEX			**PARAMÉTER**
ET	**Effective Temperature** (Effektív hőmérséklet)	°C	léghőmérséklet (T_a), relatív nedvesség (RH), szélsebesség (v)
RSI	**Relative Strain Index** (Relatív terhelési index)	–	léghőmérséklet (T_a), gőznyomás (VP)
THI	**Thermohygrometric Index** (Termohigrometrikus index)	°C	léghőmérséklet (T_a), nedves hőmérséklet (T_w)
H	**Humidex** (Fülledtségi index)	°C	léghőmérséklet (T_a), gőznyomás (VP)
WCI	**Wind Chill Index** (Szélcsípősségi index)	°F	léghőmérséklet (T_a), szélsebesség (v)
RACIONÁLIS INDEXEK			
INDEX			**PARAMÉTER**
PMV	**Predicted Mean Vote** (Várható átlagos hőérzet)	–	léghőmérséklet (T_a), gőznyomás (VP) szélsebesség (v), átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) metabolikus hőtermelés (M), ruházat hőszigetelő-képessége (I_c)
OUT-SET*	**Outdoor Standard Effective Temperature** (Szabadtéri standard effektív hőmérséklet)	°C	
PET	**Physiologically Equivalent Temperature** (Fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet)	°C	
PT	**Perceived Temperature** (Érzékelt hőmérséklet)	°C	
UTCI	**Universal Thermal Climate Index** (Univerzális termikus klíma index)	°C	

Az indexek korábbi tagjai, az ún. **empirikus indexek** a könnyebben kezelhető, egyszerűbb mérőszámok közé tartoznak. Kiszámításuknál csupán néhány meteorológiai paramétert kombinálnak (*Matzarakis és Mayer* 1997, *Höppe* 1999). Meleg légköri viszonyok esetén általában a léghőmérséklet és a (relatív vagy abszolút) légnedvesség meteorológiai állapothatározókat, míg hideg környezetben a léghőmérséklet-szélsebesség értékeket használják. Ilyen mérőszámok közé sorolható például a meleg és nedves (fülledt) időjárás terhelő hatását számszerűsítő Humidex (*WMO* 1992), vagy a szél csípősségének mértékét jelző Wind Chill Index (*Steadman* 1971, *Dixon és Prior* 1987, 2.3.1. táblázat). Az empirikus indexek legfőbb hiányossága azonban, hogy nem számolnak a testünk termofiziológiai folyamatai szempontjából meghatározó fontosságú sugárzási komponenssel (T_{mrt}), továbbá az emberi aktivitás szintjével, a ruházat hőszigetelő-képességével és az olyan személyes mutatókkal, mint a testmagasság, testsúly, a nem és az életkor (*Höppe* 1993, *Ali-Toudert* 2005).

Ezzel szemben az ún. **racionális indexek** már alkalmasak arra, hogy a testünket érő termikus terhelést releváns módon számszerűsítsék (*Höppe* 1993). Ezek a modernebb mérőszámok ugyanis testünk energiaegyenlegén (illetve a hőszabályozási mechanizmusokat leíró egyenleteken) alapulnak, emellett az összes olyan meteorológiai, illetve személyes tényezőt is számításba veszik, melyek az ember és környezete között lejátszódó termikus folyamatok tekintetében kulcsfontosságúak (*Epstein és Moran* 2006, *Kis-Kovács* 2008).

A racionális indexek hátterében álló első modellek már az 1930-as években megszülettek, ezek azonban még csak a beltéri körülmények leírására voltak használhatók (*Büttner* 1938). Az 1960-as évektől, a számítógépek megnövekedett teljesítőképességének köszönhetően ugrásszerűen megemelkedett az energiaegyenleg-alapú modellek száma (*Höppe* 1993), és közöttük szerepeltek már olyanok is, amelyeket kifejezetten a szabadban kialakuló termikus viszonyok jellemzésére fejlesztettek ki (2.3.1. táblázat). A modellek egyik típusát az ún. steady state modellek képviselik, melyek azzal a feltételezéssel élnek, hogy az alany energiaegyenlege állandósult. Ebből adódóan csak akkor tudnak releváns képet nyújtani a termikus folyamatokról, ha a vizsgált személy huzamosabb ideig közel azonos fizikai paraméterekkel jellemezhető környezetben tartózkodik. Ezzel szemben a dinamikus modellek a környezeti feltételek folyamatos változását is képesek számításba venni (*Höppe* 1993, *Höppe* 2002, *Chen és Ng* 2012).

A korai energiaegyenleg-modellek a szervezeten kívüli és belüli hőcserefolyamatok leírásához az emberi testet két koncentrikus hengerre bontották. A belső henger a test magját, míg a külső a testköpenyt reprezentálta. Ezeket a modelleket a szakirodalom ún. „kétszegmensű" (two-node) modellekként tartja számon (*Gagge et al.* 1971, 1986). Napjainkban azonban már olyan, ún. „többszegmensű" (multi-node) modellek is megjelentek, melyek minden egyes modellszegmenshez más-más termofiziológiai és -fizikai adottságokat társítanak, s így jellemezik az egyes testrészekben lejátszódó energiaáramlási mechanizmusokat (pl. *Stolwijk és Hardy* 1966, *Fiala et al.* 2001, *Huizenga et al.* 2001, *Fiala et al.* 2012).

A két legismertebb és Közép-Európában leggyakrabban használt racionális mérőszám a PMV (Predicted Mean Vote) és a PET (Physiologically Equivalent Temperature). Fontosságukat többek között az is jelzi, hogy a bioklimatológiai mérőszámok kiszámítását megkönnyítő mikroklíma-modellező szoftverek (lásd 2.5. fejezet) kimenetei között is ezek az indexek fordulnak elő leginkább. A továbbiakban ezeket a mérőszámokat, valamint az átlagos sugárzási hőmérsékletet (T_{mrt}) mutatom be részletesebben.

PMV − Várható átlagos hőérzet

Az energiaegyenleg-alapú modellek fontos mérföldköveként tartják számon *Fanger* (1972) beltéri használatra alkotott steady-state komfortegyenletét, melyet az ún. klímakamra-kísérletek eredményei alapján vezetett le. Ennek a kísérletnek a lényege, hogy több száz résztvevő termikus (hőérzettel kapcsolatos) komfortérzetét tesztelték egy olyan zárt helyiségben, melyben a klímaparaméterek értékei, illetve azok kombinációi tetszőlegesen beállíthatók (*Höppe* 1993). A komfortegyenlet legfontosabb bemeneti klímaparaméterei a léghőmérséklet (T_a), a légnedvesség (*VP*), a szél sebessége (*v*), valamint az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}), a személyes paraméterek közül a ruházat hőszigetelő-képessége (I_c) és az aktivitás szintje (*M*) (*Hamdi et al.* 1999).

A komfortegyenlet eredményéül kapott **PMV** (**Predicted Mean Vote**) azt számszerűsíti, hogy az emberek egy nagyobb csoportja átlagosan hogyan jellemezné saját hőérzetét egy 7 fokozatú (−3 tól +3-ig terjedő) hőérzeti komfortskálán (ún. ASHRAE-féle skála) adott meteorológiai tényezőkkel (T_a, *VP*, *v*, T_{mrt}) bíró környezetben, adott szintű aktivitás mellett és adott ruházat viselése esetén (*Fanger* 1972, *Mayer* 1993, *ISO* 2005). A skálán a 0 körüli (–0,5 és +0,5 közötti) értékekhez rendelhető a komfortos állapot (*ASHRAE* 2003, *ISO* 2005), a pozitív értékekkel a hő okozta terhelés, míg a negatívokkal a hideg általi diszkomfort fokozatait definiálhatjuk.

Az eredetileg beltéri viszonyok jellemzésére kialakított index szabadban történő felhasználását az tette lehetővé, hogy *Jendritzky et al.* (1979) kiegészítette Fanger komfortegyenletét egy − rövid- és hosszúhullámú sugárzási fluxusokat is leíró − sugárzási modullal. Az így kapott modellből (Klima Michael Model – KMM) levezethető PMV a városi környezetek termikus szempontú értékelésére is használhatóvá vált (*Höppe* 1993, *Mayer és Matzarakis* 1998). A modell szabadtéri alkalmazása során azonban több alkalommal is a zárt környezethez igazított –3 és +3 szélsőértékeket túllépő PMV értékek fordultak elő (*Höppe* 1993, *Mayer és Matzarakis* 1998, *Gulyás et al.* 2003), így szükségessé vált az eredeti 7 fokozatú skála további, pozitív és negatív értékkel történő bővítése (2.3.2. táblázat).

Az utóbbi években egyre több olyan tanulmány látott napvilágot, mely a sugárzási modul beiktatásának ellenére a PMV szabadtéri felhasználásának korlátaira hívja fel a figyelmet (pl. *Nikolopoulou et al*. 2001, *Thorsson et al.* 2004). Ennek hátterében elsősorban az áll, hogy az indexhez kapcsolódó komfortegyenlet levezetésekor Fanger a test verejtékprodukciós rátáját, illetve bőrhőmérsékletét csupán a metabolikus aktivitás szintjétől tette függővé, és függetlennek tekintette azokat a valós termikus viszonyoktól (*Höppe* 1999). Ez viszont alkalmatlanná tette a mérőszámot − a komfortos termikus viszonyoktól gyakran jelentősen eltérő − szabadtéri környezetek jellemzésére. Emellett a szakirodalom gyakran hozza fel az index hiányosságaként annak mértékegység nélküli mivoltát, azzal érvelve, hogy egy °C dimenziójú mérőszámot az emberek könnyebben tudnának értelmezni, és könnyebben össze tudnák vetni azt a személyes tapasztalataikkal. Így az elmúlt években az energiaegyenleg-alapú indexek súlypontja egyre inkább az ún. ekvivalens hőmérséklet típusú mérőszámok felé tolódott el. Ezek közül a PET index vált a legnépszerűbbé, melyet számos tanulmányban, eltérő klimatikus körülmények mellett alkalmaztak már szerte a világon (pl. *Ali-Toudert és Mayer* 2006, *Knez és Thorsson* 2008, *Lin és Matzarakis* 2008, *Matzarakis és Nastos* 2011).

PET – Fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet

A **PET** (**Physiologically Equivalent Temperature**) [°C] indexet kifejezetten a szabadtéri termikus viszonyok számszerűsítésére alkották meg. Értéke *Höppe* (1984) „kétszegmensű" modelljéből vezethető le, melynek stacionárius változata a MEMI – Munich Energy-Balance Model for Individuals, míg dinamikus verziója az IMEM – Instationary Munich Energy-Balance Model (*Höppe* 1985).

A PET egy olyan képzeletbeli, több paraméterében standardizált beltéri környezet léghőmérsékleteként (T_a) értelmezhető, melyben az ott tartózkodó személy az energiaegyensúly fenntartása érdekében ugyanolyan fiziológiai válaszreakciókat ad (azaz végeredményeképpen ugyanolyan bőrhőmérséklettel és verejtékprodukciós rátával rendelkezik), mint a valós, kültéri viszonyok között. Az említett fiktív beltéri környezethez az alábbi standard paraméterek tartoznak:

- $T_{mrt} = T_a$,
- $v = 0{,}1\ ms^{-1}$,
- $VP = 12$ hPa.

Az értékelés szintén egy fiktív, standardizált személyre vonatkozik, aki

- 35 éves, 1,8 m magas, 75 kg-os férfi (alapmetabolizmusa során kb. 85 W hőt termel),
- 0,9 clo hőszigetelésű (vékony öltönynek megfelelő) ruhát visel,
- az aktivitás szintje könnyű ülőmunkának felel meg, amely révén 80 W-tal növeli metabolikus rátáját (*Mayer és Höppe* 1987, *Höppe* 1999).

A PET index esetén is megadható egy olyan tartomány, melynél az emberek többsége a legkellemesebben érzi magát. Ez a komfortos állapot a 18 és 23 °C-os PET-értékek között jelentkezik, a 23 °C-nál nagyobb értékeknél a meleg, a 18 °C-nál alacsonyabbaknál a hideg hőstressz okoz terhelést, illetőleg diszkomfortérzetet a szervezet számára (*Mayer és Höppe* 1987). Egy ilyen kellemetlen szituáció állhat elő például egy olyan tipikus nyári nap alkalmával, amikor árnyékolás hiányában erős direkt sugárzás éri szervezetünket, de előfordulhat akkor is, amikor egy szelesebb téli napon huzamosabb ideig árnyékban tartózkodunk (*Höppe* 1999).

2.3.2. táblázat A PET és a PMV egymásnak megfeleltetett értékei az emberi hőérzet és a fiziológiai stressz mértéke alapján (*Matzarakis és Mayer* 1996 nyomán)

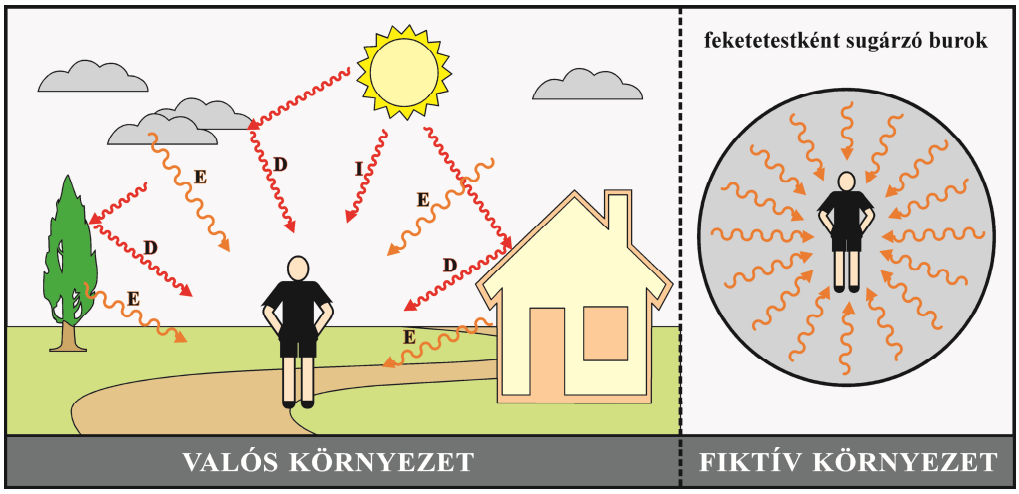
hőérzet	nagyon hideg	hideg	hűvös	enyhén hűvös	komfortos (neutrális)	enyhén meleg	meleg	forró	nagyon forró
PMV	**- 4**	**- 3**	**- 2**	**- 1**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**
PET (°C)	**4**	**8**	**13**	**18**	**23**	**29**	**35**	**41**	
fiziológiai stressz szintje	extrém hidegstressz	erős hidegstressz	mérsékelt hidegstressz	enyhe hidegstressz	nincs termikus stressz	enyhe hőstressz	mérsékelt hőstressz	erős hőstressz	extrém hőstressz

A PMV és PET indexek értékei között *Matzarakis és Mayer* (1996) teremtett kapcsolatot, melyet 0,9 clo hőszigetelésű ruházat és 80 W belső hőtermelés mellett dolgoztak ki (2.3.2. táblázat).

T_{mrt} – Átlagos sugárzási hőmérséklet

A racionális termikus komfortindexek értékét a legtöbb esetben főként a szervezetet érő rövid- és hosszúhullámú sugárzási fluxusok határozzák meg. A hősugárzás fontossága abban rejlik, hogy szabadtéren és elsősorban napsütéses időszakokban ez befolyásolja leginkább a test energiaegyenlegét, így az emberek hőérzetét (*Ali-Toudert és Mayer* 2006, *Gulyás et al.* 2006).

A különféle hullámhossztartományba eső és különböző irányokból érkező sugárzási fluxusok testre gyakorolt hőhatása egyetlen számértékkel, a korábban már említett átlagos sugárzási hőmérséklettel $\boldsymbol{T_{mrt}}$ (**Mean Radiant Temperature**) [°C] fejezhető ki. Definíció szerint a T_{mrt} egy olyan képzeletbeli, feketetestként sugárzó (ε = 1 emisszivitású) gömbnek az egységes hőmérséklete, mely a benne tartózkodó emberi szervezet számára ugyanolyan sugárzási energiabevételt eredményez, mint az a valós környezet, amelyben az egyén ténylegesen tartózkodik (*Höppe* 1992, *VDI* 1998, *ASHRAE* 2001, 2.3.1. ábra). Értéke zárt térben, ahol erősebb sugárzás nem éri a szervezetünket, a beltéri környezet léghőmérsékletével egyezik meg, szabadtéren azonban többszörösen meghaladhatja a levegő hőmérsékletét (*VDI* 1998, *Kántor és Unger* 2011).



2.3.1. ábra A szervezetet körülvevő komplex sugárzási tér a valós környezetben, valamint a feketetestként sugárzó gömb belsejében (*Unger et al.* 2012 és *Kántor* 2012 nyomán)

A sugárzási tér a szabadban rendkívül összetett: a különböző irányból érkező számtalan sugárzási fluxus más-más szög alatt éri el a testünket, ráadásul az egyes sugárzási komponensek különböző hullámhossztartományokba esnek, így azokból a szervezetünk más arányban nyeli el az energiát. Ebből kifolyólag a T_{mrt} meghatározása az egyik legkomplexebb feladatnak számít a termikus komfortkutatásokban. A T_{mrt} értékének elméleti úton történő kiszámítása a következő leegyszerűsített képlet alapján történik:

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(E_i + a_k \cdot \frac{D_i}{a_l} \right) \cdot F_i + \frac{f_p \cdot a_k \cdot I^*}{a_l \cdot \sigma}} \qquad (2.3)$$

Az (2.3) egyenlet szerint a T_{mrt} értékét az alapján kaphatjuk meg, hogy a testet körülvevő sugárzási környezetet *n* darab, egyenként egységes hőmérsékletű felszínre osztjuk fel (beleértve az égbolt látható részét is). Minden egyes ilyen felszín egyrészt $\boldsymbol{E_i}$ sugárzást bocsát ki a hosszúhullámú tartományban [Wm^{-2}], továbbá $\boldsymbol{D_i}$ (a légkör részecskéin szórt vagy a környező

tereptárgyakról visszavert) rövidhullámú sugárzási komponenssel [Wm^{-2}] rendelkezik. Ezután az egyes felszínekhez tartozó E_i és D_i sugárzási fluxusok mindegyike egy ún. $\boldsymbol{F_i}$ láthatósági vagy térszögrészesedési faktorral súlyozandó. Az F_i értéke mindig az adott felszínnek a vizsgált emberi testhez viszonyított térbeli helyzetétől és irányultságától függ. A $\boldsymbol{\sigma}$ jelöli a Stefan–Boltzmann-állandót, melynek értéke $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ Wm^{-2}K^{-4}$.

Abban az esetben, ha a test direkt sugárzásnak is ki van téve (azaz napon tartózkodik), további tényezőkkel bővül az egyenlet. $\boldsymbol{I^*}$ [Wm^{-2}] a Napból érkező direkt sugárzás beesési felületre merőleges intenzitása, $\boldsymbol{f_p}$ pedig az ehhez tartozó ún. vetületi faktor, melynek értéke egyrészt a napmagasságtól függ, másrészt attól, hogy a test álló, üllő vagy fekvő pozícióban helyezkedik-e el. Az emberi test a rövidhullámú sugárzást $\boldsymbol{a_k}$ (standard értéke $a_k \approx 0{,}7$), a hosszúhullámú sugárzást pedig $\boldsymbol{a_l}$ (standard értéke $a_l = 0{,}97$) abszorpciós tényező szerint nyeli el (*VDI* 1998, *Matzarakis et al*. 2007).

2.4. A termikus alapparaméterek gyűjtése és előállítása a városi közterületek bioklimatológiai vizsgálata során

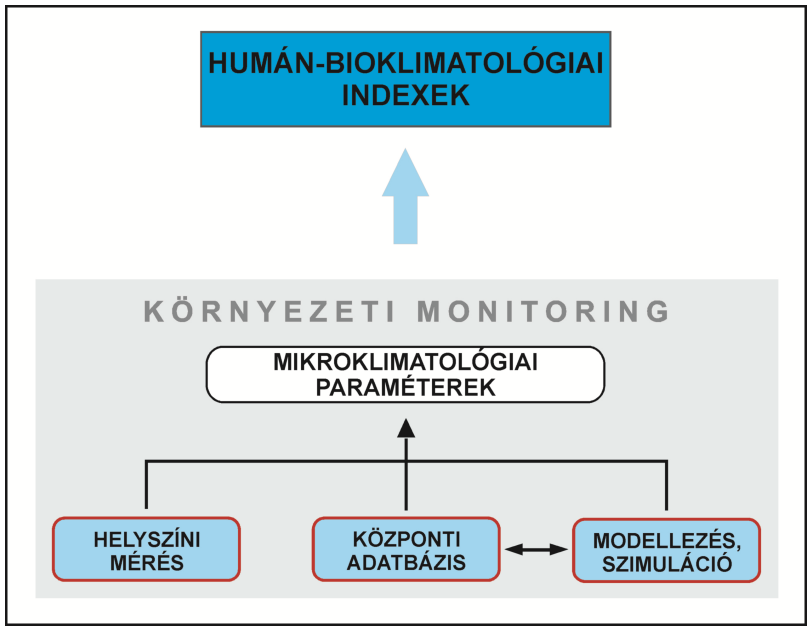
A szabadtéren is alkalmazható humán-bioklimatológiai indexek tehát az alapján minősítik a környezetet, hogy az milyen mértékű termofiziológiai terhelést ró az ott tartózkodók szervezetére, illetve milyen hő- és komfortérzetet jelent számukra. A különféle városi közterületek (pl. a közparkok, játszóterek és sétálóutcák) ilyen indexekkel történő értékelése során rávilágíthatunk azokra a kisebb-nagyobb területegységekre, vagy akár városrészekre, melyek az emberek számára termikus szempontból kifejezetten terhelőek, s ezáltal negatívan befolyásolják életminőségüket.

A termikus komfortkutatások ezen a ponton képesek legeredményesebben bekapcsolódni a várostervezés és -rendezés részfolyamataiba. A két szakterület (városi humán-bioklimatológia és várostervezés) együttműködése révén ugyanis olyan városi környezetek tervezhetők, illetve alakíthatók, melyek a helyi lakosság igényeinek a leginkább megfelelnek. Ez különösen fontos napjainkban, amikor az emberek idejük túlnyomó részét városi területeken töltik. Az ilyen szempontok alapján kialakított városi közterületek ugyanis hatékony kikapcsolódást nyújtanak a mindennapokban, hozzájárulnak a városlakók testi és szellemi felfrissüléséhez és ebből kifolyólag nemcsak pozitívan hatnak pillanatnyi közérzetükre, hanem hosszabb távon kedvezően befolyásolják teljesítőképességüket és egészségi állapotukat.

A városi közterületek humán-bioklimatológiai indexekkel történő jellemzésének előfeltétele, hogy rendelkezzünk az indexek értékeit meghatározó, helyszínre vonatkozó mikroklimatológiai paraméterekkel. Az előző (2.3.2.) alfejezet értelmében ezek az alapadatok minden esetben a léghőmérséklet ($\boldsymbol{T_a}$), a légnedvesség (***VP***, ***RH***), a szélsebesség (***v***) és az átlagos sugárzási hőmérséklet ($\boldsymbol{T_{mrt}}$). A humán-bioklimatológiai vizsgálatok standardjainak megfelelően mind a négy paraméternek a felszíntől számított kb. 1,1 m magasságból kell származnia, vagy erre a magasságra kell vonatkoznia. Átlagosan ugyanis ebben a magasságban található egy felnőtt (europid) ember testének súlypontja (*Mayer és Höppe* 1987, *VDI* 1998).

Az előbbiekben felsorolt, 1,1 m magasságra vonatkozó klímaparamétereket három módon szerezhetjük be. Mérhetjük őket közvetlenül a helyszínen, származtathatjuk őket telepített mérőállomás adatbázisából vagy szimulálhatjuk azok értékét (2.4.1. ábra). A megfelelő alapada-

tokból ezután manuális számításokkal, vagy modellező szoftverek segítségével állíthatjuk elő az érdeklődésünk középpontjában álló humán-bioklimatológiai mérőszámokat.



2.4.1. ábra A humán-bioklimatológiai mérőszámok előállításához szükséges alapadatok beszerzési lehetőségei és az előállítás részfolyamatai

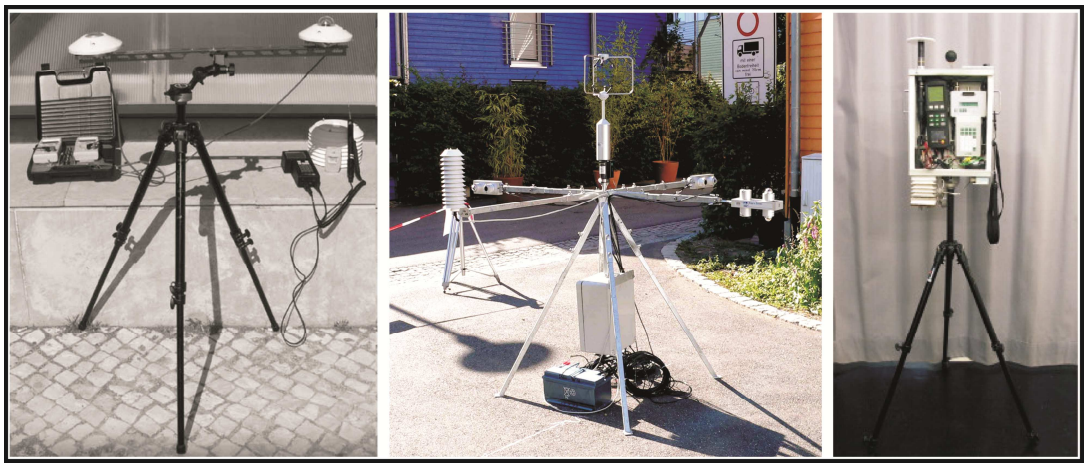
2.4.1. Helyszíni mérések mobil mérőállomásokkal

Az adatgyűjtés legmegbízhatóbb és legprecízebb módja a klímaadatok helyszíni mérése, amely – a humán-bioklimatológiai vizsgálatok speciális adatigénye miatt – kifejezetten erre a célra tervezett mobil mikrometeorológiai állomások segítségével történik (pl. *Thorsson et al.* 2007a, *Oliveira és Andrade* 2007, *Mayer et al.* 2008, 2.4.2. ábra). Az ilyen műszerek egyik előnye, hogy az adatokat az előírt 1,1 m-es magasságon rögzítik, ennek köszönhetően a felmért paraméterek további korrigálásra már nem szorulnak. A módszer továbbá finom időbeli felbontást tesz lehetővé: a mérőállomások akár 1 perces adatgyűjtésre is képesek.

A mobil mérőműszerekkel a léghőmérséklet, a légnedvesség és a szélsebesség mérése könnyedén kivitelezhető. A hőmérséklet- és nedvességszenzorok egy jól szellőző, fehér színű árnyékoló bura alatt helyezkednek el. A szellőzőrések biztosítják a levegő átáramlását, míg az árnyékot nyújtó tányérok megakadályozzák a szenzorok direkt sugárzás általi felmelegedését. A szél sebességét rendszerint kanalas, hődrótos vagy ultrahangos szélsebességmérővel mérik (2.4.2. ábra). A forgórész tehetetlensége miatt az olcsóbb kanalas szélmérőnél pontosabb eredményt nyújt az utóbbi kettő (mozgórész nélküli és drágább) technika.

Városi környezetekben a T_{mrt} értékeinek megadása jóval több nehézségbe ütközik, mint a másik három klímaparaméter mérése (*Höppe* 1992, *Spagnolo és de Dear* 2003). Mivel a T_{mrt} közvetlen mérése nem lehetséges, azt egyéb mérhető paraméterekből kell származtatni. Az elméleti (2.3) képlet értelmében a pontos kiszámításához mérnünk kellene a direkt napsugárzást (I^*) és a testet körülvevő háromdimenziós környezet minden önálló hőmérséklettel rendelkező felületegysége felől érkező sugárzási fluxust (E_i, D_i). Az egyes sugárzási komponensekhez ezután meg kellene adnunk a hozzájuk tartozó vetületi (f_p), illetve térszögrészesedési (F_i) faktorokat. Ez utóbbiaknak a meghatározása elsősorban a városi környezetben található nagyszámú környezeti objektum miatt nehézkes: a különböző magasságú, alakzatú és irá-

nyultságú tereptárgyak ugyanis jelentősen módosítják és bonyolítják a sugárzási teret. A számtalan sugárzási fluxus és a hozzájuk tartozó súlyfaktorok meghatározása a gyakorlatban rendkívül sok időt és energiát igényelne, így a T_{mrt} tényleges előállítási technikái ennél valamelyest egyszerűbbek (*Kántor és Unger* 2011).

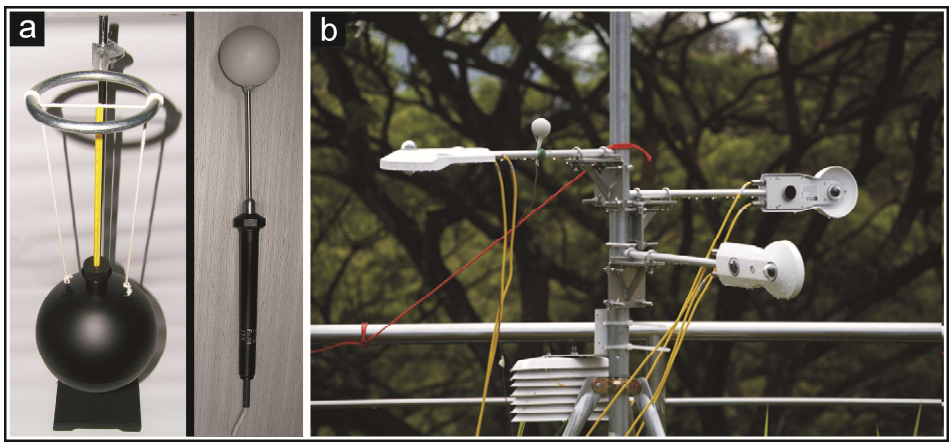


2.4.2. ábra Néhány példa a szabadtéren is alkalmazható mikrometeorológiai állomásokra (*Oliveira és Andrade* 2007, *Mayer et al*. 2008, *Ng et al*. 2012)

A helyszíni mérések során a T_{mrt} értékét két módszerrel állíthatjuk elő. Az első, egyszerűbb és olcsóbb megoldás, amikor ún. **gömbhőmérő** segítségével végezzük el a méréseket (*Nikolopoulou et al.* 2001, *d'Ambrosio Alfano et al.* 2013). A standard gömbhőmérő egy olyan matt fekete színűre festett, 150 mm átmérőjű és 0,4 mm falvastagságú rézgömb, melynek a közepén egy hőmérőt helyeztek el (2.4.3.a ábra). A rézgömb belsejében mérhető ún. **gömbhőmérséklet** (T_g) nem csupán a gömb és a környezete közt lejátszódó sugárzási cserefolyamatoktól (vagyis a tényleges rövid- és hosszúhullámú sugárzási fluxusok által meghatározott T_{mrt} elméleti értékétől) függ, hanem hatással van rá a gömb felszínén lezajló konvektív hőcsere (vagyis a léghőmérséklet és a szélsebesség) is. Ebből kifolyólag a műszer beállási ideje után a mért gömbhőmérsékletből, a léghőmérsékletből és a szélsebességértékből egy empirikus összefüggés alapján számítható a T_{mrt} (*ASHARE* 2001, *Thorsson et al.* 2007b, *Tan et al.* 2013).

A gömbhőmérőt azonban alapvetően a beltéri mérésekhez tervezték, ahol a hőcserefolyamatok (időben és térben) kevéssé változékonyak, s így a műszer meglehetősen hosszú beállási ideje (kb. 15-20 perc) nem okoz gondot. Ezzel szemben a szabadban a T_g értékeit befolyásoló paraméterek (különösen a sugárzási fluxusok és a szélsebesség) értékei sokkal gyorsabban változnak, ami szinte lehetetlenné teszi, hogy a műszer által mért gömbhőmérséklet egy egyensúlyi értéken állandósuljon. Ebből adódóan ez a mérési technika a szabadtéren általában nem nyújt helyes eredményeket. Másrészt, a szélsebesség növekedésével a gömbben mért hőmérséklet értékére (a sugárzási hőcsere rovására) egyre inkább a konvektív hőcsere gyakorol hatást, ezért szeles időben a mért gömbhőmérséklet inkább a léghőmérséklet értékéhez közelít. Reális adatok a szabadban tehát csak szélcsendes s közel azonos sugárzási viszonyokkal jellemezhető időben mérhetők. A konvektív hőcserefolyamatok hatása némileg mérsékelhető, ha egy nagyobb higanyzsákú hőmérőt használunk, amely arányaiban felerősíti a sugárzási folyamatok szerepét, azonban tovább növeli a műszer eleve is hosszú beállási idejét. A műszer reakcióideje ugyan javítható (akár 5 percre is lecsökkenthető) egy kisebb méretű

gömb alkalmazásával, amely viszont újfent felerősíti a konvektív hőcserefolyamatok befolyásoló szerepét.



2.4.3. ábra Fekete és szürke színűre festett gömbhőmérők (a), és a tér hat irányából érkező sugárzást detektáló komplex sugárzásmérő műszeregyüttes (b) ([1], *Thorsson et al*. 2007b, *Tan et al*. 2013)

A gömbhőmérő másik jellegzetes problémája, amely elsősorban szintén szabadban okoz gondot, hogy fekete színéből adódóan jóval több rövidhullámú sugárzást nyel el, mint amennyit az emberi test ténylegesen abszorbeálna ugyanabban a környezetben. Ez a gyakorlatban úgy küszöbölhető ki, hogy a hőmérő gömbjét szürke színűre cseréljük, amelynek elnyelési együtthatója jobban közelít az emberi testfelszín (a ruházat, illetve a bőr) a_k elnyelési együtthatójához (*ASHARE* 2001, *Nikolopoulou és Lykoudis* 2006, *Thorsson et al.* 2007b, 2.4.3.a ábra).

Ezzel a mérési technikával kapcsolatban végezetül érdemes említést tenni arról a pontatlanságról, amelyet a műszer alakja okoz. A mérőműszer − gömb alakjából következően − a környezet valamennyi irányából érkező sugárzási fluxusokat egyenlő F_i súlytényezőnek megfelelő arányban nyeli el. Ezzel szemben az emberi test jellemző (ülő, álló vagy sétáló) testhelyzete révén nagyobb arányban fogja fel az oldalirányból érkező sugárzási fluxusokat, mint a felső vagy alsó hemiszférából érkezőket. A műszer alakjából adódó hibák azonban elenyészőek a fentebb említett problémákhoz képest (*Kántor et al.* 2014).

A gömbhőmérővel végzett méréseket kísérő problémák mindegyike kiküszöbölhető a T_{mrt} másik, ugyancsak helyszíni mérésekre épülő, ám sokkal költségesebb és komplexebb meghatározási technikájával. A *Höppe* (1992) nevéhez kötődő, sugárzásmérésen alapuló eljárás lényege, hogy a környezetet hat fő (a négy égtáj, valamint az alsó és felső) irányra bontja szét és az ezekből érkező sugárzási fluxusok súlyozott eredőjéből számítja ki a T_{mrt} értékét. A módszer az egyes irányokat más-más ún. $\boldsymbol{W_i}$ láthatósági súlytényezővel látja el: ennek értéke (a forgásszimmetrikusnak tekintett) álló vagy sétáló emberre vonatkoztatva a négy oldalirány (négy égtáj) esetén 0,22, míg a két függőleges irány (alsó és felső hemiszféra) esetén 0,06 (*Höppe* 1992, *VDI* 1998).

A T_{mrt} kiszámításához szükséges rövid- és hosszúhullámú sugárzási fluxusok **piranométer és pirgeométer** segítségével mérhetők (2.4.3.b ábra). A hat mérési irány teljesülése érdekében ez rendszerint három, egymással 90°-ot bezáró nettó sugárzásmérővel történik (*Thorsson et al*. 2007b). Mivel azonban a módszer legköltségesebb része ennek a három, különálló sugárzásmérőnek a beszerzése, a gyakorlatban előfordul, hogy csupán egy nettó sugárzásmérő műszert alkalmaznak, melyet egy horizontálisan és vertikálisan is elforgatható állványra erősítenek, 1,1 m magasságban. A sugárzási környezet hat irány szerinti feltérképe-

zése az adott időközönkénti (általában 3 perces) elforgatások révén valósul meg (*Kántor és Unger* 2011, *Kántor et al*. 2012a).

A mért sugárzási fluxusokból a (2.4) összefüggés alapján számítható az emberi test egységnyi felülete által elnyelt $\boldsymbol{S_{rad}}$ sugárzási energia [Wm^{-2}]. Ezt követően ennek az összefüggésnek a segítségével, illetve a Stefan–Boltzmann-törvény alkalmazásával (végezetül az abszolút hőmérséklet Celsius-fokba történő átváltásával) a (2.5) egyenlet szerint kaphatjuk meg a T_{mrt} értékét °C mértékegységben.

$$S_{rad} = \sum_{i=1}^{6} W_i \cdot \left(a_k \cdot K_i + a_l \cdot L_i\right) \tag{2.4}$$

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\frac{\sum_{i=1}^{6} W_i \cdot \left(a_k \cdot K_i + a_l \cdot L_i\right)}{a_l \cdot \sigma}} - 273{,}15 \tag{2.5}$$

ahol K_i a rövidhullámú sugárzási fluxusokat [Wm^{-2}], L_i a hosszúhullámú sugárzási fluxusokat [Wm^{-2}] jelöli, a_k és a_l pedig az emberi test rövid- és hosszúhullámú tartományra vonatkozó elnyelőképessége (*Höppe* 1992, *VDI* 1998, *Ali-Toudert et al.* 2005, *Johansson et al*. 2014).

2.4.2. A klímaparaméterek beszerzése telepített mérőállomások adatbázisából

A gyakorlatban a költséges mobil műszerpark beszerzésére, valamint az időigényesebb helyszíni mérésekhez szükséges humánerőforrás biztosítására a legtöbb esetben nincs lehetőség. Ebből adódóan a vizsgálatok nagyobb részénél az alapvető klímaparaméterek egy telepített meteorológiai állomás könnyebben hozzáférhető adatsoraiból származnak (pl. *Gulyás et al.* 2003, *Kántor és Unger* 2010). Mivel azonban ennél a módszernél az adatok rögzítése nem illeszkedik a humán-bioklimatológiai kutatások 1,1 m-en történő mérési irányelvéhez, a kapott adatbázison bizonyos módosításokat kell elvégeznünk.

A telepített állomások adatsorainak időbeli felbontása a mobil műszereknél tapasztaltakhoz képest általában durvább: a leggyakrabban 10, 30 vagy 60 percenként rögzített klímaadatok szerezhetők be. A hivatalos állomásokon a léghőmérséklet és légnedvesség értékeit a földfelszíntől számított 2 m magasságban mérik. Korrekcióra ekkor nincs szükség, mert a szakirodalmi eredmények azt bizonyítják, hogy a városi tetőréteg (utcaszint) levegőjének hatékony átkeveredése miatt az 1,1 m és 2 m közötti csekély magasságkülönbségnél a hőmérsékleti és a légnedvességi mező homogénnek tekinthető (*Nunez és Oke* 1977).

Nagyobb gondot okoz azonban a szélsebesség értékének a meghatározása. Ez utóbbit ugyanis a Meteorológiai Világszervezet (World Meteorological Organization – WMO) irányelvei szerint 10 m magasságban rögzítik. A szélsebesség ekkora magasságkülönbség (1,1 m – 10 m) mellett jelentős eltérést mutat. Így a mért adatokból az 1,1 m-re vonatkozó szélsebesség értékeket redukció segítségével kaphatjuk meg, amit a (2.6) összefüggés alapján végezhetünk el.

$$v_{1,1} = v_{10} \cdot (1{,}1 / 10)^{\alpha},\ \alpha = 0{,}12 \cdot z_0 + 0{,}18 \tag{2.6}$$

ahol $v_{1,1}$, illetve v_{10} rendre az 1,1 m és 10 m magasságban mért szélsebesség, $\boldsymbol{\alpha}$ pedig egy olyan empirikus együttható, amely a felszíni érdesség (z_0 – érdességi magasság) függvénye (*Spagnolo és de Dear* 2003, *Nikolopoulou és Lykoudis* 2006, *Fröhlich és Matzarakis* 2013).

A telepített állomásokról történő adatbeszerzés esetében is a T_{mrt} meghatározása jelenti a legnagyobb problémát, hiszen – speciálisan humán-bioklimatológiai mérőszámról lévén szó – a hivatalos állomások nincsenek felszerelve a meghatározásához szükséges mérőműszerekkel. A meteorológiai állomásokon rendszerint az égboltkorlátozástól mentes globálsugárzás (vagy rosszabb esetben csupán a felhőborítottság) értékeihez lehet csak hozzájutni. Ebből az egy rövidhullámú sugárzási fluxusból a tereptárgyak (pl. az épületek és növényzet) által módosított összetett sugárzási viszonyokat, és így a T_{mrt} értékét csak modellezési eljárással határozhatjuk meg. Ehhez azonban ismernünk kell többek között a vizsgált terület földrajzi koordinátáit, felszíngeometriáját (de legalább az égboltláthatóságot, az ún. Sky View Factor (SVF) tényezőt), a környező tereptárgyak sugárzásos energiacsere szempontjából meghatározó fizikai tulajdonságait (albedó, transzmisszivitás, emisszivitás), továbbá a tanulmányozott nap dátumát, az időpontot, valamint a léghőmérséklet és a légnedvesség állomásokon mért értékét (*VDI* 1998). Az elmúlt években a városi mikrokörnyezetekben jellemző sugárzási viszonyok modellezésére számos szoftvert fejlesztettek ki, melyek közül a szabad felhasználású RayMan sugárzási és bioklímamodellt (*Matzarakis et al.* 2007, 2010), valamint a szintén ingyenes hozzáférésű SOLWEIG modellt (*Lindberg et al.* 2008) használják a leggyakrabban a T_{mrt} értékének megadásához. (A modellek részletes bemutatását lásd a 2.5. fejezetben).

Fontos megemlíteni, hogy a hivatalos mérőállomások adatainak felhasználását nehezíti, hogy a különböző településeken az adatok rögzítése nem minden klímaparaméterre terjed ki. Például a globálsugárzás mérésére nem minden állomáson nyílik lehetőség. Ilyen helyzetekben csupán a felhőborítottság adatbázisára támaszkodhatunk (pl. *Matzarakis et al.* 2005, *Németh* 2011), ez viszont a humán-bioklimatológiai vizsgálatoknál − ahol a termikus stresszviszonyok és a humán hőérzet alakulását tekintve általában a sugárzási komponens a leghangsúlyosabb paraméter − pontatlanabb eredményekhez vezethet.

További problémákat vethet fel a meteorológiai állomások elhelyezkedése. Hazánkban például Szegeden vagy Budapesten a városi hatásoktól mentes (rurális) állomásokon kívül belvárosi mérőpontok is találhatók. Mivel a humán-bioklimatológiai kutatások a városi közterületek termikus viszonyainak vizsgálatára irányulnak, kézenfekvő lehet az ezekhez közelebb elhelyezkedő városi mérőállomás adatbázisát választani (pl. *Kántor és Unger* 2010, *Gulyás et al.* 2003). Ilyen esetekben azonban mindenképpen számolnunk kell azzal, hogy a belvárosban elhelyezett állomásokról származó klímaadatok már eleve városi hatásokkal terheltek, és a későbbiekben ezeket tovább módosítjuk a redukálással és a modellezési eljárásokkal. A különböző tanulmányok eredményeinek összevetésénél szem előtt kell tehát tartani, hogy a belvárosi vagy pedig a városhoz közeli (rurális környezetben elhelyezkedő) telepített meteorológiai állomások adatsoraiból indulnak-e ki. *Gulyás* (2009) munkájából kiderült például, hogy a Szeged belvárosi és a városon kívüli állomások adatainak felhasználása jelentősen eltérő eloszlású komfortindex-értékeket eredményezett, annak ellenére, hogy mindkét állomás esetén égboltkorlátozástól mentes globálsugárzás adatokat használt fel.

2.4.3. A termikus paraméterek térbeli kiterjesztése mikroklíma-modellek segítségével

Az eddigiekben bemutatott mérési technikák (azaz a vizsgált helyszínen kivitelezett mobil műszeres és a telepített állomási mérés) egyik alapproblémája, hogy az általuk nyert paraméterek, illetve a belőlük számítható bioklimatológiai mérőszámok csak a mérőállomások helyére és kisebb túlzással azok közvetlen környezetére jellemzőek. Ettől a ponttól akár néhány

méterre, a más felszínborítással vagy éppen eltérő árnyékolási viszonyokkal rendelkező területeken egészen más termikus viszonyok alakulhatnak ki. A várostervezői szempontokat is szem előtt tartva a pusztán egyetlen (vagy jelentősen korlátozott számú) vizsgálati pontra vonatkozó bioklimatológiai információk nem szolgálnak elegendő ismerettel egy városi közterület egészének (pl. park vagy játszótér) termikus adottságairól, a változatos kialakítású területeken ugyanis általában nagymértékű mozaikosságra számíthatunk klimatikus szempontból. Ezeknek a mintázatoknak a részletesebb vizsgálatára nyújtanak lehetőséget a mikro-bioklimatológiai szimulációk, melyek a vizsgált területre fektetett tetszőleges felbontású rácsháló mentén, minden egyes cellára (vagy rácspontra) képesek modelleredményeket (termikus alapparamétereket, valamint humán-bioklimatológiai indexeket) nyújtani (*Bruse* 2004).

A mikro-bioklimatológiai szimulációs szoftverek alkalmazása a termikus paraméterek előállításának legköltséghatékonyabb módja. A modellfuttatásokhoz szükséges klímaparaméterek általában központi adatbázisokból származnak, és a legtöbb esetben sem a bemeneti, sem pedig a kimeneti adatcsomagok nem szorulnak redukcióra. Az eljárás további előnye, hogy bizonyos modellekkel − pl. az ENVI-met modellel (*Bruse és Fleer* 1998) − nem csupán a sugárzási viszonyok és a konkrét bioklimatikus indexek (pl. PMV, PET) értékei modellezhetők, hanem a felszínmorfológiai adatok alapján valamennyi klímaparaméter (pl. a léghőmérséklet, a légnedvesség és a légáramlás) tér- és időbeli mintázatai is szimulálhatók. Az ilyen és ehhez hasonló modellek azonban éppen az összetettebb feldolgozás miatt jóval időigényesebbek: finomabb felbontás mellett a futtatások akár több napig is eltarthatnak.

A városi humán-bioklimatológiai vizsgálatok szempontjából a modellek legfontosabb kimenetei az ún. **bioklimatikus térképek** vagy hőstressztérképek, melyek finom időbeli és térbeli felbontással képesek szemléltetni a közterületeken vagy akár egy kisebb városrészen kialakult termikus különbségeket.

A mikroklimatológiai szimulációk eredményesen alkalmazhatók a várostervezés előkészítő fázisaiban, részfolyamataiban, továbbá olyan helyzetekben, amikor több potenciális terv vagy elképzelés közül kell kiválasztanunk a legjobbat. A modellfuttatások ugyanis nem csak valós környezetek esetén, hanem fiktív beállítások mellett is elvégezhetők (*Huttner et al.* 2008). Ennek köszönhetően már a tervezés fázisában előjelezhetők és mérlegelhetők a területrendezési módosítások (pl. a felszínborítás vagy az épület- és növényállomány változtatásainak) környezetre és komfortérzetre kifejtett hatásai. A meteorológiai inputadatok módosításával (pl. a léghőmérséklet bizonyos klímaváltozási szcenárióknak megfelelő változtatásával) pedig a jövőben várható klimatikus trendek következményei is szimulálhatók (*Huttner et al.* 2008).

2.5. A FONTOSABB MIKROKLIMATOLÓGIAI MODELLEK ÉS A BENNÜK REJLŐ LEHETŐSÉGEK

A beépített bioklimatológiai indexszámító funkcióval is ellátott mikroklimatológiai modellek tehát adott bemeneti klímaparaméterek és felszínmorfológiai adatbázis mellett képesek szimulálni a különféle városi környezetek emberi szervezetre gyakorolt termofiziológiai hatásait. Közös céljuk, hogy könnyen értelmezhető, szemléletes formában jelenítsék meg az egyes várostervezési szcenáriók mikro-bioklimatológiai következményeivel kapcsolatos eredményeket, és így hozzájáruljanak az optimális városi élettér megteremtéséhez.

Az elmúlt néhány évben ugrásszerűen megemelkedett a mikroklimatológiai modellező programok és a velük végzett szimulációk száma. Habár ezek a szoftverek kénytelenek bizo-

nyos egyszerűsítéseket alkalmazni a modellezési folyamat során (*Ali-Toudert és Mayer* 2006), mégis a leggyorsabb és legköltséghatékonyabb alternatívái az összetett városi felszínek és a mikroklimatikus körülmények között fellépő kölcsönhatások tanulmányozásának.

A szimulációs programok egyik része saját kiterjesztéssel és egyedi kezelőfelülettel rendelkezik, ahová adott esetben a szükséges felszínmorfológiai adatbázisok más, kényelmesebben használható szoftverekből is importálhatók (pl. ArcGIS, CAD). Léteznek azonban olyan szoftverek is, melyek a várostervezők és mérnökök ismereteihez és igényeihez jobban igazodva eleve CAD-alapúak (pl. *Teller és Azar* 2001, *Asawa et al*. 2008).

Közép-Európában a német eredetű RayMan és ENVI-met váltak a legnépszerűbb mikroklimatológiai modellekké, többek között azért, mert egyszerű és viszonylag gyors eredményekkel szolgálnak, továbbá ingyenesen hozzáférhetők.

2.5.1. A RayMan Pro modell

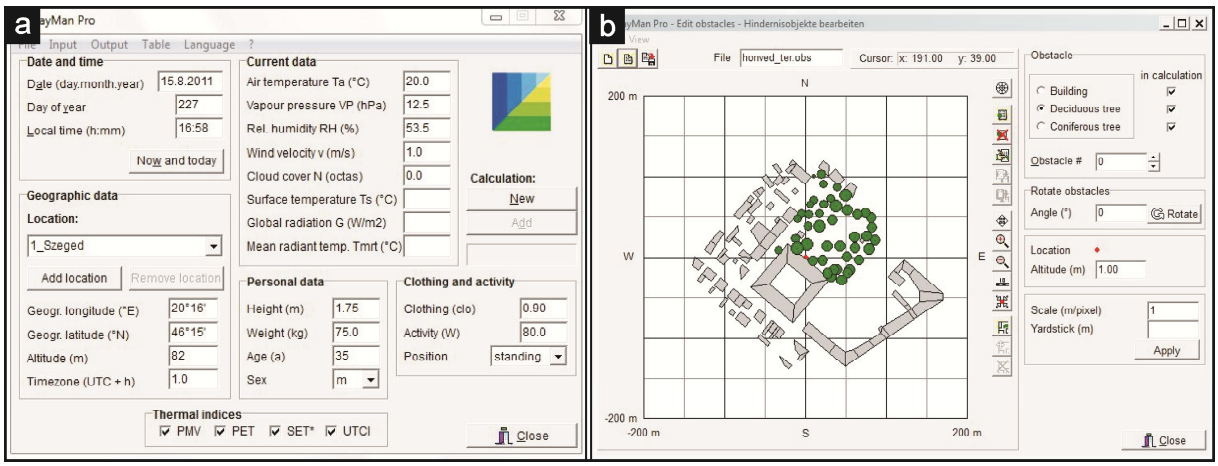
A RayMan Pro (a továbbiakban RayMan) egy olyan, pontra vonatkozó kimeneteket adó, statikus sugárzási és bioklímamodell, melyet a Német Mérnöki Kamara (Verein Deutscher Ingenieure − VDI) irányelvei (*VDI* 1994, 1998) alapján fejlesztettek ki a Freiburgi Egyetem Meteorológiai Intézetében (Meteorological Institute, University of Freiburg). Ezt a szoftvert a világ csaknem minden táján alkalmazzák (pl. *Thorsson et al.* 2004, *Gulyás et al.* 2006, *Mahmoud* 2011, *Hwang et al.* 2011, *Charalampopoulos et al.* 2013), mert viszonylag könnyű kezelni, gyors megoldást nyújt a termikus mérőszámok előállítására, és egyúttal megfelelő információkkal szolgál a városi struktúrák sugárzásmódosító hatásairól.

A modell bemeneti adatainak egyik nagyobb csoportját a vizsgálat idejére vonatkozó **meteorológiai alapadatok** adják. A termikus komfortindexek kiszámításához minimum a léghőmérséklet, a légnedvesség, a szélsebesség és – az átlagos sugárzási hőmérséklet híján – a globálsugárzás (vagy a felhőborítottság) adatsorait kell betáplálni a modellbe (*Matzarakis et al.* 2007, 2010).

A sugárzási fluxusok és így a T_{mrt} modellezéséhez az időn (dátum, időpont) és a földrajzi helyszínre vonatkozó paramétereken (földrajzi szélesség, hosszúság, tengerszint feletti magasság) túl a **felszíni struktúra adatbázisa** szükséges, amely a vizsgált terület háromdimenziós felszínmorfológiai adatait tartalmazza. Ez utóbbihoz az épületek és a fás vegetáció relatív koordinátáit, magasságát, valamint egyéb, méretekkel és sugárzásos energiacsere-folyamatokkal kapcsolatos tulajdonságait (pl. visszaverő- és kibocsátóképesség) kell megadni. A tereptárgyak adatbázisa magában a modellben is megszerkeszthető, de más grafikai és felületszerkesztő szoftverekből (pl. ArcView, ArcGIS) is importálható. Abban az esetben, ha nem állnak rendelkezésünkre terepi információk, a RayMan lehetőséget biztosít arra is, hogy a horizontkorlátozási poligonokat a vizsgált pontból készült halszemoptikás felvétel alapján rajzoljuk meg.

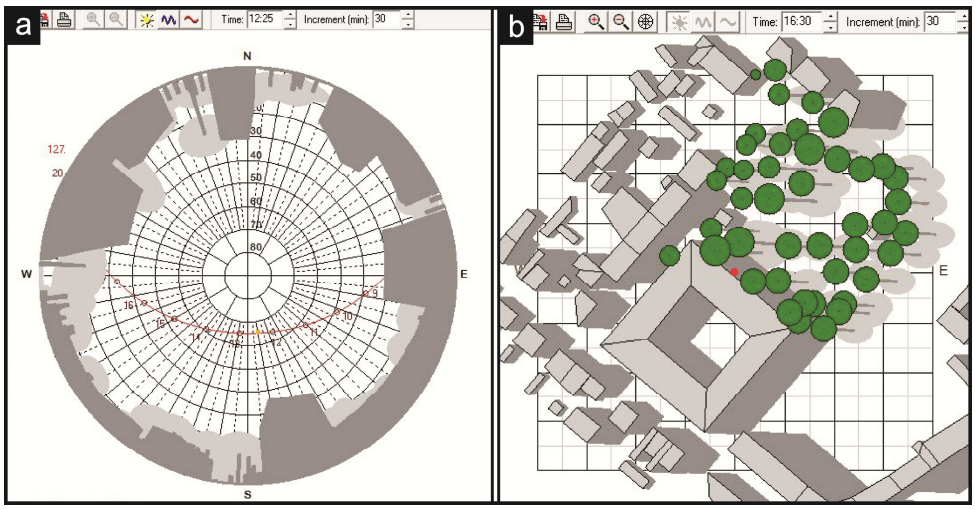
A RayMan jelenlegi verziója négy komfortindex, a PMV, a SET*, a PET és az UTCI kiszámítását támogatja. Az utóbbi kettő – a definíciójuk értelmében – standard alanyra vonatkozik, azaz egy 1,8 m magas, 75 kg testtömegű, 35 éves férfi példáján keresztül jellemzi az embereket érő termofiziológiai terhelést, adott termikus környezet esetén. Ezzel szemben a PMV és a SET* értékei személyre szabottan is kiszámíthatók, éppen ezért a RayManben a felszínre vonatkozó és a meteorológiai adatokon túl olyan **személyes paraméterek** is beállíthatók,

mint például a kor, a nem, a testsúly, a testmagasság, a testhelyzet, az aktivitás általi hőtermelés vagy a ruházat hőszigetelése (2.5.1. ábra).



2.5.1. ábra A RayMan modell kezdőfelülete (a) és a felszíni struktúra adatbázisát kezelő ablak (b)

A RayMan a megfelelő bemeneti adatok bevitele után nem csupán a T_{mrt} és a termikus indexek (PMV, PET, SET*, UTCI) értékeit képes kiszámítani. Szemléltetni tudja az év bármely napjára vonatkozó napjárási görbét (a halszemoptikás felvételekhez hasonló kimeneteken), a természetes és mesterséges tereptárgyak napszakonként változó árnyékoló hatását, valamint információt nyújt a napsütéses időszakok hosszáról is (*Matzarakis et al.* 2007, 2.5.2. ábra). A szoftver a kimeneti adatokat a modellterületen pirossal jelölt („Location”) pontra generálja (2.5.1.b, 2.5.2.b ábra). Ennek a pontnak a helye a modellfelületen tetszőlegesen változtatható (*Matzarakis et al.* 2007).



2.5.2. ábra A RayMan modell vizuális kimenetei: a vizsgálati pontból látható, halszemoptikás felvételhez hasonló kép a napjárási görbével (a), valamint a tereptárgyak árnyékhatását szemléltető kimenet (b) (ahol a zöld szín a vegetációt, a szürke zárt négyszögek az épületeket jelölik)

A RayMan validálásával foglalkozó németországi és tajvani tanulmányok a modellt alkalmasnak találták a T_{mrt} (és így a bioklimatikus indexek) értékének pontos meghatározására. Eredményeik ugyanis erős korrelációt (R^2 = 0,85−0,95) mutattak a helyszíneken mért és a modellezésből nyert T_{mrt}-értékek között (*Matzarakis et al.* 2010, *Lin et al.* 2010, *Hwang et al.* 2011). Svéd vizsgálatok azonban rávilágítottak, hogy a RayMan alacsonyabb napmagasságok mellett erősen alulbecsli a T_{mrt} értékét, ami a közepes földrajzi szélességeken a reggeli és késő

délutáni órákban, a magasabb szélességeken azonban (a nyarat leszámítva) csaknem egész évben megfigyelhető (*Thorsson et al.* 2007b).

2.5.2. Az ENVI-met System modell

Az ENVI-met System (a továbbiakban ENVI-met) egy több alprogramból álló programcsomag, melyet kifejezetten várostervezési folyamatokat segítő céllal alkottak meg. A modell egy háromdimenziós, nem hidrosztatikus numerikus szimulációs szoftver, amely a kisléptékű légköri folyamatok elemzésére és megjelenítésére alkalmas. A modellfuttatások során az ENVI-met a légköri paramétereken (léghőmérséklet, légnedvesség, szélsebesség, turbulencia, légszennyezők) túl a városi felszínborítások, a vegetáció és a környező épületek hatását is figyelembe veszi, illetve a köztük lejátszódó kölcsönhatásokat is értelmezi (*Bruse és Fleer* 1998, *Bruse* 2004, *Ali-Toudert et al.* 2005, *Berkovic et al.* 2012).

A meglehetősen összetett felépítésű ENVI-met tehát a szimuláció részfolyamatait több modellcsoporton keresztül végzi (2.5.1. táblázat).

2.5.1. táblázat Az ENVI-met modell struktúrája (modellcsoportok és azok kimenetei, *Bruse* 2004)

Atmoszféra	Talajrendszer	Vegetáció	Felszín	Biometerológia
Légáramlás	Talajhőmérséklet	Lombhőmérséklet	Talajfelszíni hőcserefolyamatok	PMV
Léghőmérséklet	Talajnedvesség	Hőcsere	Épületfelszíni (tető/fal) hőcserefolyamatok	BOTworld
Légnedvesség	Víztestek	Vízgőzcsere	Falakon keresztüli hővezetés	
Turbulencia		Vízfelfogás		
Szennyezés		Vízmozgás		

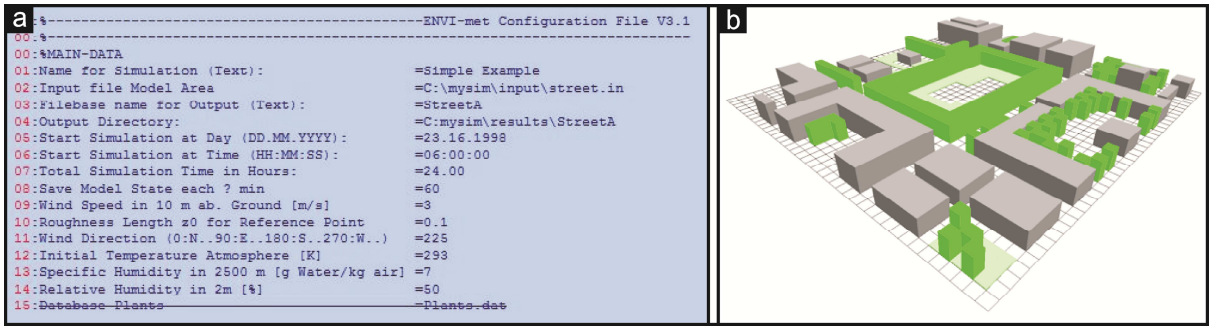
Az **atmoszféra** jellemzésére a modell a szél, a relatív nedvesség, a léghőmérséklet, valamint a turbulencia paramétereit használja fel, kiegészítve a légszennyezőanyagok koncentrációjával. A turbulens légáramlást a program a Navier–Stokes-egyenletrendszer alapján szimulálja a modellezett háromdimenziós környezet minden egyes cellájára (*Bruse és Fleer* 1998). A légnedvesség és a léghőmérséklet eloszlását pedig az előbbi összefüggések alapján meghatározott szélmező szerint adja meg (*Bruse és Fleer* 1998).

Az összetett, heterogén városi felszínborítást (beleértve a természetes és mesterséges felszíneket és azok kombinációit) reprezentáló **talajmodell** a talajhőmérséklet- és talajnedvesség-profil szimulációjához figyelembe veszi a felszínek termodinamikai tulajdonságait, hidraulikus vezetőképességét és a rövidhullámú sugárzással szembeni visszaverőképességét (azaz albedóját). A modell a légkörrel érintkező felülettől indulva 2 m mélységig 14 rétegre bontja fel a felszínt. A felső 0,5 m vastagságú (talaj)réteg további egységekre tagolódik, ahol egy réteg 0,01 m vastagságú (*Bruse és Fleer* 1998, *Yang et al.* 2013).

A **növényzetet** az ENVI-met egydimenziós oszlopként értelmezi, és a vegetáció típusától függő vertikális levéleloszlást, illetve levélmennyiséget a LAD (leaf area density) normalizált levélfelületi sűrűség értékével adja meg. A gyökérzetet hasonló módon, a RAD (root area density) normalizált gyökérfelületi sűrűséggel írja le. A vegetációs rendszerben lezajló hő-, pára-, víz- és gázcserefolyamatok szimulációjához a modell az előbbiek mellett a levelek hőmérsékletét, energiaegyenlegét, abszorpciós tulajdonságait és a levelek átlagos gázcserenyílás-számát is figyelembe veszi.

Az ENVI-met 3.1 verziója a városi **felületeket** (talajfelszín, épületek oldalfala és teteje) csupán vízszintes vagy függőleges irányultságú síkokként képes értelmezni. Jellemzése során azonban olyan tényezőket is számításba vesz, mint például a felszínek kipárolgása (vízgőz, szennyezőanyagok), a talajon lévő növényzet áramlásmódosító hatása vagy az egyes felszínek albedója és kibocsátóképessége (*Bruse és Fleer* 1998).

A **bioklimatológiai** modul a PMV index alapján értékeli a modellezett környezet termikus komfortviszonyait. Az ENVI-methez egy BOTworld nevű segédprogram is kapcsolható, amely virtuális gyalogosokat (ún. BOT-okat) helyez el a mintaterületen, és szimulálja azok területen belüli mozgását, valamint (egyéb fiziológiai paraméterük mellett) azok hőérzetét (*Bruse* 2009, *Dostal et al.* 2009). Tekintettel arra, hogy az ENVI-met az előbbiekben bemutatott folyamatok mindegyikét a neki megfelelő parciális differenciálegyenlettel írja le, a modellfuttatások ideje jelentősen megnövekedhet, és akár több napig is eltarthat.



2.5.3. ábra A konfigurációs fájl kezelőfelülete (a) és az Area Input fájl három dimenzióban megjelenített képe (b) (a zöld szín a vegetációt, a szürke az épületeket jelöli, *Bruse* 2004)

Az ENVI-met modell lefutásához két eltérő kiterjesztésű adatcsomag, az ún. konfigurációs fájl és az Area Input fájl létrehozása szükséges (2.5.3. ábra). A **konfigurációs fájl** (.cf) egy olyan ASCII szövegfájl, mely a legfontosabb beállításokat és adatokat tartalmazza, így többek között a szimuláció kezdődátumát, hosszát, elnevezését, a bemeneti és kimeneti adatok elérési útvonalait, valamint a meteorológiai alapadatokat. Minden egyes szimuláció saját konfigurációs fájllal rendelkezik, és csak akkor futtatható, ha a konfigurációs fájl a megfelelő elérési útvonalakat tartalmazza. A legegyszerűbb esetben a .cf fájl csupán egy alapbeállításokat tartalmazó adatblokkból áll, azonban ehhez speciális modellfuttatásokkor további adatcsomagok, ún. opcionális beállítások is megadhatók (pl. épületadatok vagy a talaj jellemzői).

Az **Area Input fájlban** (.in) adhatjuk meg a modellezett terület felszíngeometriai és anyagi tulajdonságait, vagyis az épületek és a vegetáció elhelyezkedését, azok magasságát, továbbá a felszín természetes és mesterséges burkolóanyagait. Az Area Input fájl szintén egy ASCII fájl, amelyben az adatok megjelenítése raszteres formátumot követ, vagyis a tereptárgyak elhelyezkedését egy rácsháló mentén, celláról cellára rajzolhatjuk meg. A vizsgált terület nagyságától és térbeli felbontásától függően az *x*, *y* (horizontális) és *z* (vertikális) irányoknak megfelelően több rácsméret (pl. 100×100×30, 180×180×30 vagy 250×250×30 cella) közül is választhatunk. Az egyes cellák *x*-*y* oldalhossza (azaz a térbeli felbontás) 0,5 m-től 10 m-ig, a modellterület teljes magassága pedig 30 m-től 2500 m-ig terjedhet (*Bruse* 2004, *Huttner et al.* 2008, 2.5.3. ábra). A vertikálisan egymás felett elhelyezkedő cellák magasságát (*z*) két módon állíthatjuk be a modellben. Az egyik esetben az egymás felett elhelyezkedő rétegek egyenlő nagyságúak. Kivételt csak a felszíntől számított első réteg képez, amely további 5 egyenlő részre oszlik. A másik megoldásnál csak az első cella magasságát és egy százalékos értéket

adunk meg. Ez utóbbi azt mutatja meg, hogy egy adott réteg hány százalékkal vastagabb az alatta lévőknél (*Bruse* 2004).

Az épületek, a vegetáció és a felszínborítás adatainak bevitele történhet manuálisan az *x-y* koordinátarendszerként értelmezhető munkafelületen, ahol az objektumoknak egyenként adhatjuk meg az elhelyezkedését, magasságát, valamint típusát. Bonyolult mintaterület esetén azonban célszerű egy GIS-alapú rendszerben előkészíteni a vizsgált terület tereptárgyainak bemeneti adatait. A kész mintaterületi térkép rácsformátumú elmentése után az adatok könnyen behívhatók és megjeleníthetők az Area Input fájl munkafelületén.

Fontos megemlíteni, hogy a reális modelleredmények érdekében a futtatások előtt a modellterületet érdemes horizontálisan legalább olyan mértékben (annyi cellával) megnövelni, mint amekkora a vizsgált terület szélein elhelyezkedő épületek magassága. A központi modellterületet tehát mintegy beágyazzuk az ún. határmenti cellák (nesting gridek) gyűrűjébe. Ezek a cellák mentesek minden objektumtól, és pusztán azt a célt szolgálják, hogy a tényleges modellterület szélső celláira szimulált értékek is valósak legyenek. A sikeres futtatás érdekében a modell teljes magasságának legalább akkorának kell lennie, mint a legnagyobb épület magasságának a kétszerese, és el kell érnie a 30 métert (*Bruse* 2004).

A szimuláció kimeneti adatai a konfigurációs fájlban meghatározott időközönként (ami akár 10 perc is lehet) az előre megadott útvonalú mappába kerülnek. A kimenetek megjelenítésére a szoftvercsomag a **Leonardo** nevű alprogramot ajánlja, de az eredmények egyéb szoftverek (pl. Surfer) segítségével is kiértékelhetők, illetve illusztrálhatók.

Viszonylag kevés azoknak a tanulmányoknak a száma, amelyek az ENVI-met modell validálásával foglalkoznak. Ezzel kapcsolatban *Ali-Toudert* (2005) és *Ali-Toudert és Mayer* (2006, 2007) végeztek összetettebb vizsgálatokat különböző orientációjú és geometriájú utcakanyonok esetén. A németországi kutatások eredményei szerint az ENVI-met a reggeli órákban felülbecsülte a T_{mrt} értékét, míg a nap további részében − beleszámítva az éjszakát is − a modellezett eredmények végig a mért értékek alatt maradtak (*Ali-Toudert* 2005). Hasonló következtetések születtek az algériai vizsgálatok során is, ahol az irreálisan magas PET-értékek hátterében a felülbecsült T_{mrt} értékek állhattak (*Ali-Toudert* 2005, *Ali-Toudert és Mayer* 2006, 2007). A modellezett áramlási viszonyok pontosságát illetően *Krüger et al.* (2011) végeztek kísérleteket. Kalibrációs eredményeik rávilágítottak, hogy az ENVI-met általában felülbecsli a szélsebesség értékét, amennyiben 2 ms^{-1}-ot meghaladó értékkel indítják el a szimulációt. Kisebb szélsebesség esetén azonban a mért és a modellezett értékek közel együtt mozogtak.

2.5.3. Egyéb modellek

Az ingyenes hozzáférésű **Sky Helios modellt** a komplex városi környezetekben jellemző égboltláthatósági faktor (SVF) gyors és pontos kiszámítására, továbbá a nappálya vizualizálására és a sugárzási környezet értékelésére fejlesztették ki. A modell lefutásához a vizsgált terület topográfiai adatait tartalmazó digitális domborzatmodell (DEM) betáplálása szükséges. A Sky Helios modell mind a vektoros, mind pedig a raszteres adatok megjelenítésére alkalmas, és mivel a terepi információkat tartalmazó fájlok a RayMan modellből közvetlenül importálhatók, lehetőség nyílik a különböző modellezési technikák ötvözésére is (*Matuschek és Matzarakis* 2010, *Matzarakis és Matuschek* 2011, *Fröhlich és Matzarakis* 2013).

Az előbbi modellhez hasonlóan a svéd kutatócsoport **SOLWEIG** (**SO**lar and **L**ong**W**ave **E**nvironmental **I**rradiance **G**eometry) modellje is elsősorban a sugárzási viszonyok szimuláci-

ójára és megjelenítésére szolgál (*Lindberg et al.* 2008, *Lindberg és Grimmond* 2011). A SOLWEIG a háromdimenziós sugárzási fluxusokat és a T_{mrt} értékét a vizsgált városi területre jellemző felszíngeometria (DEM) és a meteorológiai adatok (direkt, diffúz és globálsugárzás, léghőmérséklet, légnedvesség) alapján számítja. A modellfuttatások elméleti hátterében *Höppe* (1992) mérési technikájának filozófiája áll, miszerint a rövid- és hosszúhullámú sugárzási fluxusokat elegendő a tér hat, egymásra merőleges irányából érkezőnek tekinteni. A modellkimenetek három nagyobb csoportba sorolhatók: a vizsgált nap T_{mrt} értékeinek térbeli eloszlását ábrázoló térképek (órás bontásban), a rövid- és hosszúhullámú sugárzási fluxusok, valamint a T_{mrt} idődiagramjai, és az előbbiek szöveges formátumú (.txt) fájljai (*Lindberg és Grimmond* 2011).

Kifejezetten várostervezői és építészeti céllal alkották meg az ún. TownScope modellt, és a tokiói mérnökök által fejlesztett 3D-CAD típusú numerikus szimulációs szoftvert. Ennek a két modellnek az előnye, hogy kezelőfelületük CAD-alapú, így nemcsak összetettebb mérnöki feladatok elvégzésére használhatók, hanem eredményeik könnyedén összekapcsolhatók egyéb tervezői szoftverek kimeneteivel is.

A Liege-i Egyetem háromdimenziós **TownScope** modellje nagy hangsúlyt fektet a sugárzási környezet hatásának értékelésére, emellett információkkal szolgál a sűrűn beépített városi területek szélmintázatáról, valamint a közterületek termikus és vizuális komfortviszonyairól (*Teller és Azar* 2001, *Azar* 2013). Hatékony segítséget nyújt az újonnan létesült épületegyüttesek vizuális beillesztésében, valamint a történelmi és jelenkori városrészek jellemzésében. A modellfuttatások fontosabb beviteli paraméterei az épületek adatbázisa, az ún. vegetációs maszkok és az alapvető meteorológiai adatok.

A japán **3D-CAD** típusú modell a városi felszínek (beleértve a természetes és mesterséges tereptárgyakat, illetve burkolatokat) hőcserefolyamatainak szimulációját a háromdimenziós CAD rendszerek technikájával egyesíti (*Asawa et al*. 2008, *He et al*. 2009). A modellfuttatások két lépésben zajlanak: az ún. városiblokk-modellt (mely a tereptárgyak elhelyezkedését, anyagát és hőtani tulajdonságait tartalmazza) a rendszer ún. háromdimenziós tömegmodellé alakítja, amelyből a meteorológiai adatbázis felhasználásával minden egyes felszínre kiszámítja a hőcserefolyamatokat. A viszonylag komplex modellezési folyamat három kimeneti adatcsomagot eredményez: a városi felszínek hőmérsékleti eloszlását bemutató térképeket (melyekhez a modell a földrajzi információs rendszer adatbázisát használja), valamint a vizsgált területek termikus adottságait leíró T_{mrt} értékeket és az ún. HIP (Heat Island Potential – várható hősziget-intenzitás) index szimulált értékeit.

2.5.4. A modellek alkalmazásának nemzetközi tapasztalatai és felhasználási lehetőségeik a várostervezésben – néhány jellemző példa

A mikroklimatológiai szimulációk várostervezésben betöltött kiemelkedő szerepét egyre több kutatócsoport és tervező cég ismeri el, amit többek között az is bizonyít, hogy az elmúlt években számos olyan tanulmány és értekezés látott napvilágot, melyek a városi környezetben felmerülő tervezési problémákra szimulációs technikákkal világítottak rá, vagy éppen azok segítségével találtak megoldást rájuk.

A városokban tömeges mértékben jelenlévő mesterséges anyagok nemcsak esztétikailag hatnak negatívan közérzetünkre, de legfőképp nyáron − eltérő hővezető-képességük és hőkapacitásuk révén − jelentős többlethőt juttatnak a felszínközeli városi légtérbe. *Yang et al.*

(2013) Guangzhou (Dél-Kína) belvárosában különböző típusú felszínborítások (beton, csempe, aszfalt és gyep) termikus adottságainak hatását tesztelték az ENVI-met segítségével. Az egyidejűleg végzett helyszíni mérések alátámasztották, hogy a modell megfelelő pontossággal képes előre jelezni az egyes mikroklimatikus paramétereket, továbbá a felszínhez közeli függőleges hőmérsékleti gradiens modelleredményei kiválóan szemléltetik a vegetáció kedvező klimatikus hatásait. Szintén a felszínközeli hőmérséklet, valamint a városi hősziget mérséklésére irányult *Carnielo és Zinzi* (2013) tanulmánya, melyben egy speciális (titán-dioxid alapú) hidegburkolat viselkedését vizsgálták modellezési eljárással (ENVI-met), különböző színváltozatok mellett.

A városi környezetek bioklimatikus jellemzőit azonban nem csupán a megfelelő felszínborítás javíthatja, hanem az egyes területek árnyékolásának mértéke, továbbá az adott városi struktúra geometriai viszonyai is – így pl. az utcák alakja, H/W aránya (az épületmagasság és az utcaszélesség aránya) és orientációja – jelentősen befolyásolhatják. Az utcakanyonok elhelyezkedésével és orientációjával kapcsolatban *Ali-Toudert és Mayer* (2006, 2007) és *Emmanuel és Johansson* (2006) végeztek szimulációs kísérleteket. Az algériai vizsgálat különböző irányú utcakanyonok esetén az ENVI-met modell segítségével szemléltette a kiugró épülethomlokzatok, árkádok és a fasorok hatását a T_{mrt}- és a PET-értékek térbeli mintázatára (*Ali-Toudert és Mayer* 2007). A Srí Lankán készült tanulmány Colombo város öt utcájában, eltérő égboltláthatóság mellett (melynek értékét a RayMan modellel állították elő) értékelte a mikroklimatikus tényezők változékonyságát, és emellett konkrét tervezési ötletekkel is szolgált az utcák arányaira és kialakítására vonatkozóan (*Emmanuel és Johansson* 2006).

Bizonyos klimatikus adottságok, illetve terepi mintázat mellett előfordul, hogy a megerősödött légáramlatok okoznak kényelmetlenséget a sétálóutcák, parkok látogatóinak. A szél okozta kellemetlenségek azonban előre jelezhetők és tudatos várostervezési stratégiákkal kivédhetők, de legalábbis jelentős mértékben csökkenthetők. Ezzel kapcsolatban *Szűcs* (2013) végzett részletes szimulációs vizsgálatokat (az ENVI-met modell felhasználásával) Dublin egyik legdinamikusabban fejlődő kulturális negyedében. A kifejezetten mérnöki alapokra épülő tanulmány az abszolút (szimulált) és a relatív (a közeli meteorológiai állomás értékeihez viszonyított) szélsebesség értékeit elemezte a Grand Canal tér négy eltérő pontján. A tér egyes pontjain drasztikusan megnövekedett szélsebességértékek és széllökések kivédésére fiatal fák ültetését, valamint kiegészítésképpen mobil szélárnyékolók, mesterséges sövények kitelepítését vagy bokorsávok ültetését javasolta.

A városi területeken a komfortos mikroklimatikus körülmények megteremtésének egyik kulcsparamétere a kellő mennyiségű és megfelelő minőségű vegetáció megválasztása. A növényzet (beleértve a fás vegetációt, a cserjéket és a füves területeket) azon felül, hogy árnyékoló és evapotranszspirációs hűtőhatása révén a melegebb évszakokban kellemesebb környezetet biztosít a városlakók kikapcsolódásához (pl. *Shashua-Bar és Hoffman* 2000, *Shashua-Bar et al.* 2009), hozzájárul a levegő páratartalmának növeléséhez, és óv az erős direkt sugárzástól, valamint a széltől is (*Shahidan et al.* 2010). Emellett a lombhullató fák árnyékoló hatása − a közép-európai viszonyokat nézve – igazodik az emberek évszakosan változó árnyékigényeihez. Komfortjavító tulajdonságaik és a várostervezésben betöltött előkelő szerepük kiválóan igazolható és szemléltethető a mikroklimatológiai modellekkel. *Shashua-Bar et al.* (2010) például numerikus szimulációs vizsgálataikat három eltérő forgalmú és növénylefedettségű athéni utca esetén végezték el, ahol a (CTTC – Cluster Thermal Time Constant) modellezési szcenáriók alátámasztották a vegetáció hőmérséklet-csökkentő hatását. A Szinga-

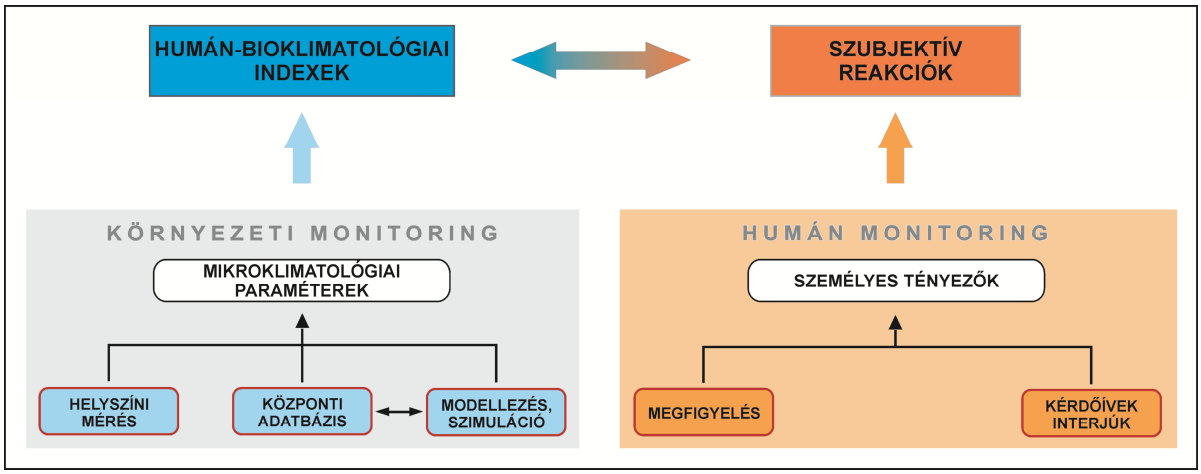
púri Egyetem térségének területrendezése kapcsán pedig a numerikus szimuláció az érvelés kiváló eszközének bizonyult (*Wong és Jusuf* 2008). A tervek a kampusz területén a növényzet egy részének kivágását, átültetését és további egyetemi épületek létesítését javasolták. Az ENVI-met modell eredményei rávilágítottak arra, hogy a beavatkozások megvalósulása esetén a léghőmérséklet alakulásában 1 °C-os emelkedés várható. Viszont abban az esetben, ha az új területkialakításon felül növeljük a vegetáció mennyiségét, a jelenleginél is kedvezőbb éjszakai hőmérsékletértékek érhetők el.

Az összetett kutatási projektek során gyakran előfordul, hogy a numerikus szimulációk egy komplex, több lépcsős vizsgálatsorozat egy-egy részfolyamatában vesznek csak részt. Így volt ez a 2006−2009 között zajló németországi KLIMES projekt esetén is, amely az elméleti háttér és a gyakorlat hatékony összekapcsolásával a klímaváltozás hatására egyre gyakoribbá váló hőhullámok előrejelzését és mérséklését tűzte ki célul (*Mayer et al*. 2008). A projekt többek között helyszíni mikrometeorológiai mérésekből és szimulációs vizsgálatokból (ENVI-met) tevődött össze. Utóbbit elsősorban a jövőben várható klimatikus trendek városon belüli mikro-bioklimatikus hatásainak értékelésére építették be a projektbe (*Huttner et al*. 2008, 2009). A KLIMES hosszú távú céljai között olyan várostervezési stratégiák kidolgozása is szerepelt, melyek a hagyományos eljárások mellett a humán-bioklimatológiai tervezési szempontokat is integrálják (*Mayer et al.* 2008).

Egy-egy esettanulmány – hasonlóan a nagyobb projektekhez – több vizsgálati vagy módszertani egységből is állhat. Ezek a kutatások általában egy konkrét várostervezési probléma megoldására irányulnak. *Lenzholzer* (2010, 2012) holland közterületek példáján önálló vizsgálati metodológiát dolgozott ki, mely a területek mikroklimatikus viszonyait leíró, kérdőíves felméréseken alapuló kognitív térképeket, helyszíni mikrometeorológiai méréseket, valamint szimulációs vizsgálatokat foglalta magában. A modellfuttatások elsősorban a közterületek árnyék- és szélviszonyainak javítására fókuszáltak, és leginkább olyan tényezőket vettek figyelembe, melyek a várostervezői eszközökkel könnyebben módosíthatók. A vizsgálat során szerzett tapasztalatokból a szerző a termikus komfortviszonyokat javító területrendezési javaslatokat dolgozott ki. *Fröhlich és Matzarakis* (2013) tanulmányában szintén több eltérő módszer ötvöződött. Egy népszerű freiburgi közterület bioklimatikus értékelését eddig egyedülálló módon három különböző modell (a RayMan, az ENVI-met és a SkyHelios) felhasználásával végezték el, miközben értékelték azok előnyeit, hátrányait és lehetőségeit a közterülettervezés részfolyamataiban. A mikroklimatológiai szimulációk a települések rehabilitációja során is hatékonyan alkalmazhatók. Erre jó példa Tirana történelmi központjának megújítási projektje, melynek fő célja az volt, hogy a viszonylag sok környezeti problémával (pl. erős nyári felmelegedés a mesterséges burkolatok következtében, kevés zöldterület és -felület, túlzott energiafelhasználás a környező épületek hűtésére) küzdő városrész kellemesebbé váljon, és ennek köszönhetően a terület kihasználtsága is az elvárások szerint alakuljon (*Fintikakis et al.* 2011). Az ezzel kapcsolatos munkálatok három fázisban zajlottak: a részletes klimatikus vizsgálatot követően a terület építészeti és bioklimatológiai tervezésére került sor, majd a projekt végén számítógépes szimulációs eljárásokkal (PHOENICS modell) értékelték a (termikus) komfortviszonyokat javító beavatkozások hatásait.

2.6. A HUMÁN TÉNYEZŐ BEVONÁSA A VÁROSI HUMÁN-BIOKLIMATOLÓGIAI KUTATÁSOKBA

A városi parkok, terek és játszóterek elsődleges funkciója, hogy megfelelő környezetet biztosítsanak a városlakók testi és szellemi felfrissüléséhez, teret adjanak szabadidejük eltöltésére és hatékony kikapcsolódást nyújtsanak számukra. Éppen ezért a komplex városi humán-bioklimatológiai kutatásokból nem hiányozhat a városokban élő és dolgozó emberek szubjektív reakcióinak felmérése, azaz a **humán monitoring**.



2.6.1. ábra A humán monitoringgal kiegészített komplex humán-bioklimatológiai vizsgálatok rendszerének áttekintése

Az emberek viselkedésükkel, területhasználatuk (tér- és időbeli) mintázatával reagálnak a fizikai környezetükre és annak változásaira, ezért úgy tekinthetünk rájuk, mint a városi közterületek legkézenfekvőbb indikátoraira, akik magatartásukkal jelzik, hogy az adott környezet (esetünkben ez egy adott városi terület), amelyben éppen tartózkodnak, komfortos-e számukra, vagy valamilyen szempontból kellemetlen. Ezeket a humán válaszokat legegyszerűbb módon a látogatók **észrevétlen megfigyelésén** keresztül vizsgálhatjuk, mely a területeken tartózkodók természetes viselkedését nem befolyásolja, az adatrögzítő személy csak passzív szemlélője marad az eseményeknek. Ezzel a módszerrel elsősorban a közterületek igénybevétele (pl. teljes látogatószáma), a látogatók területi elhelyezkedésének és az általuk végzett különböző aktivitásformáknak az időbeli mintázata tanulmányozható. Teljes képet a területre látogató alanyok tapasztalatairól, valamint a területtel és a környezettel kapcsolatos szubjektív véleményeikről azonban csak **kérdőíves felméréseken, interjúkon** keresztül nyerhetünk. Ez a módszer jóval több munkaráfordítást igényel az előbbinél, viszont részletgazdagabb információkkal szolgál a közterületek használatáról, illetve használóiról (*Thorsson et al.* 2004). A környezeti monitoring során nyert objektív paraméterek és a szubjektív humán reakciók (viselkedésformák, vélemények) egyidejű vizsgálatával a városlakók és a környezetük között lejátszódó kölcsönhatások közvetlenül tanulmányozhatók, és az ebből nyert, a városi életminőséggel szorosan összefüggő eredmények a várostervezés és -rendezés gyakorlatában is hasznosíthatók (2.6.1. ábra).

2.6.1. A látogatók megfigyelésére épülő vizsgálatok

A közterületeken tartózkodók észrevétlen megfigyelése a városi humán-bioklimatológiai kutatások kedvelt adatgyűjtési technikájának számít (pl. *Nikolopoulou et al.* 2001, *Thorsson et al.* 2004, *Lin* 2009, *Goličnik és Thompson* 2010), mivel egyszerre akár több látogatói csoport

felvételezését is lehetővé teszi. Az ilyen jellegű vizsgálatokon keresztül a területeken időzők viselkedésformáin (pl. sétálás, üldögélés, sportolás stb.) és alkalmazkodási reakcióin (pl. a ruházat vagy a napfénynek való kitettség megváltoztatása) túl adatokat szerezhetünk a ránézésre könnyebben meghatározható személyes paraméterekről (pl. nem, korcsoport stb.) is.

A **látogatottság pillanatnyi megfigyelése** a területen tartózkodó személyek összeszámlálását jelenti meghatározott időpontokban vagy periodikusan ismétlődő időközönként. Ez elvégezhető a teljes mintaterületre vonatkozóan vagy előre elkülönített − pl. morfológia vagy funkció alapján definiált − szektorok szerint (*Nikolopoulou és Lykoudis* 2007, *Kántor és Unger* 2010). Ennek a módszernek köszönhetően viszonylag egyszerűen megállapítható a vizsgált terület aktuális látogatottsága, illetve annak területegységenkénti alakulása. Megkönnyíthetjük az adatgyűjtést, ha a felmérések során a manuális felvételezés helyett a közterületek igénybevételéről fényképeket készítünk, melyeket utólag értékelünk ki (pl. *Thorsson et al.* 2004, *Lin* 2009). A fényképeken szereplő alanyokat ezután csoportosíthatjuk a különböző személyes tényezők alapján, viselkedésformáik szerint, és ezeket vizsgálhatjuk természetesen a közterületek egészére vagy annak egyes részeire vonatkozóan is.

A látogatószám pillanatnyi felvételezésénél bonyolultabb, de sokkal több adatot eredményező eljárás a **területen tartózkodó személyek részletes felmérése**, amikor az adatgyűjtések szükségszerűen bizonyos időintervallumokon belül zajlanak (*Kántor és Unger* 2010, *Goličnik és Thompson* 2010). A megfigyelések ezen típusánál a területhasználók személyes jellemzőit (pl. nem, korcsoport, ruházat), valamint az aktivitásformáikat és a viselkedésüket egyaránt felmérhetjük. Az időintervallumok hosszának megválasztásánál sajnos nincs általánosan bevált módszer, ezért legtöbbször azt a területhasználók szokásaihoz, a terület méretéhez, funkciójához vagy kialakításához igazítják. Ahogyan a pillanatnyi látogatottság felmérését megkönnyíthetjük a meghatározott időközönként készült fotókkal, úgy helyettesíthetjük az idő- és humánerőforrás-igényes részletes intervallum-felméréseket a területhasználókról készült videofelvételekkel. Ezek utólagos kiértékelése még több lehetőséget rejt magában, hiszen általuk képet kaphatunk a látogatók ott-tartózkodásának idejéről, a területi elhelyezkedésük, aktivitásuk, testhelyzetük vagy akár ruházatuk megváltozásáról (*Lin et al. 2012*). Ezek az információk kimondottan értékesek a termikus viszonyokra adott humán reakciók feltárásához.

A hosszabb ideig tartó vizsgálatsorozatok megfigyelési adatbázisából kirajzolódik a közterületek igénybevétele, valamint a látogatók területhasználatának térbeli és időbeli mintázata.

2.6.2. A kérdőíves felmérésen alapuló vizsgálatok

A termikus környezet objektív vizsgálatával (környezeti monitoring) egybekötött kérdőíves felmérés a komplex humán-bioklimatológiai értékelés elengedhetetlen eleme. Fontosságát többek között az is jelzi, hogy az elmúlt évtizedben világszerte számos olyan kisebb-nagyobb kutatási projekt, illetve esettanulmány látott napvilágot, melyek alapvetően kérdőíves felmérésekre épültek. Így történt ez például az öt európai ország részvételével lebonyolított RUROS (Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces) projekt során (*Nikolopoulou és Lykoudis* 2006, *RUROS* 2011), a svéd városok összefogásán alapuló UCS (Urban Climate Spaces) projektben (*Eliasson et al.* 2007, *UCS* 2012), de a korábban már említett németországi KLIMES (*Mayer et al.* 2008) esetén is.

Ugyan a kérdőívek országonként és területegységenként eltérőek lehetnek, az alapkérdéseket illetően mégis hasonlóságokat mutatnak. Az adatgyűjtés általában a **személyes tényezők** (pl. nem, kor stb.) mellett a **ruházat, az aktivitás és a napfénynek való kitettség** feljegyzésével kezdődik, mivel ezek mindegyike befolyással bír az emberi szervezet energiaegyenlegére, ennél fogva a termikus környezet megítélésére.

Humán-bioklimatológiai kutatásokról lévén szó, a kérdőívek mindegyike tartalmaz a **termikus környezet szubjektív értékelésére** vonatkozó kérdést vagy kérdéseket. Ez általában úgy jelenik meg mint az interjúalanyok általános szubjektív hőérzete, azonban gyakran előfordul az is, hogy az egyes termikus klímaparaméterekkel kapcsolatos véleményükre egyenként kérdeznek rá. A szubjektív hőérzet számszerűsítése a legtöbb esetben speciális (5, 7 vagy 9 fokozatú) szemantikus differenciálskála segítségével történik, amelyen a megkérdezettek kiválaszthatják a pillanatnyi hőérzetüknek leginkább megfelelő kategóriát. A meteorológiai alapadatok önálló vizsgálatánál azonban bizonyos kérdőívek különbséget tesznek a között, hogy az érintettek milyennek érzik az egyes paramétereket (percepció), illetve, a komfortos állapot elérése érdekében az adott paraméter milyen (irányú) változásának örülnének (preferencia) (*Stathopoulos et al.* 2004, *Oliveira és Andrade* 2007, *Lin* 2009, *Kántor et al*. 2012a, 2012b).

Egy-egy tanulmány az előbbiek mellett kitér még például az egyének hangulatára (pl. szomorúság, vidámság), de előfordulnak olyan kérdőívek is, amelyek inkább az alanyok általános közérzetére, illetve egészségi állapotára kíváncsiak. Bizonyos kutatások hangsúlyt fektetnek arra, hogy milyen okból, illetve milyen gyakran látogatják a területeket, vagy például, hogy a látogatók milyen véleménnyel vannak az adott közterület kialakításáról, és ezzel kapcsolatban milyen módosításokat tudnának elképzelni (pl. *Thorsson et al.* 2004, *Nikolopoulou és Lykoudis* 2006, *Oliveira és Andrade* 2007, *Lin* 2009, *Kántor et al.* 2012a, 2012b).

A humán tényező részletesebb vizsgálatával foglalkozó tanulmányok megállapították, hogy a termikus környezet szubjektív értékelésében helytelen csupán a fizikai és fiziológiai tényezőket figyelembe venni, ugyanis legalább ilyen súllyal szerepelnek az ún**. pszichológiai hatótényezők** is. Ez utóbbi esetén olyan meghatározó benyomásokra gondolhatunk, mint például az időjárástól, vagy a terület kialakításától függő korábbi termikus tapasztalatok, a területtel szembeni elvárások, vagy az aktuális termikus viszonyokon való változtatás lehetőségének (vagy éppen annak hiányának) a tudata (*Nikolopoulou és Steemers* 2003, *Thorsson et al.* 2004). (Az említett pszichológiai hatótényezők esetén azonban érdemes hangsúlyozni, hogy jellegükből adódóan ezek nem közvetlenül felmért paraméterek, hanem a mért szubjektív és objektív adatokból következtethető információk.)

A látogatókra jellemző személyes tényezőket és reakciókat tartalmazó, megfelelő méretű (elemszámú) és minőségű szubjektív adatbázis révén lehetőség nyílik arra, hogy a humán-bioklimatológiai indexek hőérzeti vagy komfortérzeti kategóriahatárait a helyi igények és elvárások szerint korrigáljuk (pl. *Lin és Matzarakis* 2008, *Kántor et al*. 2012a). Az újraskálázott indexek ezután felhasználhatók a pusztán környezeti monitoringon alapuló városi humán-bioklimatológiai vizsgálatokban (pl. egyes városi közterületek termikus komfortviszonyainak jellemzésében), alkalmazhatók például az adott város vagy régió (hosszútávú klimatikus adatsorán alapuló) turizmusklimatológiai jellemzésében (*Kovács és Unger* 2014), és e mellett nagy segítséget nyújthatnak a helyi lakosság szempontjából komfortosnak értékelt városi környezetek megtervezésében és megteremtésében is.

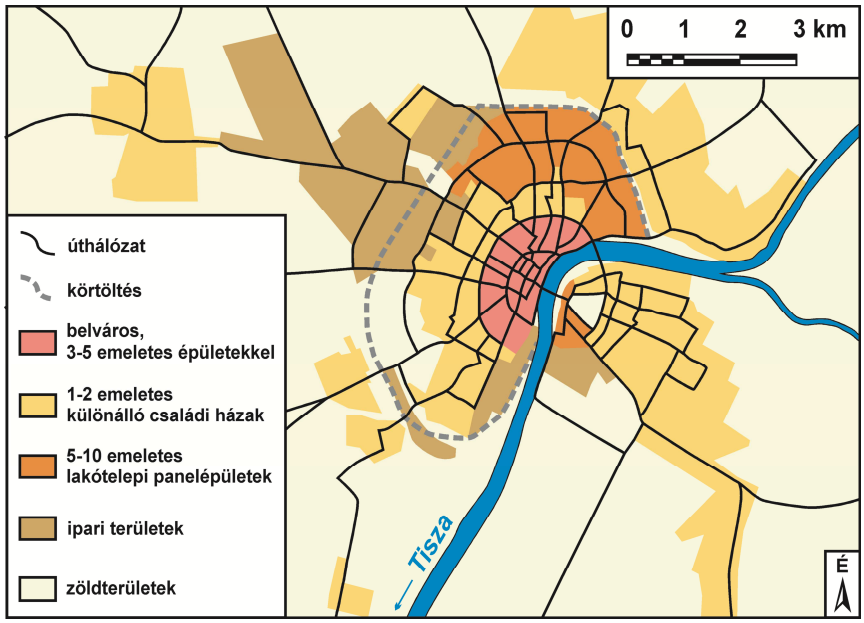
3. A SZEGEDI HUMÁN-BIOKLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATSOROZAT

A 2008 tavaszán a SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszékének városklíma munkacsoportja által elindított városi humán-bioklimatológiai projekt keretében hét frekventált szegedi közterület részletes felmérését végeztük el. Az öt éven át tartó vizsgálatsorozat során arra kerestük a választ, hogy milyen (elsősorban termikus) stresszhatások érik a közterületeken időző városlakókat, továbbá milyen (többek között termikus) körülmények motiválják leginkább őket a szabadban való tartózkodásra, és mindezt miként befolyásolja például a terület kialakítása, felszínborítása vagy annak árnyékoltsága. A vizsgálatsorozat módszertanilag két jól elkülönülő részre (I. és II. mérési időszakra) volt osztható. Mivel a disszertációmban bemutatandó kutatási eredményeim a II. mérési időszakból származó adatbázison alapulnak, így ebben a fejezetben csak az ehhez szorosan kapcsolódó vizsgálati módszereket ismertetem.

3.1 A MÉRÉSSOROZAT HELYSZÍNEI

3.1.1. Szeged földrajzi fekvése, városszerkezetének és éghajlatának rövid ismertetése

Szeged az Alsó-Tisza-vidéken, Magyarország délkeleti részén, a Tisza és a Maros folyó találkozásánál helyezkedik el (é. sz. 46°, k. h. 20°), tengerszint feletti magassága 75–85 m (3.1.1. ábra). A Dél-Alföld régió jelentős igazgatási, kulturális, gazdasági, oktatási és kereskedelmi központja, egyben legnagyobb városa. Természetföldrajzi tengelye a Tisza folyó, mely kelet-nyugati, majd éles irányváltással észak-déli irányban szeli ketté a várost. A település legnagyobb része a Tisza folyásirány szerinti jobb partján található, a kertváros jellegű Újszeged pedig a bal parton. A város népessége kb. 170 000 fő, közigazgatási területe 281 km^2, ebből azonban a városi, elővárosi területek mindössze 25–30 km^2-t tesznek ki.



3.1.1. ábra Szeged városszerkezete

A város szerkezetére a 19. század végi újjáépítések óta a sajátos körutas-sugárutas felépítés jellemző, amit a várost körülölelő árvízvédelmi körtöltés egészít ki. A 20. század második felétől a peremterületeken induló lakótelepi panelépítkezések következtében a városszerkezet jelentősen módosult, és ezt követően a város területén az alábbi főbb beépítettségi típusok (3.1.1. ábra) különíthetők el:

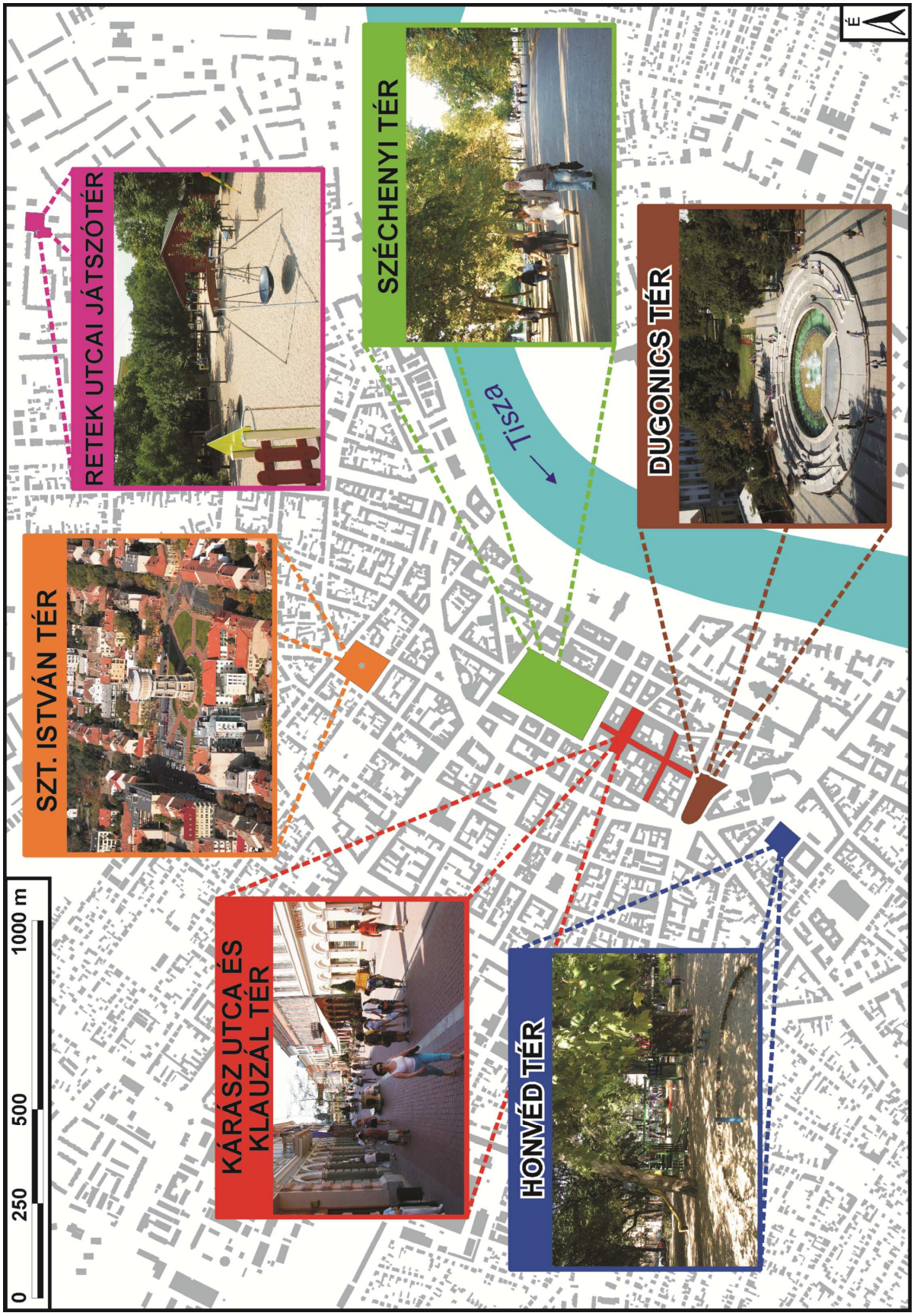
- 3−5 szintes épületekkel viszonylag sűrűn és egységesen beépített **belváros**, melyet elsősorban keskeny utcák és azokat övező magas házfalak jellemeznek. Az utcák mentén gyakoriak a fejlett lombkoronájú, akár 20−30 éves lombhullató fákból álló utcai fasorok.
- C**saládi házas övezet**, ahol 1–2 emeletes, kis alapterületű különálló házak helyezkednek el, közöttük kerti növényekkel és elszórtan fákkal ültetett kiterjedt, nyílt területekkel.
- Uniformizált panelépületekből álló, 5–10 emelet magas **lakótelepi házak**, melyek között (elsősorban azok ritka elhelyezkedése miatt) nagy kiterjedésű nyílt zöldterületek találhatók.
- Nagy alapterületű és kis magasságú csarnokokkal jellemzett **ipari és raktárházas övezet**. A felszín a város ezen részén szinte kizárólag mesterséges burkolatú.
- Városi és a várost övező **zöldterületek**: városi parkok, a Tisza partján elhelyezkedő galériaerdők. Épületek és mesterséges felszínburkolatok csak igen kis százalékban fordulnak elő ezeken a területeken.

Szeged a Köppen-féle éghajlatosztályozás alapján (mely elsősorban a csapadék és a hőmérséklet éven belüli változását és összegét veszi alapul) a C*f* éghajlati osztályba sorolható, vagyis meleg-mérsékelt éghajlat és egyenletes csapadékeloszlás jellemzi. A Trewartha-féle kategorizálás jobban hangsúlyozza a növényföldrajzi adottságokat, a minőségi eltéréseket. Ebben a rendszerben Szeged a D.1. osztályban foglal helyet: kontinentális éghajlat hosszabb meleg évszakkal (*Péczely* 1979). Az ariditási viszonyok és az energiaellátottság térbeli eltéréseire fókuszáló részletesebb országos beosztás alapján Szeged és bővebb környezete a meleg-száraz klímaterületekhez tartozik, ahol a nyár meleg és aszályra hajlamos, a napfénytartam bőséges, a páratartalom és a felhőzet viszonylag kicsi, és télen csekély a hócsapadék (*Unger és Sümeghy* 2002).

Szeged átlagos évi középhőmérséklete az 1971–2000 normálidőszak alapján 10,5 °C körül alakul (a középhőmérséklet a vegetációs időszakban 18–19 °C, júliusban 21,8 °C, januárban pedig –1 °C körül ingadozik). Az átlagos szélsebesség 3,4 ms^{-1}, az uralkodó szélirány észak-északnyugati. A csapadék mennyisége 490 mm, az átlagos relatív nedvesség kb. 71%, a vízgőznyomás pedig kb. 9,8 hPa. A napsütéses órák száma 2000 feletti, az évi átlagos globálsugárzás 4400 MJm^{-2} (*OMSZ* 2008).

3.1.2. A vizsgált mintaterületek bemutatása

A II. mérési időszakban (2011 márciusától 2012 októberéig) összesen hat, többnyire Szeged belvárosában található mintaterületen végeztünk mikrometeorológiai méréseket, illetve a területek igénybevételével kapcsolatos felvételezéseket (3.1.2. ábra). A vizsgálati helyszínek kiválasztásánál az volt az elsődleges szempont, hogy a közterületek kellően frekventált helyen legyenek, ahol nap mint nap nagy tömegek fordulnak meg. Így a mikro-bioklimatikus viszonyokra adott humán reakciók könnyebben és mélyrehatóbban tanulmányozhatók. A részletes vizsgálatainkra így a következő szegedi közterületeket találtuk alkalmasnak: a Honvéd teret, a Dugonics teret, a Kárász utca és a Klauzál tér együttesét, a Széchenyi teret, a Szt. István teret, valamint a Retek utcai játszóteret (3.1.2. ábra).



3.1.2. ábra A vizsgált szegedi mintaterületek elhelyezkedése

Az elsősorban játszótérként funkcionáló **Honvéd tér** (kb. 6000 m^2) jellemző felszínborítása világos színű aprókavics, illetve kisebb szigetekben kikopott, gyér fű (1.1. melléklet). Jelentős számban fordulnak elő a téren idős, 10−20 m magas, s nagy lombkoronával rendelkező fák (pl. kis- és nagylevelű hárs, vadgesztenye), melyek csaknem az egész területen árnyékos, félárnyékos körülményeket biztosítanak. A tér funkciójából adódóan elsődleges látogatókörét a gyermekek, illetve az őket kísérő szülők, nagyszülők adják, de a fiatalabb korosztályoktól kezdve egészen az idősekig szívesen időznek a területen. A téren összesen 21 pad közül választhatnak a látogatók.

Az elnyúlt alapterületű **Dugonics tér** (kb. 7500 m^2) a kialakítását és területhasználatát tekintve két jelentősen eltérő részterületre osztható (1.2. melléklet). A tér délkeleti oldalán kör alakú szökőkút található, melyet elsősorban ülőhelyként funkcionáló beton körgyűrűk öveznek. A szökőkút körüli térrész kavicsbeton járólapokkal fedett, s árnyékot adó vegetáció csak elvétve fordul elő rajta. A parkosított, füvesített északnyugati részre (kb. 5−10 m magas) lomhullató fákat (pl. kis- és nagylevelű hárs) és bokorcsoportokat ültettek. A teret 2012−2013 között felújították, vizsgálatainkat azonban még a terület korábbi állapotában végeztük.

A Dugonics térről északkeleti irányban tovább haladva helyezkedik el Szeged közkedvelt sétálóutcája, a **Kárász utca**, illetve a szervesen hozzá tartozó, rá közel merőlegesen kialakított Kölcsey utca és Klauzál tér (kb. 11 000 m^2, 1.3. melléklet). A 2−3 szintes épületekkel körülzárt sétálóutca két oldalán boltok, terasszal ellátott kávézók és cukrászdák találhatók, melyek egyaránt vonzzák a helyi lakosokat és a turistákat. A Kárász utca és a Kölcsey utca mentén végig padokat helyeztek el, ahol kellemes időben szintén szívesen időznek a területre érkezők. A felszín legnagyobb része vörös színű térkővel borított, ettől csak a Klauzál tér két oldalán lévő szoborcsoportok fehér márvány talapzata tér el. Az állandó jelleggel elhelyezett virágládákba ültetett néhány kisméretű tuján vagy dísznövényen kívül vegetáció nem található a területen, így árnyékviszonyait egyértelműen az épületek határozzák meg. Ez utóbbi a napsütéses időszakokban élesen elkülönülő árnyékos és napfényes területrészeket eredményez, melyek határa természetesen a mindenkori napjárás szerint alakul.

Szeged legnagyobb és egyik leggyakrabban látogatott parkosított tere, a **Széchenyi tér** (kb. 40 000 m^2, 1.4. melléklet), a Kárász utca északkeleti folytatásában terül el. A könnyen megközelíthető, belvárosi elhelyezkedéséből adódóan jelentős gyalogos forgalmat bonyolít le, de számos ülőhellyel (kb. 80−90 pad) is szolgál a pihenni vágyó látogatók számára. Nagy kiterjedésének köszönhetően gyakran ad helyet városi fesztiváloknak, rendezvényeknek, találkozóknak. A tér közepén széles aszfaltozott gyalogút vezet végig, amelyből keresztirányban kisebb kivezető utak ágaznak szét. A járdák és a térkővel borított ösvények között gondozott gyepterületek, virágágyásokkal és fákkal körbeültetett kisebb parkrészek találhatók. A területet sűrűn ültetett, több tíz éves, 10−20 m magas lombhullató fákból (pl. juharlevelű platán, kislevelű hárs) álló fás vegetáció jellemez, mely nemcsak megfelelő árnyékolást ad a területnek, hanem a belváros egészét tekintve kedvezőbb mikroklímát is biztosít.

A hajdan bolhapiacnak helyet adó **Szt. István tér** (kb. 10000 m^2, 1.5. melléklet) a 2005−2006 közötti felújítását követően a város egyik turisztikai látványosságává vált. A tér közepén egy kb. 35 m magas víztorony magasodik, amely eredeti funkciója mellett kilátóként, kulturális rendezvények, kiállítások helyszíneként is működik. A toronytól sugárirányban vörös térkővel borított gyalogutak vezetnek, amelyek gondozott, füves térrészeket zárnak közre. A területen nagyobb árnyékot adó vegetáció nem található, csupán néhány fiatal, 2−3 m magas és laza lombozatú fa (pl. ginkgo biloba és más kisméretű parkfa) helyezkedik el rajta. Eb-

ből adódóan a víztorony körül, illetve a gyepes felszínek mentén elhelyezkedő padok szinte folyamatosan napon vannak, és azokra csak a teret körbekerítő 3−5 szintes belvárosi épületek árnyéka vetül közvetlenül napfelkelte után, valamint naplemente előtt.

A vizsgált területeink sorát a **Retek utcai játszótér** (3300 m^2, 3.3.2. ábra) zárja, mely a többi mintaterülettől távolabb, a panelházas lakótelepi övezetben helyezkedik el. A Máltai Szeretetszolgálat által üzemeltetett és gondozott játszótér modern, jól felszerelt, területe kerítéssel körbezárt. Legnagyobb része világos aprókavicsos felszínborítású, ettől csak a (tér keleti részében elhelyezett) játszóház környéke tér el, ahol kavicsbeton járólapokkal burkolt elnyúlt térrész helyezkedik el. A téren számos játszóeszköz kapott helyet: több hintasor, homokozók, mászókák, csúszdák várják a gyermekeket, és emellett összesen 20 pad szolgál ülőhelyül a látogatók számára. A játszótéren nagyobb lombkoronával rendelkező növényzet csupán a déli és a nyugati részeken található, ebből kifolyólag a játszótéri eszközök egy részét csaknem egész nap érik a direkt napsugarak.

3.2. ADATGYŰJTÉS – HELYSZÍNI MÉRÉSEK ÉS MODELLEZÉSEK

A hosszú távú szegedi humán-bioklimatológiai projekt a mintaterületek részletes és sokoldalú vizsgálatára helyezte a hangsúlyt. A dolgozatomban nem részletezett kezdeti mérések (I. mérési időszak) idején kipróbált és hatékonynak bizonyult módszerekből a II. felmérési időszak kezdetére (2011 tavasza) felállítottunk egy olyan letisztult − részben adatgyűjtésre, részben pedig azok kiértékelésére vonatkozó – módszercsomagot, mely a későbbiekben akár más városokba is könnyedén adaptálható. Ennek a metodológiának a mentén haladva olyan eredmények születtek és születhetnek a jövőben, melyek relevánsak a városlakók életminősége és mindennapi közterület-használata szempontjából, könnyen értelmezhetők más tudományterületek képviselői számára is, és egyben integrálhatók a várostervezés és városi területrendezés folyamataiba. Ezáltal jelentősen hozzájárulnak a komfort- és környezetbarát várostervezéshez.

Az adatgyűjtés első nagy csoportját a közterületeken zajló helyszíni mérések képezték, mely a látogatottság és a látogatók **megfigyelését**, **kérdőíves felmérést** (humán monitoring), valamint a terek termikus viszonyait meghatározó **mikrometeorológiai adatok helyszíni rögzítését** (környezeti monitoring) tartalmazta. 2011 nyarától a kutatásaink objektív oldalát (környezeti monitoring) egy újabb irányvonallal, a mintaterületeken kifejlődő **mikrobioklimatológiai jellemzők szimulációjával** egészítettem ki, amit a RayMan és ENVI-met modellek segítségével végeztem el. Ez olyan eredményekkel egészítette ki vizsgálatainkat, melyek közvetlenül hasznosíthatók a várostervezés gyakorlatában.

A közterületek látogatottságára és a termikus jellemzők feltárására vonatkozó adatgyűjtést minden mintaterület esetében a mesterséges és természetes tereptárgyak pontos helyének, méreteinek, illetve típusának felmérése előzte meg. Ezek az adatok egyrészt alapul szolgáltak a mintaterületek térképeinek elkészítéséhez, melyek a helyszíni megfigyelések nélkülözhetetlen eszközei voltak. Másrészt a későbbi szimulációs eljárásoknál fontos szerepet játszottak a modellterületek felépítésében.

A mintaterületek környezetében található épületek pontos földrajzi helyét, eresz- és tetőmagasságát, valamint a növényzet- és a felszínborítási típusok határainak koordinátáit SOKKIA geodéziai mérőállomással mértük fel. A fás vegetáció, illetve a nagyobb bokorcsoportok fa- és törzsmagasságát Vertex III ultrahangos famagasságmérővel rögzítettük. Emellett

a fák törzsének kerülete, lombkoronájuk sugara, valamint típusa (örökzöld vagy lombhullató) is feljegyzésre került.

A terepi felmérési adatok megjelenítése és a térképek szerkesztése az ESRI ArcView GIS 3.3 szoftverrel történt. Az elsőként megjelenő ponthalmazból (mely a tereptárgyak vagy azok részleteinek koordinátáit jelölte) a megfelelő azonosító kóddal ellátott pontokra poligonokat illesztve kaptam meg a felszínborítási típusok határát és az épületek felülnézeti rajzait. A fák törzsének helyét a kimaradó pontmarkerek mutatták. A tereptárgyak további tulajdonságai (így többek között a magasság, típus stb.) a poligonokhoz és pontokhoz tartozó attribútum táblákba kerültek. A térképek végleges formájukat a CorelDRAW grafikai szoftver segítségével nyerték el.

A mintaterületi térképek elkészítése után kezdhettük el a korábban említett három fő elemből (megfigyelés, kérdőíves felmérés, mikrometeorológiai adatrögzítés) álló helyszíni felméréseket. Felvételezéseink a tél kivételével (mivel ekkor szinte senki nem tartózkodik a közterületeken) valamennyi évszakot lefedték, s 5–7 hetes mérési periódusokban zajlottak. Az adatgyűjtésnél arra törekedtünk, hogy az egyes mintaterületekről lehetőleg mind a három évszakból származzanak mérési adatok.

A helyszíni mérések napi 8 órán át tartottak, ami azt jelentette, hogy minden mérési napon helyi idő szerint 10:00 és 18:00 óra között tartózkodtunk a vizsgált területeken. A több héten át tartó felmérési periódusok során az adatrögzítéseket rendszerint minden héten két alkalommal végeztük. A mérések során a látogatók észrevétlen megfigyelése és a kérdőíves felmérések a mikrometeorológiai adatok helyszíni rögzítésével párhuzamosan zajlottak (3.1.1. táblázat). A mikrometeorológiai paraméterek gyűjtését a kifejezetten erre a célra tervezett két mobil városklíma állomás (VK1 és VK2) tette lehetővé.

A 3.1.2 fejezetben bemutatott közterületek részletes mikro-bioklimatológiai vizsgálatára a következő bontásban került sor. 2011 tavaszán két, viszonylag eltérő adottságú területet vizsgáltunk párhuzamosan: a parkosított Széchenyi teret és a többnyire mesterséges anyagokkal burkolt Dugonics teret (12 mérési nap). 2011 tavasza után azonban a mobil állomásokat mindig egyazon tér két eltérő árnyékolású (vagy ha ez nem volt kivitelezhető, eltérő felszínborítású) részére állítottuk. 2011 nyarán területenként 2-2 napot mértünk végig, s összességében négy mintaterületen felvételeztünk: a Honvéd téren, a Retek utcai játszótéren, a Kárász utca-Klauzál tér együttesen, valamint a Szt. István téren. 2011 őszén és 2012 tavaszán a Retek utcai játszótér és a Kárász utca−Klauzál tér felmérése zajlott, ősszel összesen 11 (6 nap Retek, 5 nap Kárász), tavasszal pedig 10 (5 nap Retek és 5 nap Kárász) mérési napon. 2012 nyarán újból 4 közterületen − a két játszótér (Honvéd tér, Retek utca) mellett a Kárász utcán és a Széchenyi téren – mértünk, terenként 4-4 mérési napon. A helyszíni mérések zárásaként 2012 őszén a Széchenyi téren és a Szt. István téren (6 és 7 nap) végeztünk méréseket (3.1.1. táblázat).

3.2.1. A mintaterületre érkezők megfigyelése

A mintaterületek látogatóinak észrevétlen megfigyelése a köztereken hosszabban tartózkodó (minimum 5 perc) személyek számának pillanatnyi felmérését és területhasználatuk térképi jelölését foglalta magában. A megfigyeléses módszer elsődleges előnye az volt az interjúkészítéssel szemben, hogy nem befolyásolta közvetlenül a megfigyelt alanyokat, így azok viselkedését jórészt a környezeti viszonyok irányították.

3.1.1. táblázat A humán-bioklimatológiai projekt II. mérési időszakának adatgyűjtési módszerei

II. mérési időszak	10:00 - 18:00			
	vizsgált területek	helyszíni mérések és kérdőíves felmérések napjai	megfigyelés	mikrometeorológiai mérés
2011. tavasz	SZÉCHENYI TÉR DUGONICS TÉR	12-12 nap, párhuzamosan	pillanatnyi látogatottság: minden 30. percben alterületenként, a napfénynek való kitettség szerint (táblázat, térkép)	VK1 és VK2 mobil városklíma állomások párhuzamosan a két téren
2011. nyár	HONVÉD TÉR RETEK U. JT. KÁRÁSZ UTCA SZT. ISTVÁN TÉR	2-2 nap / terület		VK1 és VK2 mobil városklíma állomások ugyanazon tér két eltérő pontján
2011. ősz	RETEK U. JT. KÁRÁSZ UTCA	Retek: 6 nap Kárász: 5 nap		
2012. tavasz	RETEK U. JT. KÁRÁSZ UTCA	Retek: 5 nap Kárász: 5 nap		
2012. nyár	HONVÉD TÉR RETEK U. JT. KÁRÁSZ UTCA SZÉCHENYI TÉR	4-4 nap / terület		
2012. ősz	SZÉCHENYI TÉR SZT. ISTVÁN TÉR	Széchenyi: 6 nap Szt. István: 7 nap		

A **pillanatnyi megfigyelés** a vizsgált mintaterületek összlátogatottságának minden 30. percben (azaz napi 17 alkalommal) történő felmérését jelentette. Kivételt csupán a Kárász utca jelentett, ahol a hatalmas átmenő forgalom miatt a teljes látogatottság helyett csak a padon, illetve a kávézókban ülőket vételeztük fel. A mintaterületek látogatóinak számát előre lehatárolt alterületek (szektorok) szerint, kifejezetten erre a célra tervezett megfigyelési táblázatok segítségével jegyeztük fel. Az egyes szektorokat előzetes terepbejárások alkalmával jelöltük ki, elsősorban az eltérő rendeltetés, felszínborítás, esetleg kiugró igénybevétel alapján. Az egyes alterületeken belül felvételezett látogatókat a *napfénynek való kitettségük* (napon, félárnyékban, árnyékban) szerint is csoportosítottuk, amennyiben az égboltviszonyok lehetővé tették a napos és árnyékos területrészek elkülönítését. A Széchenyi és a Dugonics terek kivételével a látogatók elhelyezkedését térképeken is rögzítettük, ami összesen napi 17 darab *területhasználati térképet* eredményezett.

3.2.2. Kérdőíves felmérés

A termikus viszonyokra adott humán reakciók részletesebb tanulmányozása érdekében a mintaterületeken tartózkodók észrevétlen megfigyelésén túl kérdőíves felmérésekre (interjúkra) is sor került. A látogatókkal folytatott irányított beszélgetések révén a termikus környezet értékelése, és az arra esetleg befolyással bíró szubjektív tényezők felvételezése mellett a látogatók mintaterületekkel kapcsolatos egyéni véleményeire is fény derült. A nagyszámú interjú lefolytatásakor a szegedi humán-bioklimatológiai kutatócsoport munkájába bevont hallgatók és demonstrátorok voltak a segítségünkre. A kérdőívek kitöltése optimális esetben kb. 5 percet vett igénybe.

A szegedi humán-bioklimatológiai projekt korábbi szakaszaihoz képest a kérdőív kissé módosult, illetve kibővült, és végleges formáját 2011 nyarán nyerte el. Tartalma alapján illeszkedik a hasonló nemzetközi tanulmányok (*Spagnolo és de Dear* 2003, *Stathopoulos et al*. 2004, *Knez és Thorsson* 2006, *Lin* 2009) munkáiba, ami hozzájárult a vizsgálataink külföldi eredményekkel való összevetéséhez (*Kántor et al*. 2012a, b). Ugyanakkor a szegedi kérdőívek olyan egyedi kérdéseket is tartalmaztak, amelyek a mintaterületek és látogatóiknak sajátosságait tükrözik.

2011 tavaszán a kérdőív három fő részre tagolódott. A vizsgált helyszín, valamint a kérdőív kitöltésének dátuma és időpontja után elsőként a **személyes jellemzők** (pl. nem, kor, magasság stb.) feljegyzésére került sor. A következő nagyobb egységben a látogatók **területhasználati szokásaival** kapcsolatos kérdések következtek. Itt többek között olyan információkra voltunk kíváncsiak, hogy az interjúalanyok *mennyi időt töltenek* a helyszínen, *milyen gyakran látogatják* azt, illetve hogy *mi volt az oka*, hogy a területre érkeztek. A harmadik, egyben utolsó rész a **termikus környezet értékelésére** helyezte a hangsúlyt (1.6. melléklet).

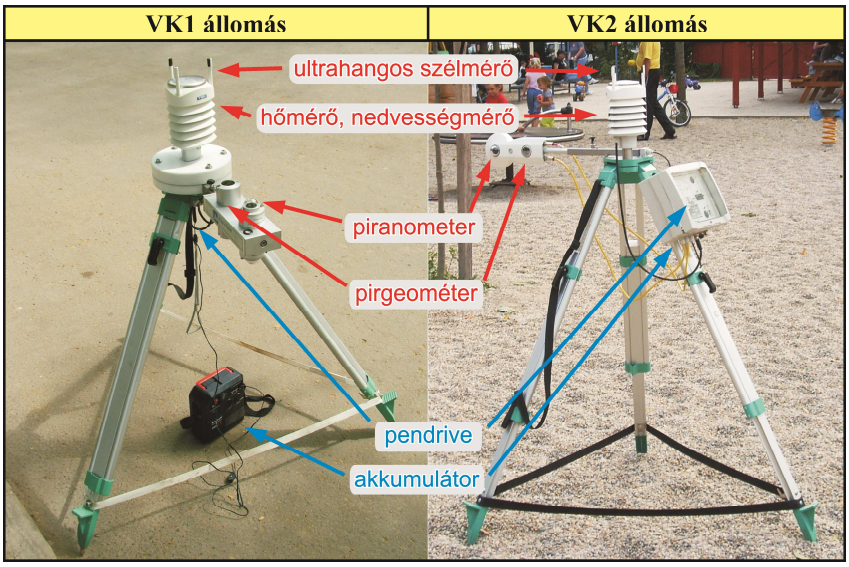
2011 nyarától egy negyedik nagy egységgel, a **mintaterületek részletes szubjektív megítélésével** foglalkozó kérdésblokkal bővítettem a kérdőívet, amit a területrendezéssel és -tervezéssel való szoros gyakorlati kapcsolat révén a kutatásom egyik legfontosabb részének tekintek. A kérdésblokk első elemeként arról kérdeztük az interjúalanyokat, hogy a vizsgált mintaterületet *mennyire találják kellemesnek*. Erre hétfokozatú szemantikus differenciálskála segítségével adhattak választ, melynek végpontjain a két szélsőértékként, az „egyáltalán nem” és a „teljes mértékben” kifejezések szerepeltek. Ezek után arra kértük őket, hogy a mintaterületek lehetséges *pozitívumai/előnyei*, illetve *negatívumai/hiányosságai* közül maximum

hármat-hármat nevezzenek meg. Az interjú végén kaptak helyet az arra irányuló kérdések, hogy a látogatók *változtatnának-e az adott közterület kialakításán*, és ha igen, ezt milyen mértékben tennék meg. A legutolsó (félig nyitott) kérdés esetén pedig választhattak, hogy a néhány előre felsorolt területmódosítási alternatíva közül *milyen változtatásoknak örülnének a legjobban*. Ezek között szerepeltek a vegetáció mennyiségének növelésére, a padok számának vagy elhelyezkedésének módosítására, továbbá a burkolat változtatására vonatkozó válaszlehetőségek is, de az „egyéb" kategóriában az interjúalanyok akár egyéni észrevételeiket, ötleteiket is megoszthatták (1.6. melléklet).

3.2.3. A mikrometeorológiai paraméterek helyszíni mérése

A mikrometeorológiai paraméterek helyszíni mérését a **VK1 és VK2 mobil városklíma állomások** tették lehetővé (3.2.1. ábra). A felvételezések során a mobil állomásokat a lehetőségekhez mérten igyekeztük hétről hétre a közterületek azonos − egy árnyékos (VK1) és egy napos (VK2) – pontjára telepíteni. Ettől csak a Szt. István tér esetében tértünk el, ahol az árnyékolás szinte teljes hiányában, a tér két eltérő felszínborítású (füves és térköves) részére állítottuk fel őket.

Mindkét műszeregyüttes a kutatócsoport egyedi igényei alapján, a városi humánbioklimatológiai vizsgálatok kritériumainak megfelelően készült el. Ennek egyik sarkalatos pontjaként az állomások úgy lettek kialakítva, hogy teljesüljön a mikrometeorológiai adatok kb. **1,1 m** magasságban történő rögzítése. Ezt az állomásokhoz tartozó, állítható magasságú háromlábú állvány biztosította. A könnyen felállítható és mozgatható alumínium állványoknak köszönhetően az állomások szinte pillanatok alatt áthelyezhetők voltak a mintaterületeken. A mért adatok a műszerekhez közvetlenül csatlakoztatható adathordozóra (pendrive) kerültek, ahonnan 1-2 perc alatt letölthetőek voltak a feldolgozást végző számítógépekre. A műszereket alacsony energiafogyasztású akkumulátorok látták el energiával, melyek egyszeri feltöltés után akár 2-3 mérési napon át is működőképesek voltak.



3.2.1. ábra A VK1 és VK2 mobil városklíma állomások, és azok legfontosabb egységei

A VK1 és VK2 állomások 2-2 műszeregységből tevődnek össze. A felső részen található Vaisala WXT 520 típusú mérőműszer a komfortkutatások szempontjából fontos **léghőmérséklet** [°C], **relatív nedvesség** [%] és **szélsebesség** [ms^{-1}] mellett a szélirány, a légnyomás és

a csapadék **perces átlagértékeit** is rögzíti. A tér hat fő irányából érkező **rövid- és hosszúhullámú sugárzási fluxusok** [**Wm^{-2}**] méréséért a Kipp & Zonen gyártmányú sugárzásmérő egység a felelős. Az egymásnak háttal elhelyezkedő, 2−2 pirgeo- és piranométerből álló egységet a hozzá csatlakozó forgatható kar segítségével 3 percenként mozgattuk, a fent-lent, kelet-nyugat és észak-dél mérési iránypároknak megfelelően. Ennek a későbbiekben, a T_{mrt}, illetve a bioklimatikus indexek kiszámításánál volt szerepe (az ehhez kapcsolódó módszert lásd 2.4.1. fejezet).

3.2.4. A mikro-bioklimatológiai viszonyok modellezése egy kiválasztott mintaterületen

A helyszíni felmérésekben való részvétel mellett kutatásaim során elsősorban arra fókuszáltam, hogy lehetőséget találjak arra, miként ültethetők át a várostervezés gyakorlatába a mérési eredményeink. Továbbá arra kerestem a választ, hogy a humán-bioklimatológiai vizsgálatokat hogyan és milyen pontossággal lehetne elvégezni olyan városokban is, ahol nem áll rendelkezésre a mikrometeorológiai paraméterek értékeit rögzítő mobil műszerpark, vagy a helyszíni mérésekhez szükséges humán erőforrás. Így jutottam el a mikro-klimatológiai szimulációkhoz mint egy újabb adatgyűjtési (illetve adatgenerálási) lehetőséghez, ami az előbb említett problémákat együttesen oldotta fel.

A modellek segítségével ugyanis nem csak egy-egy mérési pont termikus viszonyait jellemezhetjük, hanem a városi környezet teljes területéről is szolgáltathatunk (bio)klimatológiai információkat, s mindezeket a várostervezők számára könnyedén értelmezhető mikroklíma- és hőstressztérképek formájában tehetjük meg. Emellett a szimulációk nem igényelnek speciális bemeneti adatokat, azok a megfelelő országos adatbázisokból viszonylag könnyen beszerezhetők. Ezáltal olyan városok esetén is lefuttathatók, ahol a (költséges és időigényes) helyszíni mikrometeorológiai mérésekre nincs lehetőség.

A humán-bioklimatológiai kutatások gyakorlati felhasználhatóságát szem előtt tartva 2011 nyarától **mikroskálájú klíma- és hőstressztérképeket** készítettem bizonyos mintaterületeinkről (*Égerházi et al.* 2012a, *Égerházi és Gál* 2012, *Égerházi et al.* 2013a, 2013c) a **RayMan (2.0)** és **ENVI-met 3.1** modellek segítségével. A térképek a vizsgált területeken jellemző **mikroklimatikus alapparaméterek** (T_a, RH, v, T_{mrt}), valamint a belőlük származtatott **PET-értékek** térbeli és időbeli mintázatát szemléltették. Dolgozatom terjedelmi korlátai miatt az általam használt szoftverekhez szükséges háttéradatokat, a szimulációk részfolyamatait, illetve a velük kapcsolatos tapasztalataimat (a következő, 3.3 fejezetben) a **Retek utcai játszótér** példáján keresztül mutatom be.

Választásom több okból esett erre a mintaterületre. Egyrészt azért, mert a viszonylag kis terület változatos felszínmorfológiai adottságokkal jellemezhető: különböző méretű és típusú fás vegetáció, épületek, valamint többféle felszínborítási típus is megtalálható rajta, így azok termikus viszonyokra gyakorolt együttes hatásai jól tanulmányozhatók. Másrészt, játszótér lévén a mintaterületen nagy arányban időznek gyermekek, illetve az őket kísérő nagyszülők, vagyis azoknak a korcsoportoknak a képviselői, akik a termikus stresszhelyzetekre kifejezetten érzékenyek. Harmadrészt, körbekerítettsége, illetve Szeged belvárosán kívül eső elhelyezkedése következtében a Retek utcai játszótér (szemben a többi mintaterülettel) nem rendelkezik átmenő gyalogos forgalommal, vagyis a látogatók szinte kizárólag a terület játszótér funkciója miatt vannak jelen, akik minden tekintetben jól ismerik a mintaterületet. Ez utóbbi különösen fontos volt a modellezéssel nyert hőstressztérképek, illetve a humán monitoring során

felmért személyek szubjektív reakcióinak összevetése esetén. A területet jól ismerő, s az ott kifejlődő mikro-bioklimatikus viszonyoknak gyakran és hosszasan kitett személyek (területtel és termikus környezettel kapcsolatos) szubjektív reakciói ugyanis sokkal markánsabban jelentkezhetnek, mint egy olyan mintaterület esetén, ahol a megfigyelt vagy megkérdezett személyek jó része csupán rövid ideig tartózkodik a területen.

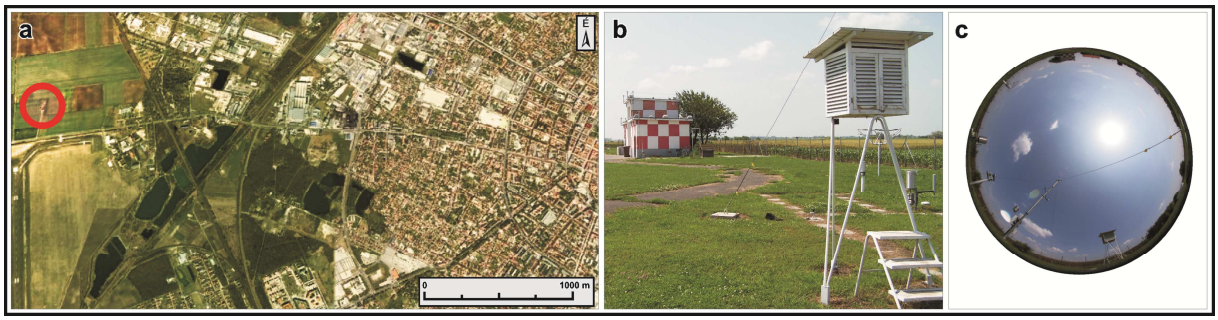
A szimulációs napok megválasztásánál a következő szempontokat vettem figyelembe. A modellfuttatási napokat úgy választottam ki, hogy a későbbiekben lehetőségem adódjon a **helyszíni felmérések és a modellezett eredmények összevetésére** (*Égerházi et al.* 2012b, 2013b). Ezáltal lehetőségem nyílik becslést adni a szimulációs eljárások hibájára vonatkozólag, vagyis hogy a pusztán számítógépes szoftvereken alapuló humán-bioklimatológiai vizsgálatok eredményeit milyen mértékben tekinthetjük megbízhatónak olyan esetekben, amikor nem áll rendelkezésre a mikrometeorológiai paraméterek értékeit rögzítő mobil műszeregyüttes (*Égerházi et al*. 2014). Emellett, elsősorban **felhőmentes és szélcsendes napokat** választottam, hogy a mintaterületeken kialakuló termikus különbségek minél markánsabbak és így jobban megfigyelhetők legyenek. Emellett arra törekedtem, hogy a mikroklimatikus viszonyok, valamint a PET-értékek napi és területi mintázatában fellelhető **évszakos eltéréseket** is bemutathassam. Disszertációmban éppen ezért három – egy nyári (**2011.07.12.**), egy őszi (**2011.10.03.**) és egy tavaszi (**2012.03.26.**) – nap modelleredményein keresztül szemléltetem a Retek utcai játszótéren kialakuló termikus viszonyok idő- és térbeli jellegzetességeit.

Mindenekelőtt azonban a következő, 3.3. fejezetben a modellezés során alkalmazott alapbeállítások ismertetése, illetve a szimulációk pontos menete kerül részletes kifejtésre.

3.3. A MIKROKLÍMA-MODELLEZÉS FOLYAMATÁNAK RÉSZLETEI

3.3.1. A szimulációk meteorológiai háttéradatai

Mindkét szimulációs szoftver (az ENVI-met és a RayMan) esetében a szükséges meteorológiai alapadatok a Szeged külterületén található Bajai úti meteorológiai állomás (3.3.1. ábra) adatsorából származtak. Az Országos Meteorológiai Szolgálat által üzemeltetett állomást (a továbbiakban **OMSZ állomás**) a WMO szabványai szerint telepítették. A kutatásaim szempontjából fontos műszerek pontosságát és mérési magasságát a 3.3.1. táblázat foglalja össze. Az állomás környezete városi hatásoktól mentesnek tekinthető: a vegetációs időszakban alacsony mezőgazdasági növényzettel borított, így az égbolt láthatósága szinte zavartalan (SVF = 1) (3.3.1. ábra).



3.3.1. ábra (a) Az OMSZ szegedi mérőállomásának földrajzi elhelyezkedése (pirossal jelölve), (b) a helyszínen készült fénykép és (c) halszemoptikás felvétel

Megjegyzendő, hogy kutatásomhoz egyrészt azért nem a korábban említett belvárosi OMSZ állomás adatsorát használtam, mert ilyen, sűrűn beépített, belvárosi területen elhelyezkedő állomás Szeged kivételével csak a fővárosban és Pécsen található. Ez pedig korlátozná módszereim más városokra történő adaptálását. Másrészt az egyes városi mintaterületek mikroklíma-módosító hatását nem szerencsés a belvárosi állomások adataihoz viszonyítva vizsgálni, mivel azt eleve meghatározza annak városi környezete. Ezért célravezetőbb egy eleve városi hatásoktól mentes környezethez viszonyítani, és ezáltal az egyes városi terekre kapott eredmények is jobban összevethetők és értékelhetők.

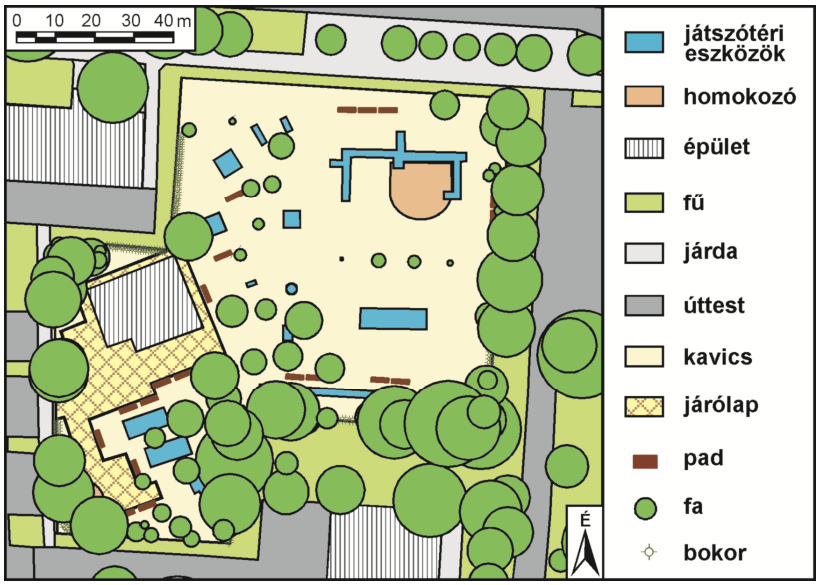
Az OMSZ állomás **10 perces** átlagadatait tartalmazó adatbázisából a modellezett napokra vonatkozó **léghőmérséklet** [°C], **légnedvesség** [%], **szélsebesség** [ms^{-1}], **szélirány** [°], valamint **globálsugárzás** [Wm^{-2}] értékekeit töltöttem le a szimulációkhoz.

3.3.1. táblázat A szegedi OMSZ állomás legfontosabb szenzorai, azok pontossága, és mérési magassága

PARAMÉTER	SZENZOR	PONTOSSÁG	MAGASSÁG
léghőmérséklet [°C]	**Vaisala HMP 45D** hőmérő és légnedvességmérő	+/- 0,3 °C	2 m
relatív nedvesség [%]		+/- 2%	
szélsebesség [ms^{-1}]	**Vaisala WAA 15A** kanalas szélmérő	+/- 2%	10 m
globálsugárzás [Wm^{-2}]	**Kipp & Zonen CM 11** piranométer	+/- 1-3%	1,3 m

3.3.2. A tereptárgyak és a felszínborítás adatbázisa

A Retek utcai játszótér háromdimenziós modellterületét tartalmazó **Area Input file** (ENVI-met) és az **Obstacle file** (RayMan) elkészítéséhez a tereptárgyak (vegetáció és épületek) koordinátáira, magasságára és oldalirányú kiterjedésére, valamint az ENVI-met esetében a felszínborítási típusokra és azok határvonalaira is szükségem volt (3.3.2. ábra). Ezek a paraméterek a korábban már részletezésre került mintaterületi feltérképezések adatbázisából származtak.



3.3.2. ábra A Retek utcai játszótér tereptárgyainak és felszínborítási típusainak elhelyezkedése

3.3.3. Az ENVI-met modellfuttatáshoz szükséges előkészületek

Az ENVI-met bemeneti meteorológiai adatként minden egyes paraméter esetében csak egyetlen számadatot igényel. Ezekből a kezdőértékekből kiindulva a dátum, a földrajzi helyzet és a háromdimenziós felszíngeometriai adatbázis alapján egy legvalószínűbb mikroklimatikus helyzetet szimulál a modell, figyelembe véve a paraméterek interakcióját, valamint a teljes vizsgálati napra vonatkozó időbeli alakulásukat. A léghőmérséklet [K] és a légnedvesség [%] esetében ezek a kezdőértékek – az előírtaknak megfelelően – a modellezett napok helyi idő szerinti 00:00:00 óráira vonatkoztak. A szélsebességnél [ms^{-1}] és a szélirány-nál [°] azonban jobban szerettem volna közelíteni a nappali órákra jellemző tendenciákhoz. Így az előbbinél a játszótér nyitva tartási – és egyben modellezési – idejére (9:00–18:00) vonatkozó átlagértéket, míg az utóbbinál ugyanerre az időtartamra vonatkozó leggyakrabban előforduló szélirányt alkalmaztam bemeneti adatként. A specifikus nedvesség megfelelő napi értékeit a *Wyoming Weather Web* (2013) internetes adatbázisból töltöttem le. A három kiválasztott napra vonatkozó legfontosabb input meteorológiai adatokat a 3.3.2. táblázat tartalmazza.

3.3.2. táblázat Az ENVI-met szimuláció során felhasznált bemenetei klímaparaméterek

PARAMÉTER	2011.07.12.	2011.10.03.	2012.03.26.
léghőmérséklet [°C]	21	12	10
relatív nedvesség [%]	75	70	41
specifikus nedvesség [gkg^{-1}]	4	2	2
szélsebesség [ms^{-1}]	3,3	1,3	5,5
szélirány [°]	10	60	20

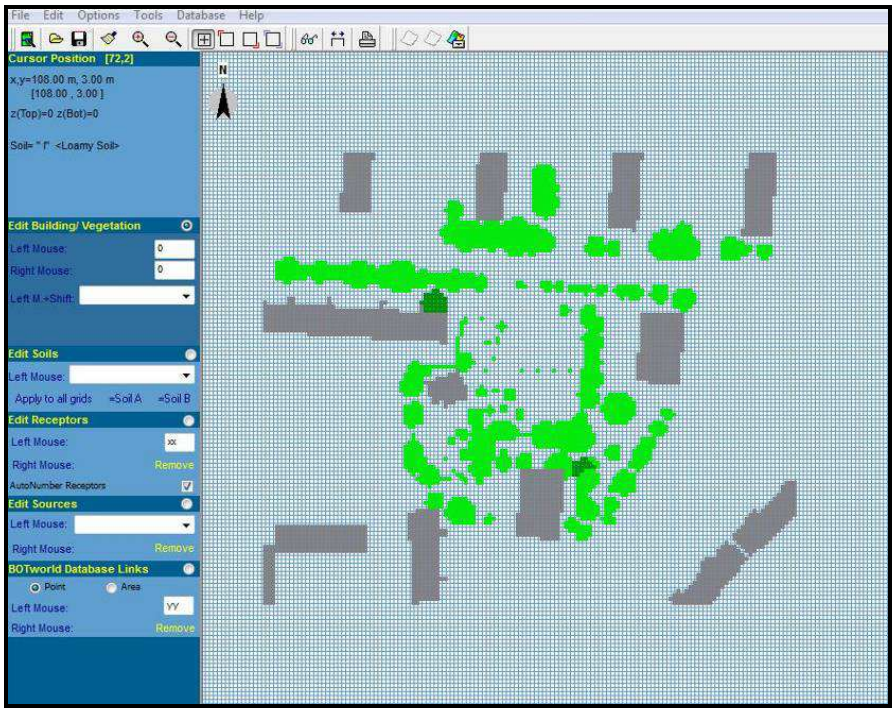
A terület összetettsége miatt a terepadatokat, illetve a különböző felszínborítási típusokat nem manuálisan tápláltam be a modellbe, hanem azokat az *ESRI ArcView GIS 3.3* szoftver segítségével készítettem elő. Az ArcView-ban létrehozott mintaterületi térképet ASCII raszter formátumba konvertáltam, ami így könnyen megnyithatóvá vált az ENVI-met munkafelületén (3.3.3. ábra).

A mintaterület horizontális (dx, dy) felbontásának 1,5 m-t, míg vertikális (dz) felbontásának, egyenközű rétegekkel 3 m-t választottam. Ez utóbbi azért volt fontos, mert így a felszínhez legközelebb álló, 5 egyenlő részre osztott cella első rétege 0,6 m (3 m/5 = 0,6 m), második rétege pedig 1,2 m magasságba került. Ebből következően az innen kinyert kimeneti adatok megközelítőleg az emberi test súlypontjának magasságára vonatkoztak. A futtatás sikeressége érdekében a területmodellt északon, keleten és délen 25, míg nyugaton 15 üres, határmenti cellával (nesting griddel) növeltem meg, ami a felszínmodellt horizontálisan 173 × 163 mezőre bővítette. A modellterület vertikális kiterjedésének 25 cellát adtam meg.

Mindhárom nap esetében a szimuláció kezdő időpontját a modell belső órája szerinti 00:00:00 órára, míg teljes időtartamát 43 órára állítottam be. Ez azt jelentette, hogy a 24 órán át stabilizálódni hagyott futtatások a szimulációk elindításától számított második nap 19:00 órájáig tartottak. A későbbi adatfeldolgozásnál mindig a második napra vonatkozó kimeneti adatokat használtam fel, amiket a modell az előre megadott útvonalú mappába 30 percenként töltött le.

A program által felkínált számos kimeneti adat közül a léghőmérséklet [K], a relatív nedvesség [%], a szélsebesség [ms^{-1}], valamint a T_{mrt} [K] modellezett értékeit mentettem el. Mivel a modell kimenetei között nem szerepel az elemzéseimhez szükséges PET, ezért azt az

előbb említett négy paraméterből minden egyes cellára manuálisan számítottam ki a RayMan modell beépített indexszámító egyenleteinek felhasználásával (*Johansson és Yahia* 2012, *Peng és Jim* 2013). Természetesen ebben az esetben a RayMant csak a konkrét matematikai művelet elvégzésére alkalmaztam, vagyis arra, hogy az említett input adatokból megkapjam a számomra szükséges PET-értékeket. Ehhez értelemszerűen a terepi adatokat nem tápláltam be a RayManbe, illetve annak alapbeállításain sem kellett módosítanom.



3.3.3. ábra A Retek utcai játszótér területmodellje az ENVI-metben

3.3.4. A RayMan modellfuttatáshoz szükséges előkészületek

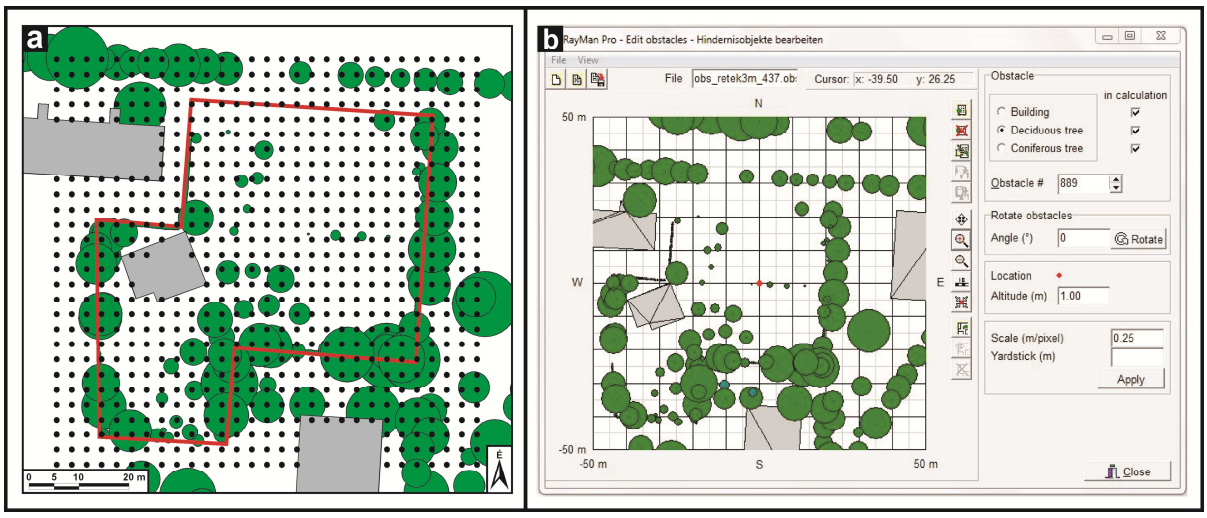
A RayManben a PET-értékek, illetve azok kiszámításához szükséges sugárzási környezet (T_{mrt}-értékek) szimulációja a kiválasztott napokra jellemző léghőmérséklet [°C], relatív nedvesség [%], szélsebesség [ms^{-1}], valamint globálsugárzás [Wm^{-2}] értékeinek felhasználásával történt. Az ENVI-mettel ellentétben a RayMan csak a globálsugárzás értékét képes − a terep-tárgyak figyelembevételével − az előírt 1,1 m magasságra redukálni (valamint a többi sugárzási komponenst ehhez szimulálni). A többi meteorológiai adatnál ezt a futtatások előtt nekem kellett manuálisan megtenni. Az OMSZ állomás által 2 m magasságban rögzített hőmérséklet és légnedvesség értékeit a korábbi szakirodalmi eredmények (*Nunez és Oke* 1977) alapján változatlanul hagytam. A 10 m magasan mért szélsebesség adatainál azonban a (2.6) összefüggés alapján redukciót alkalmaztam. Mivel az állomás alacsony növényzettel borított területen található, a képletben szereplő z_0 értékének 0,12-t adtam meg (Oke, 1987).

A továbbiakban a három modellezett nap 10 perces adatcsomagját egymás után egy Microsoft Excel munkalapra mentettem, amelyet egy tabulátorral tagolt szöveg formátumú (.txt) fájlba konvertáltam, hogy a modellben is megnyithatóvá váljon. Megjegyzendő, hogy a futtatások eredményeként a 10 percenként mért input adatokból ugyanilyen időfelbontás szerint kaptam meg a szükséges PET-értékeket, ami az ENVI-methez képest sokkal finomabb időbeli felbontású kimeneti adathalmazt eredményezett. Ezen felül, mivel minden 10. percben valós

meteorológiai adatokat importáltam be a modellbe, feltételezhető, hogy az eredmények jobban fognak majd közelíteni a mintaterületen ténylegesen tapasztalt termikus viszonyokhoz.

A tereptárgyak (épületek és növényzet) adatbázisát ebben az esetben is az *ESRI ArcView GIS 3.3* szoftver segítségével állítottam elő. Mivel a RayMan alapbeállítása szerint csak pontonként képes kimeneti adatokkal szolgálni (2.5.1. fejezet), a modellből felületi információkat (azaz bioklimatikus térképeket) csak úgy nyerhettem, ha egy megfelelő felbontású rácsháló mentén minden egyes rácspontra egyenként lefuttattam a modellt (*Égerházi et al.* 2012a, 2012b, 2014). Bár ez az eljárás viszonylag időigényesnek mondható, megkönnyítette a helyzetemet, hogy a teljes adatbázis esetén elegendő volt csak egyszer megtennem a pontról pontra történő modellfuttatást. A RayMan ugyanis lehetőséget nyújt arra, hogy a különböző beállítási alternatívák (jelen esetben az évszakos eltérések) vagy egy hosszabb vizsgálati időszak meteorológiai adatsorait egy közös bemeneti adathalmazba illesztve, egyszeri modellfuttatással állítsa elő az adott modellpontra vonatkozó kimeneti (T_{mrt} és PET) adatsorokat.

A szimuláció horizontális felbontását (azaz a pontok távolságát) 3 m-nek állítottam be, ami a modellterületre és kisebb környezetére 764 modellpontot eredményezett (3.3.4.a ábra). A 3 m × 3 m-es felbontás azért ideális választás, mert így az eredmények könnyebben összevethetők az ENVI-mettel végzett szimulációk 1,5 m (vagyis éppen feleakkora) felbontású kimeneteivel. Az épületek és a fásszárú vegetáció adatait, illetve az egyes modellpontok relatív koordinátáit tartalmazó, 764 db Obstacle fájlt (3.3.4.b ábra) egy, a tanszékünk kutatómunkája által kifejlesztett ArcView Script segítségével készítettem el.



3.3.4. ábra A RayMannel végzett szimulációhoz felhasznált modellpontok (a), és példaként a 437. rácsponthoz mint középponthoz tartozó Obstacle fájl modellbeli képe (b)

Az egyes Obstacle fájlok és a meteorológiai adatokat tartalmazó .txt fájl együttes betáplálásával kaptam meg a játszótér egyes pontjaira szimulált PET-értékek idősorait. A kapott adatok – a PET definíciójának megfelelően – a bioklimatológiai vizsgálatoknál leggyakrabban alkalmazott „standard alanyra” vonatkoznak (lásd 2.5.1. fejezet). A kimeneti adathalmazból az egyes napokra, illetve a kiválasztott időpontokra vonatkozó modelleredményeket a Microsoft Excel segítségével válogattam le. A RayMan modell ilyen jellegű, azaz a PET-értékek térbeli mintázatát adó felhasználása szakirodalmi ismereteim szerint eddig egyedülállónak számít.

3.4. AZ ADATFELDOLGOZÁS SORÁN ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

3.4.1. A mért adatokból származtatott bioklimatológiai mérőszámok

A terepi adatgyűjtést követően bioklimatológiai indexeket (T_{mrt} és PET) számítottam a dolgozatom tárgyát képező II. mérési időszak helyszínen mért mikroklímaadataiból (vagyis a VK1 és VK2 állomások adathalmazából), valamint ugyanazon időszak során a szegedi OMSZ állomáson rögzített meteorológiai háttéradatokból is. A VK1 és VK2 állomások adathalmazából a léghőmérséklet, relatív nedvesség, szélsebesség, valamint a rövid- és hosszúhullámú sugárzási fluxusok értékeit használtam fel.

A T_{mrt} értékeit a *Höppe* (1992) által javasolt összefüggés alapján számítottam ki a tér hat irányából mért rövid- és hosszúhullámú sugárzási fluxusok értékeiből kiindulva (2.4.1. fejezet). (Megjegyzendő, hogy a pirgeométerek által mért hosszúhullámú sugárzási fluxusokat (L_i) a (2.5) képletbe való behelyettesítés előtt a sugárzásmérőház hőmérsékletének felhasználásával korrigálni kellett. Továbbá, a sugárzásmérő műszer beállási idejének és forgatási ütemének figyelembevételével az eredményül kapott T_{mrt}-értékek felbontása 3 perces volt.) Az így kapott T_{mrt}-értékekhez hozzárendeltem az időben nekik megfelelő – a vizsgált helyszíneken közvetlenül mért – léghőmérséklet, relatív nedvesség és szélsebesség adatokat, majd ezekből a RayMan modell beépített bioklímaindex-számító funkciójának segítségével előállítottam a területek termikus stresszviszonyainak értékeléséhez felhasználandó PET-értékeket. Az így levezetett 3 perces PET-értékekből (valamint a percenként rögzített mikrometeorológiai paraméterekből) 10 perces átlagértékeket hoztam létre, hogy azok összevethetőek legyenek az OMSZ állomásról származó ugyancsak 10 perces átlagadatokkal.

Az OMSZ állomás adatsorából szintén a RayMannel számítottam ki a szükséges bioklimatológiai mérőszámokat (T_{mrt} és PET értékeit), itt azonban a bemeneti adatok a léghőmérséklet, a relatív nedvesség, az 1,1 m-re redukált szélsebesség, valamint a globálsugárzás 10 perces átlagértékei voltak. Fontos megemlíteni, hogy ez esetben a sugárzásértékeket nem redukáltam le a tereptárgyak által, így a kapott T_{mrt}- és PET-értékek az OMSZ állomás csaknem zavartalan égboltláthatóságú területére vonatkoztak. Ennek jelentősége abban áll, hogy a későbbiekben ezeket a paramétereket, és a belőlük számított PET-értékeket mint időjárási referenciaadatokat kívántam felhasználni.

3.4.2. A modelleredmények térbeli megjelenítése: a hőstressztérképek készítése

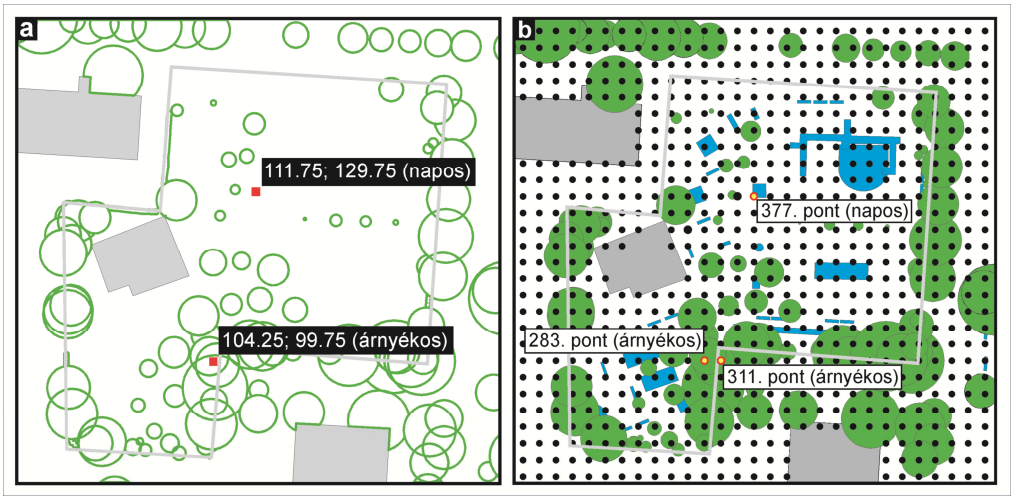
A modellek kimeneti adatait területileg megjelenítő mikroklíma- és hőstressztérképeket a *Surfer 8* szoftver segítségével készítettem el. A Surfer egy olyan gridalapú, háromdimenziós felületmegjelenítő és térképszerkesztő program, mely az ENVI-metből származó adatok vizualizálásán túl azt is lehetővé tette, hogy a RayMan pontszerű kimeneteit a szoftverben interpoláljam, és ez által állítsam elő a hőstressztérképeket. Az ENVI-met esetében a térképeket a modellcsomaghoz tartozó Leonardo alprogramban is megszerkeszthettem volna, azonban az eredmények összevethetősége érdekében a Surfer nyújtotta feltételeket kedvezőbbnek találtam.

A Surfer által felkínált ábrázolási lehetőségek közül az izovonalas térképet (Contour Map) választottam, amelyet később a PET index különböző stresszkategóriáihoz rendelt színskáláknak megfelelően színeztem. A program előnye, hogy ún. shape fájlokat is képes kezel-

ni, így az ArcView-ban korábban létrehozott épületalaprajzok, valamint a vegetáció rétegei itt is behívhatóak voltak.

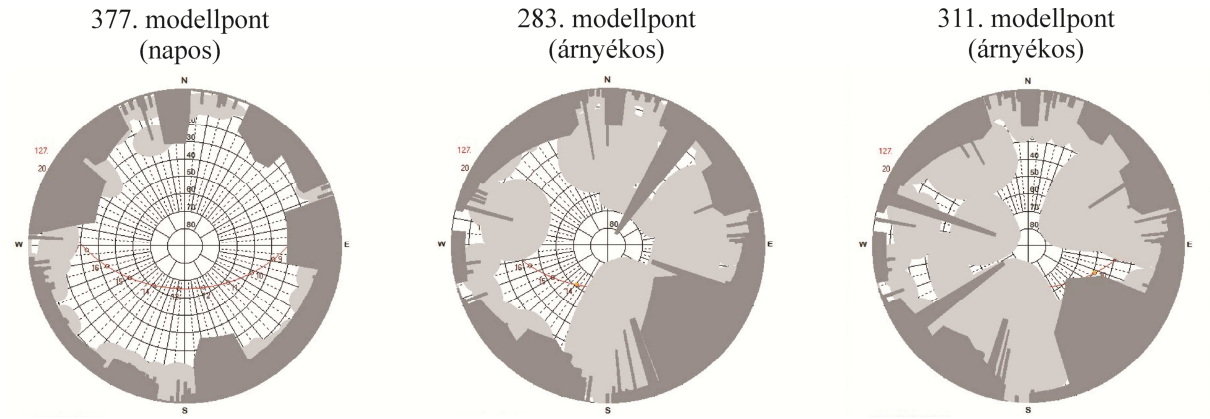
3.4.3. A modelleredmények összevetése a mért adatokkal

A RayMan és az ENVI-met kimeneti adatait a 10:00 és 18:00 óra között zajló helyszíni mikrometeorológiai mérésekből (3.2.3. fejezet) származtatott indexértékekkel vetettem össze. Ehhez a VK állomások 10 perces átlagértékei mellett a RayMan 10 és az ENVI-met 30 perces kimeneti adatait használtam fel.



3.4.1. ábra Az ENVI-met (a) és a RayMan (b) modellek VK1 (árnyékos) és VK2 (napos) mérőpontoknak megfeleltetett modellpontjai

Az összevetéshez olyan modellpontok adatsorait választottam ki, melyek a lehető legjobban közelítettek az árnyékban (VK1), illetve a napon (VK2) felállított állomások tényleges elhelyezkedéséhez (3.4.1. ábra). Az ábrán megfigyelhető, hogy az árnyékos (VK1) állomáshoz az ENVI-met modell esetében csak egy, míg a RayMan modellnél két modellpontot is rendeltem. Erre a 3.4.2. ábra ad magyarázatot. Mivel a 283. modellpont a kora délutáni óráktól kezdve (13:30 perctől) napra került, ezért annak helyettesítéseként a hozzá közel elhelyezkedő, 311. modellpontot alkalmaztam.



3.4.2. ábra A kiválasztott modellpontok égboltláthatósága a RayMan modell halszemoptikás kimenetei alapján (a piros vonalak a látszólagos nappályát jelölik 2011.07.12-én)

A 283. pont benapozódását egyrészt a RayMan leegyszerűsített formára hozott tereptárgyai okozhatják, amely szerint a modell a fák lombkoronáját egy szabályos ellipszoiddal (lombhullató fa) vagy kúppal (örökzöld fa), míg az épületeket sokszög alapú hasábokkal kö-

zelíti. Így például a valóságban előforduló kinyúló ágak, vagy más szabálytalan alakú tereptárgyak árnyékoló hatását a modell már nem tudja figyelembe venni. A 283. modellpont napra kerülését eredményezhette azonban az is, hogy e pont kissé nyugatabbra helyezkedik el, mint az ENVI-met modell árnyékos állomásnak megfeleltetett (104.25; 99.75) modellpontja (3.4.1. ábra), s ezért a RayMan esetén felépített területmodellben a terepi objektumok között egy rövidebb időre be tudott sütni a Nap.

3.4.4. A szubjektív reakciók összekapcsolása a modellezett eredményekkel

A terepi mérések során gyűjtött szubjektív és objektív adatok összekapcsolására és sokoldalú elemzésére már több ízben is sor került a szegedi humán-bioklimatológiai kutatócsoport munkája során (*Kántor et al*. 2009, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, *Kántor és Unger* 2010). A humán monitoring révén nyert területhasználati adatok és a mikro-bioklimatikus modellezésből származó információk összekapcsolására azonban hazánkban ezelőtt még nem volt példa. Ezért dolgozatomban az ebben rejlő lehetőségeket is szeretném bemutatni.

A 30 perces pillanatnyi megfigyelések (3.2.1. fejezet) során a látogatók térképen megjelenő helyei közvetlenül mutatják, hogy az egyes idősíkokban a vizsgált játszótér (vagy más mintaterület) igénybevétele milyen térbeli jellegzetességeket mutat. Ezeket a **területhasználati térképeket** a modellezés útján nyert – ugyanazon időpontra vonatkozó – **hőstressztérképekkel** kombináltam, hogy megvizsgáljam azok tér- és időbeli mintázata közti összefüggéseket. Ehhez a papíralapú területhasználati térképeket először beszkenneltem, majd azokat a *Quantum GIS* térinformatikai szoftver segítségével georeferáltam. Ezáltal a térképek valós térbeli információkkal (*x* és *y* koordináta) is kiegészültek, így elhelyezhetővé váltak a GIS-alapú rendszerekben. A látogatók pontos helyeit ezután az ArcView-ba importált térképek segítségével digitalizáltam, majd azokat a felvételezés dátuma és időpontja szerint shape fájlokba mentettem. Végül a Surferben a látogatottsági adatokat hozzárendeltem az időben nekik megfelelő hőstressztérképekhez.

4. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben átfogó képet adok a vizsgált **szegedi mintaterületek mikro-bioklimatológiai viszonyairól**, valamint azokról a fizikai körülményekről, melyek szerepet játszottak kifejlődésükben, különös tekintettel a **területkialakítással kapcsolatos tényezőkre** (4.2. fejezet) és az időjárási háttérparaméterekre (4.1. fejezet).

Egy kiválasztott mintaterület (a Retek utcai játszótér) részletes elemzésén keresztül bemutatom, hogy **a termikus viszonyok tekintetében** (így az alapparaméterek s a PET index értékeiben is) már egy kisméretű városi közterület esetén is **markáns különbségek** fejlődhetnek ki (4.2. fejezet vége és a 4.3. fejezet). Ezután számszerűsítem ezeknek a paramétereknek a **területi eltéréseit**, és rávilágítok azok **időfüggő** (napi, évszakos) mintázatára.

Értékelem, hogy a kialakult mikro-bioklimatológiai viszonyok milyen hatással vannak az emberi szervezetre, figyelembe véve a játszótérre érkezők **területhasználati** szokásait (4.4. fejezet). Majd elemzem a mintaterülettel kapcsolatos humán reakciókat, különös figyelmet fordítva a területkialakítással kapcsolatos **szubjektív meglátásokra és a felmerülő igényekre** (4.5. fejezet).

A felmért közterületek objektív alapokon nyugvó mikro-bioklimatológiai értékelését, valamint az azzal közvetlen és közvetett kapcsolatban álló humán reakciók értelmezését megelőzően fontosnak tartom az egyes vizsgálati periódusokra jellemző (regionális) **meteorológiai viszonyok** bemutatását (4.1. fejezet). Ezt az indokolja, hogy a vizsgálati napok időjárási háttere tekinthető annak az alap klímaparaméter-csomagnak, melyet az adott mintaterületek mikroszinten a kialakításuk függvényében (pl. az épületek, a vegetáció, a felszínborítás, és az egyéb tereptárgyak elhelyezkedése, mérete, anyagi minősége stb.) módosítanak. Emellett a humán monitoring adatbázisának elemzésekor is figyelembe kell vennem a regionális meteorológiai viszonyokat, hiszen az emberek területhasználatára, valamint szubjektív reakcióikra nagymértékben hatnak az adott napok időjárási háttérkörülményei.

4.1. A VIZSGÁLATOK IDŐJÁRÁSI HÁTTÉRKÖRÜLMÉNYEI

A mintaterületeken végzett helyszíni felmérések idején uralkodó általános időjárási háttérkörülményeket a szegedi OMSZ állomás által mért meteorológiai paraméterek alapján mutatom be. Az egyes helyszíneken végzett évszakos felmérések (2−12 nap területenként és évszakonként; lásd 3.1.1. táblázat) idejére vonatkozó meteorológiai háttéradatok gyakorisági eloszlását, továbbá átlagát, minimum- és maximumértékeit a 4.1.1., 4.1.2. és 4.1.3. ábrák szemléltetik. A hisztogramok elkészítésénél minden mérési nap esetén (a helyszíni mérések időintervallumának megfelelően) a 10:00 és 18:00 óra közötti időszakra eső meteorológiai adatokat vettem figyelembe.

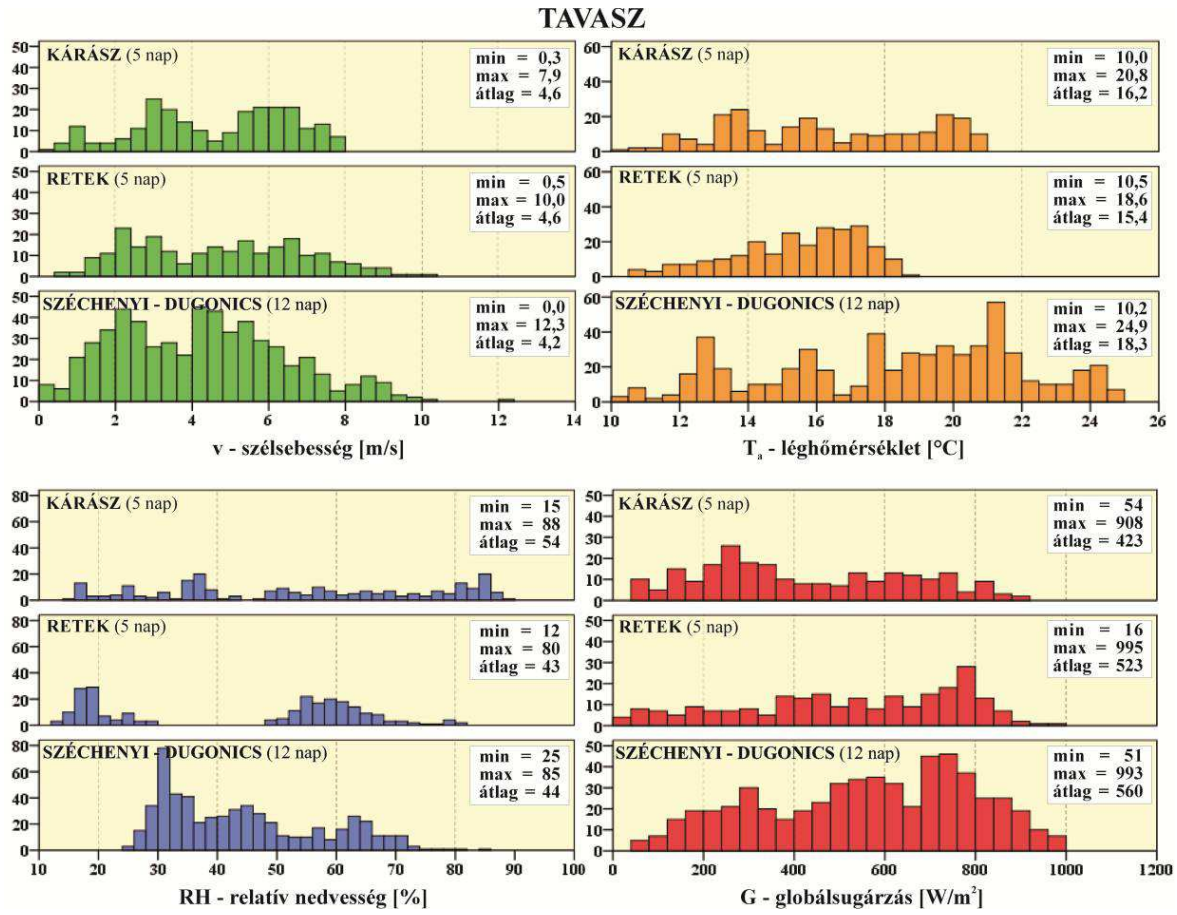
Az OMSZ állomás által 10 m magasságban rögzített **szélsebességadatok** tekintetében tavasszal figyelhetők meg a legmagasabb értékek (4.1.1. ábra). Ebben az évszakban valamennyi mintaterület felmérésekor a 2−8 ms^{-1} közötti tartományban fordultak elő a leggyakrabban a mért értékek, s a hisztogramok lefutása az egyes közterek felmérése idején nagyon hasonlónak bizonyult. (A Széchenyi és Dugonics tér esetén előforduló nagyobb gyakoriságok a több napot felölelő tavaszi felméréseknek tudhatók be.) Az átlagos regionális szélsebesség minden mintaterület tavaszi felmérésének idején meghaladta a 4 ms^{-1}-ot. A nyári és őszi évszakokban a légmozgás mérsékeltebb volt, a szélsebesség átlagos értéke csak a Széchenyi tér nyári felmérésekor, illetve a Szt. István tér őszi vizsgálata idején lépte túl a 4 ms^{-1}-os értéket

(4.1.2. és 4.1.3. ábra). Nyáron a szélsebesség a Retek utcai játszótér (a továbbiakban Retek utca) és a Honvéd tér vizsgálatakor 2−6 ms^{-1}, míg a többi tér esetében 0−6 ms^{-1} közötti értékeket vett fel legtöbbször. Ennél számottevően magasabb szélsebesség csak a Széchenyi tér felmérése idején volt tapasztalható. Ősszel szinte teljesen megfeleltethetők egymásnak a Kárász utca és Retek utca felmérésének idejére vonatkozó hisztogramok, míg a Szt. István vizsgálatakor jellemző regionális szélviszonyok a Széchenyi téren kivitelezett mérési napok hisztogramjaival mutatnak feltűnő hasonlóságot. Az előbbi esetben a 0−6 ms^{-1}, utóbbinál a 2−6 ms^{-1} közötti értékek fordultak elő leggyakrabban.

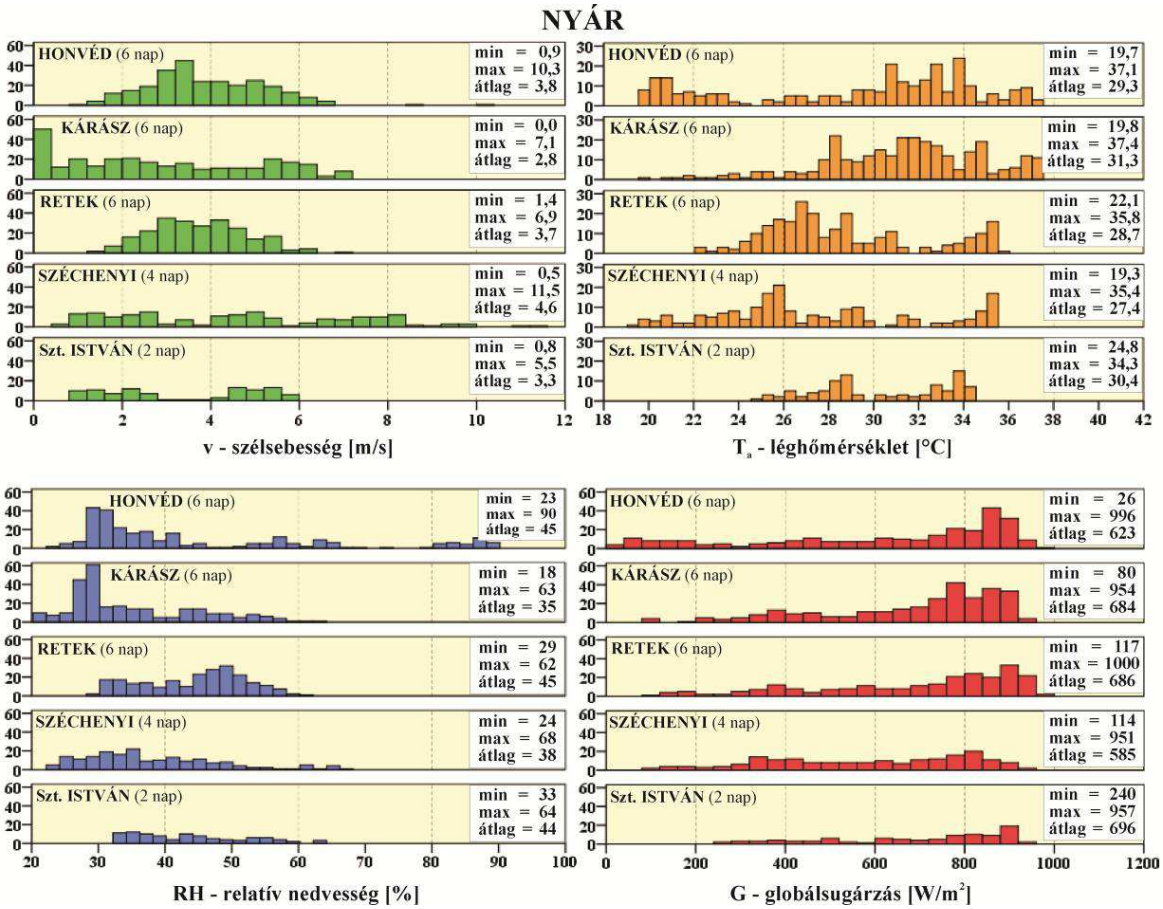
A teljes vizsgálatsorozat ideje alatt a legmagasabb **léghőmérséklet**-értékek értelemszerűen a nyári évszakban voltak, amikor átlagos értékük minden közterület felmérésekor meghaladta a 27 °C-ot (4.1.2. ábra). A leggyakrabban a Kárász utca vizsgálatakor fordultak elő kifejezetten meleg időjárási helyzetek, ekkor ugyanis a mért értékek legnagyobb hányada túllépte a 26 °C-os értéket, s a mérési időszak (10:00–18:00) összességére vonatkozó átlagos léghőmérséklet 31,3 °C-nak adódott. Tavasszal és ősszel jóval alacsonyabb léghőmérséklet-értékek voltak jellemzők (4.1.1. és 4.1.3. ábra). Az előbbi évszakban a Széchenyi-Dugonics tér vizsgálatakor volt átlagosan a legmelegebb (18,3 °C), amit a hisztogram lefutása is igazol. Az őszi felmérésekkor az átlagértékekben alig volt különbség az egyes terek felmérési napjai közt, az eltérés nem haladta meg az 1 °C-ot. Ugyanakkor az értékek eloszlási gyakoriságában kardinális különbségek fedezhetőek fel. A Széchenyi és a Szt. István tér esetében a léghőmérséklet 12−31 °C közötti értékeket vett fel, míg a másik két tér felvételezésekor ennél hűvösebb és melegebb értékek is előfordultak. Ennél is szembetűnőbb, hogy a Kárász és a Retek utca őszi mérési napjain szinte egyáltalán nem fordultak elő 15 és 22 °C közé eső hőmérsékletértékek.

A **relatív nedvesség** átlagértékeit tekintve az egyes felmérési időszakok közt jelentős eltérések nem figyelhetők meg (4.1.1.–4.1.3. ábra). A tavaszi és őszi felvételezések idejére vonatkozó hisztogramok szerint azonban valamivel nedvesebb volt a levegő az átmeneti évszakokban, azaz gyakrabban fordultak elő magasabb, 60%-ot meghaladó értékek. Ezzel szemben a nyári vizsgálatokkor az esetek többségében a levegő relatív nedvességtartalma csak ritkán lépte túl a 60%-ot. Borús, esős időjárási helyzetű napokhoz köthető, 80%-ot huzamosabb ideig meghaladó relatív nedvességértékek csak a Kárász utca őszi felmérésekor, valamint nyáron, a Honvéd tér vizsgálatának idején voltak tapasztalhatók (4.1.2. és 4.1.3. ábra).

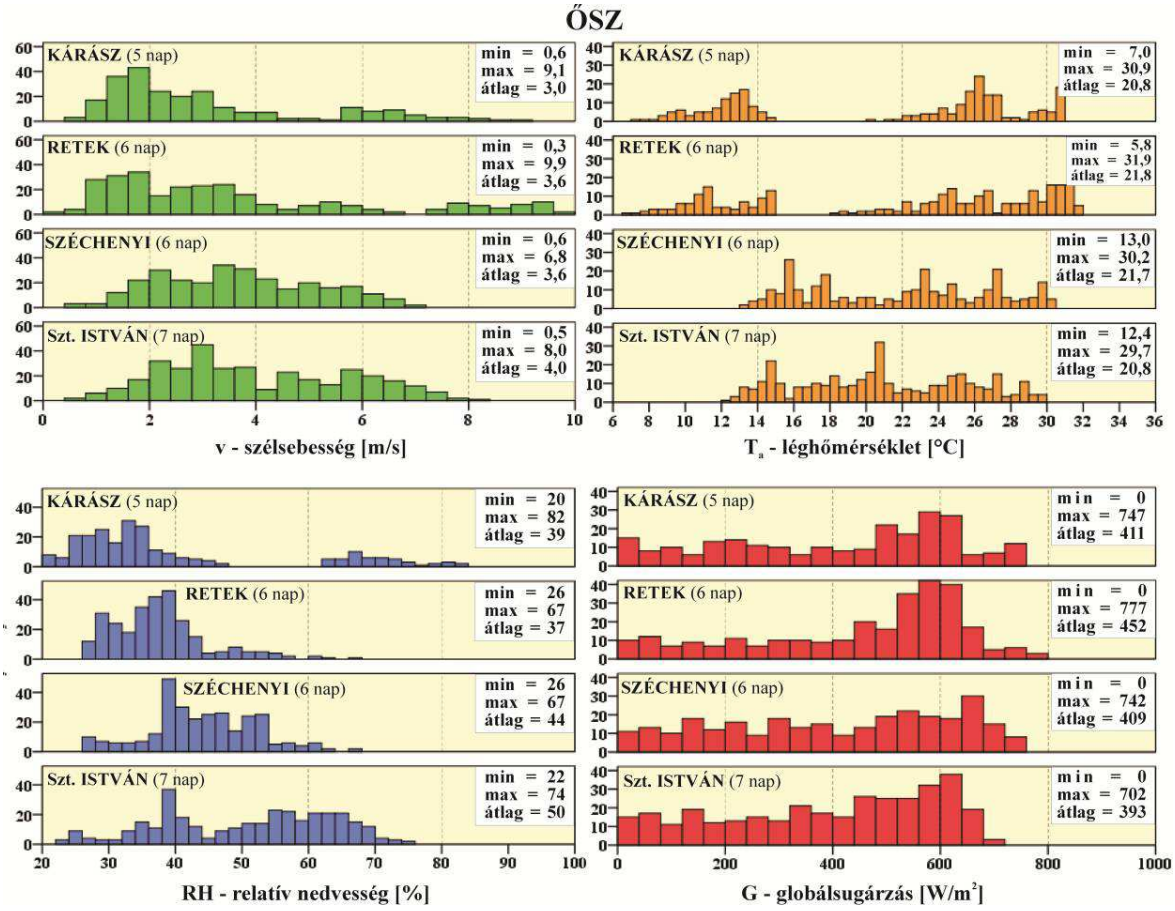
Az egyes évszakokon belül a különböző mintaterületek felmérési napjaira jellemző **globálsugárzás**-értékek nagyon hasonló gyakorisági eloszlást mutattak. Az átmeneti évszakokban az esetek többségében a hisztogramok módusza a 600 és 800 Wm^{-2} közötti tartományban helyezkedett el, s a globálsugárzás átlagos értékei tavasszal 400−600 Wm^{-2}, míg ősszel 400−450 Wm^{-2} körüli értékek között mozogtak (4.1.1. és 4.1.3. ábra). A magasabb napállás és a napsugárzás nagyobb intenzitása miatt a nyári felmérések ideje alatt jóval gyakrabban előfordultak 800 Wm^{-2}-t meghaladó értékek. A globálsugárzás átlagos értékei ebben az évszakban – a Széchenyi tér felmérési időszakát kivéve – meghaladták a 600 Wm^{-2}-t (4.1.2. ábra).



4.1.1. ábra A mintaterületek tavaszi felméréseikor uralkodó meteorológiai háttérkörülmények



4.1.2. ábra A mintaterületek nyári felméréseikor uralkodó meteorológiai háttérkörülmények



4.1.3. ábra A mintaterületek őszi felméréseikor uralkodó meteorológiai háttérkörülmények

4.2. A MINTATERÜLETEK TERMIKUS VISZONYAINAK ÉRTÉKELÉSE A HELYSZÍNI FELMÉRÉSEK EREDMÉNYEI ALAPJÁN

Ebben a fejezetben egy általános képet szeretnék adni a vizsgált szegedi mintaterületeken uralkodó mikro-bioklimatológiai viszonyokról, melyhez az egyes helyszíneken (a VK állomások által) rögzített, illetve az azokból származtatott termikus paramétereket használtam fel. Mivel a különböző napokon felmért mikroklimatológiai adatokra nem csupán a vizsgált területek kialakítása volt hatással, hanem a mindenkori időjárási viszonyok is, ezért az értékelésemhez az OMSZ szegedi mérőállomás adatsorait is felhasználtam.

Az adatok kiértékelése során a következő kérdésekre kerestem a választ:

- mi állhat a termikus viszonyok eltéréseinek hátterében, s a területkialakítás különbségei milyen mértékű módosító hatással bírnak a termikus paraméterek alakulására (4.2.1. fejezet)?
- a mikro-bioklimatikus viszonyok mely közterületeken lehetnek terhelőek az emberi szervezetre, vagy éppen ellenkezőleg, hol és milyen időszakban biztosítanak kellemesebb körülményeket számukra (4.2.2. fejezet)?

Ezeket a vizsgálatokat a hat különböző mintaterület felmérési eredményeinek összevetése, valamint egyazon terület mérőpontpárjainak összehasonlítása alapján végeztem el. Emellett a Retek utcai játszótér mérési eredményein keresztül azt vizsgáltam, hogy

- a mikro-bioklimatikus paraméterek hogyan változnak időben a terület eltérő árnyékviszonyokkal rendelkező pontjain, s milyen jellegzetességeket mutatnak különböző időjárási feltételekkel rendelkező napokon (4.2.3. fejezet).

4.2.1. A vizsgált közterületek kialakításából adódó mikro-bioklimatológiai módosulások

Mivel a mintaterületek felmérése nem ugyanazokon a napokon történt, ezért a helyszíneken (a VK1 és VK2 állomások által) rögzített mikroklíma-paraméterek és a belőlük számolt PET-értékek direkt módon nem vethetőek össze egymással. Ha azonban a helyszíni adatok és az OMSZ állomás adatainak (mint időjárási referenciaadatok) különbségeit vizsgáljuk évszakosan, a terek egymással való összehasonlítása is lehetővé válik. Ebben az alfejezetben tehát azt vizsgálom meg, hogy az egyes mintaterületek például elhelyezkedésükből, kialakításukból vagy éppen növényzettel borítottságuk mértékétől függően miként módosítják a klímaparamétereket, s ezáltal milyen irányba mozdítják az emberek termikus komfortérzetét a különböző évszakokban.

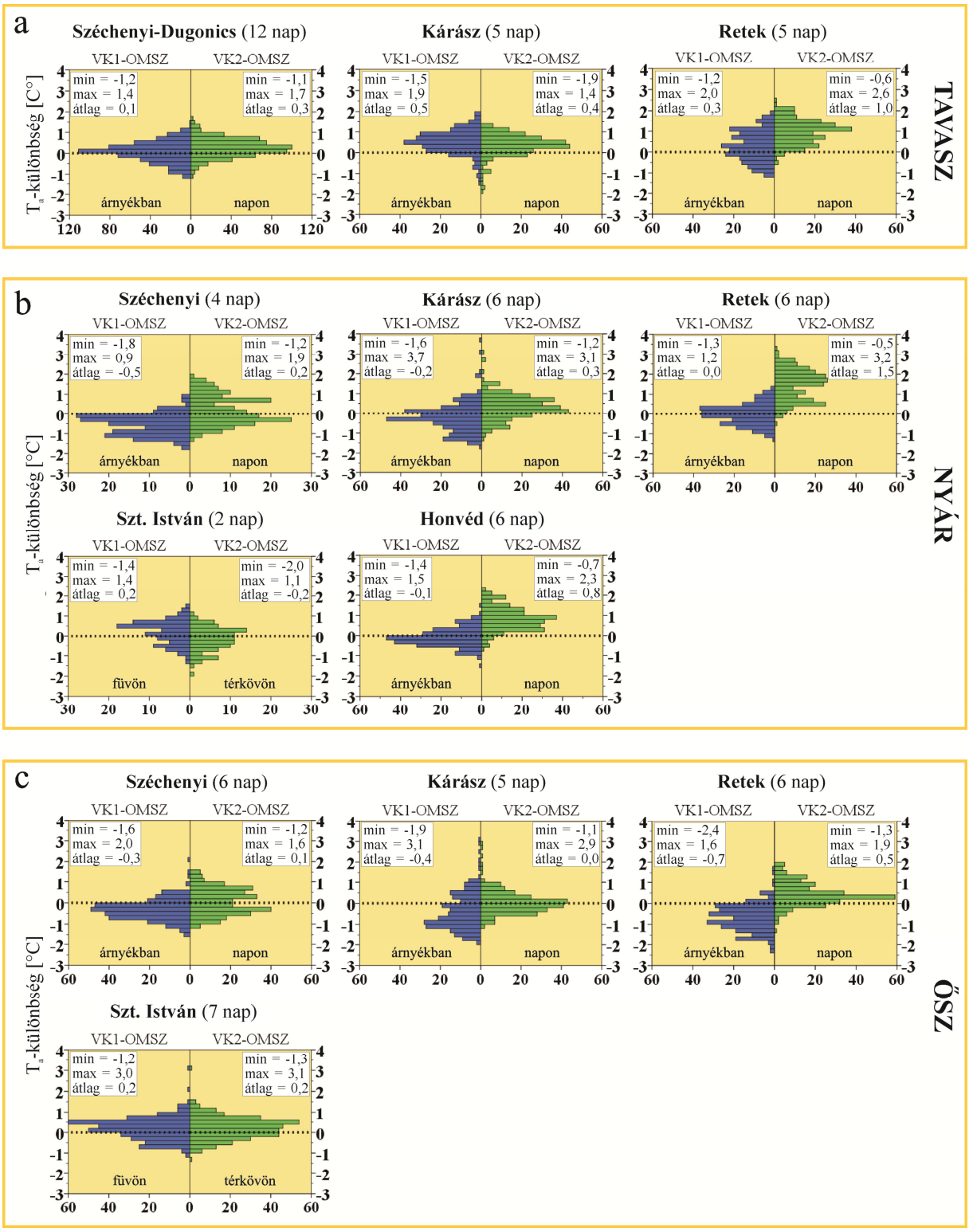
A helyszínek árnyékos és napos (a Szt. István tér esetében füves és térkővel borított) pontjain 10:00 és 18:00 óra között mért paraméterek, valamint a velük párhuzamosan rögzített OMSZ adatsorok évszakos leválogatása után a VK1−OMSZ és VK2−OMSZ különbségértékeket számítottam ki. (Az adatok összevethetősége érdekében mind a három adatbázisnál a 10 perces átlagértékeket használtam fel.) A PET-értékeket a mért paraméterekből (az OMSZ adatoknál az 1,1 m-re redukált szélsebesség felhasználásával) a RayMan modell indexszámító funkciójával manuálisan állítottam elő. A különbségeket ezután hisztogramokon ábrázoltam, melyeken a felmérési időszakokra vonatkozó minimum, maximum és átlagértékeket is feltüntettem. Az adatok előállításánál ügyeltem arra, hogy az előforduló adathiányok vagy hibás adatok esetén ne maradjanak helytelen értékek az adatbázisban, valamint a mobil műszerek beállási ideje (általában 10:20) előtt rögzített paramétereket és a nekik megfelelő OMSZ adatokat is eltávolítottam az adatsorokból.

A 4.2.1. és a 4.2.2. ábrák a léghőmérséklet és a PET-értékek különbséggrafikonjait mutatják évszakos bontásban. A helyszíneken felmért léghőmérséklet- és a számított PET-értékek a területkialakítás jellegzetességeiből fakadó mikroklíma-módosulások egyfajta eredőjének tekinthetők, azonban fontosnak tartom megjegyezni, hogy a 4.2.1. és a 4.2.2. ábrákon szereplő grafikonok teljes körű értelmezéséhez a többi termikus alapparaméter (illetve azok helyi módosulásának) ismerete is szükséges. Ezért a szélsebesség, a relatív nedvesség, a globálsugárzás és a T_{mrt} értékeinek helyszínfüggő eltéréseit a 2.1., 2.2. 2.3. és 2.4. mellékletek tartalmazzák. (A 4.2.1. és a 4.2.2. ábra hisztogramjain a minimumok, maximumok és átlagok a 0,1 °C-ra kerekített értékeket jelölik, illetve a 4.2.1. ábrán a hisztogramok egyes oszlopai 0,2 °C-os, a 4.2.2. ábrán 1 °C-os tartományok.)

Léghőmérséklet

Tavasszal valamennyi vizsgált területen az árnyékos és a napos pontok átlagos léghőmérséklete valamelyest magasabb volt, mint a referenciaállomás környezetében, azonban elsősorban a *Széchenyi tér* árnyékos pontján viszonylag gyakran fordultak elő alacsonyabb (negatív) értékek is (4.2.1.a ábra). Az árnyékban átlagosan a legkisebb eltérés szintén a Széchenyi téren volt tapasztalható ($\Delta T_{átl.}$ = 0,1 °C). Ez utóbbi elsősorban azzal hozható összefüggésbe, hogy az évszak első felében a területen sűrűn ültetett, de még lombkorona nélküli fák ekkor még nem voltak képesek számottevően módosítani az aktuális háttéridőjárást, s így a léghőmérsékletet sem. A *Széchenyi* és *Dugonics téren* csaknem azonos arányban voltak jelen a pozitív és a negatív előjelű különbségértékek, a *Kárász* és *Retek utca* esetében azonban mind napon, mind pedig árnyékban nagyobb gyakorisággal fordultak elő az OMSZ adatoknál ma-

gasabb értékek. A *Kárász utcán* az árnyékban valamivel nagyobb pozitív irányú átlagos eltérés volt megfigyelhető ($\Delta T_{átl.} = 0{,}5$ °C), mint a napon ($\Delta T_{átl.} = 0{,}4$ °C). Ennek hátterében az állhatott, hogy a VK1 (árnyékos) mérőműszert az árnyékolás teljesülése érdekében az épületek közvetlen közelében helyeztük el, ahol azonban a szél hűtőhatása nem tudott úgy érvényre jutni, mint ott, ahová a VK2 (napos) mérőállomást helyeztük (lásd 2.1. melléklet).



4.2.1. ábra A helyszínen (VK1 és VK2) és az OMSZ állomáson mért hőmérsékletértékek különbségeinek gyakorisági eloszlása tavasszal (a), nyáron (b) és ősszel (c)

A napos állomás hisztogramjai (VK2−OMSZ) szerint a *Kárász utcán* a leggyakrabban 0,4−0,8 °C-kal, a *Retek utcán* viszont 1−1,2 °C-kal volt melegebb, mint a külterületen. A vizsgált területek közül a legnagyobb pozitív átlagos hőmérséklet-eltérés szintén a *Retek utcán*, a napon volt tapasztalható, ahol a különbség elérte az 1 °C-ot. Emellett a legnagyobb maximális eltérés (ΔT_{max} = 2,6 °C) szintén ezen a téren fordult elő. A referenciaadatokhoz képest a legalacsonyabb hőmérséklet − az általánosan inkább pozitív értékekkel jellemzett − *Kárász utcán* fordult elő (ΔT_{min} = −1,9 °C), ami szintén kapcsolatba hozható a mintaterület napos mérőpontjának nagyobb átszellőzésével.

Nyáron az árnyékban az átlagos léghőmérséklet a referenciakörnyezetben tapasztaltakhoz viszonyítva egyik téren sem volt magasabb (4.2.1.b ábra). Ez alapján a leghűvösebb ebben az évszakban is a *Széchenyi téren* volt ($\Delta T_{átl}$ = −0,5 °C), ahol nagyobb gyakorisággal fordultak elő negatív különbségértékek. Ekkorra ugyanis a fák lombkoronái már teljes mértékben kifejlődtek, így hatékony árnyékolást tudtak biztosítani a területnek.

A mintaterületek napos pontjain, valamennyi közterületen átlagosan magasabb volt a hőmérséklet, mint az OMSZ állomás környezetében. A *Szt. István teret* ilyen tekintetben azonban külön kell vizsgálni, hiszen itt − az árnyékos területek hiányában − mindkét állomás a napon állt.

A *Széchenyi téren* a napos állomás környezetében is viszonylag gyakran előfordult, hogy a hőmérsékletértékek alacsonyabbak voltak a referenciaadatoknál, ami a vegetáció transzspirációs hűtőhatásának köszönhető. A *Honvéd tér* és a *Retek utca* napos pontjain átlagosan 0,8, valamint 1,5 °C-kal volt melegebb, mint a külterületen. Mindkét téren (de a *Retek utcán* még látványosabban) szinte kizárólag pozitív eltérések fordultak elő, azaz a léghőmérséklet a napon csaknem mindig magasabb volt, mint az OMSZ állomás környezetében. Emellett a *Honvéd téren* a legtöbbször 0,8−1 °C-kal, a *Retek utcán* pedig 1,6−1,8 °C-kal volt magasabb a hőmérséklet. A játszóterek erőteljesebb felmelegedésének okai elsősorban azok területkialakításában keresendők. Mindkét játszótér ugyanis épületekkel körülzárt területen található, illetve határterületeiken nagyobb lombkoronával rendelkező fák (fasorok) helyezkednek el. A játszóterek zárt kialakításából adódóan a légmozgás mérsékeltebb volt (2.1. melléklet), s így annak hűtőhatása nem tudott jelentős mértékben érvényre jutni. Emellett mindkét játszótéren a VK2 állomást világos színű aprókavicsos borítású felszínre helyeztük, így feltételezhető, hogy ez a burkolattípus a felette lévő légréteg felmelegedését eredményezhette. Meg kell azonban azt is említeni, hogy ebben az évszakban a két játszótér felmérésének idején a regionális szélviszonyok mérsékeltebbek voltak (4.1.2. ábra), így a levegő átkeveredése is gyengébb volt. Ez pedig kedvezett annak, hogy nagyobb léghőmérséklet-különbségek alakulhassanak ki a területek árnyékos és napos részei között.

A *Szt. István téren* a mérőállomásokat viszonylag közel helyeztük el egymáshoz, két különböző burkolatú felszínen. Ennek ellenére a hisztogramokon a negatív és a pozitív különbségértékek közel azonos arányban fordultak elő, viszont a fűvel fedett területrészen a referenciaadatokhoz képest átlagosan kissé magasabb hőmérsékletértékek fordultak elő. (Feltételezhető, hogy valamivel más eredményeket kaptam volna, ha ebben az évszakban a mérésünk nem csak két napra korlátozódik, illetve olyan napokat is kiválasztottunk volna a felmérésekhez, amikor az esőzés vagy öntözés után a füves felszínborítás enyhe transzspirációs hűtőhatása is érvényesül. A két pont közelsége miatt azonban akkor sem számíthattunk volna jelentős különbségekre.)

Ősszel a vizsgált területek közötti eltérések mérsékeltebbek voltak (4.2.1.c ábra), mint nyáron, hiszen a markáns mikroklimatikus különbségek kifejlődéséhez szükséges meleg, erős napsütéssel rendelkező időjárási viszonyok inkább a nyári évszakot jellemezték (4.1.2. és 4.1.3. ábra). Az árnyékban leggyakrabban a referenciaadatoknál alacsonyabb hőmérsékletértékek fordultak elő (4.2.1.c ábra), hasonlóan a nyári évszakhoz, de ellentétben a tavaszi periódussal. A tavaszi és őszi évszak különbségei a vegetációval borított terek (*Széchenyi*, *Retek*) esetében a lombozat fejlettségi állapotával hozható kapcsolatba.

A VK állomások adatai alapján a *Retek utca* árnyékos pontja rendelkezett a legerőteljesebb hőmérséklet-csökkentő hatással, de az eltérés mindössze $\Delta T_{átl} = -0{,}7$ °C-nak adódott (annak ellenére, hogy nagyobb gyakorisággal fordultak elő ennél alacsonyabb értékek is). Emellett a napon valamennyi tér közül a *Retek utcán* volt átlagosan a legnagyobb növekedés is, ahol az OMSZ adatoknál 0,5 °C-kal volt magasabb a hőmérséklet. A leggyakoribb eltérés 0,2−0,4 °C közé esett, azonban gyakran megjelentek ennél nagyobb különbségértékek is.

A nyári felmérésekhez hasonlóan a *Szt. István téren* a füves és a térköves felszínborítás T_a-hisztogramjainak gyakorisága nem mutatott jelentős mikroklimatikus különbséget. A referenciaadatoktól számított átlagos eltérés viszonylag kicsi volt, s értéke megegyezett a két mérőponton ($\Delta T_{átl} = 0{,}2$ °C), továbbá a minimális és maximális eltérések is közel azonosak voltak (füvön $\Delta T_{min} = -1{,}2$ °C, $\Delta T_{max} = 3{,}0$ °C; térkövön $\Delta T_{min} = -1{,}3$ °C, $\Delta T_{max} = 3{,}1$ °C). Tehát – annak ellenére, hogy ebben a felmérési periódusban a két állomás már egy kissé távolabb helyezkedett el egymástól, mint nyáron – a füves és térköves felszínborítás feletti légrétegek hőmérséklete ősszel sem módosult számottevően.

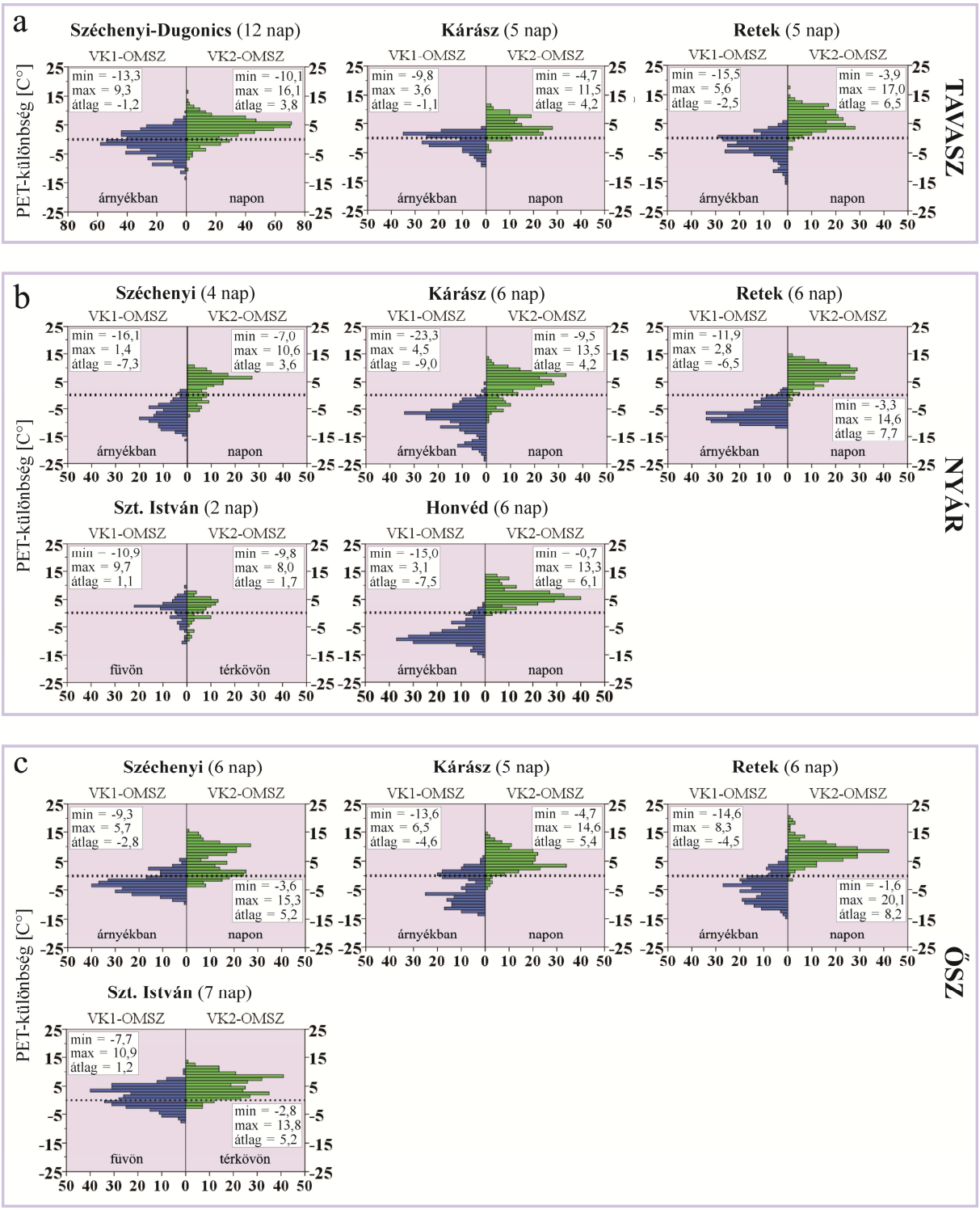
PET – Fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet

A mikroklíma-paraméterek együttes hatását leíró PET-értékek az egyes évszakokban jóval markánsabb eltéréseket mutattak, mint a léghőmérséklet. Emellett megállapítható, hogy mind a három vizsgált évszakban és minden mintaterületen a referenciaadatokhoz képest a napon átlagosan melegebb, míg az árnyékban hűvösebb termikus viszonyok alakultak ki (4.2.2. ábra).

Tavasszal a vizsgált területek árnyékos részein a PET-értékek átlagos (negatív irányú) eltérése mérsékeltebb volt, mint a rákövetkező évszakokban (4.2.2.a ábra). A leghatékonyabb PET-csökkentő tulajdonsággal a *Retek utca* fái voltak jellemezhetők, de itt is mindössze 2,5 °C-kal volt átlagosan hűvösebb a termikus környezet, mint a város külterületén elhelyezkedő OMSZ állomáson. A játszótéren a fák árnyékában − a viszonylag kis átlagos különbség ellenére – azonban előfordultak olyan szituációk is, hogy a PET-értékek eltérése számottevően túllépte a −5 °C-ot. Bár a *Széchenyi téren* az árnyékban gyakran jelentek meg az OMSZ adatoknál magasabb értékek is, összességében mégis nagyobb számban fordultak elő negatív különbségek.

A napos mérőpontok eredményei alapján a legjelentősebb felmelegedésre a *Retek utca* (körbezárt kialakítású és aprókavicsos felszínborítású) környezete volt hajlamos, ahol tavaszszal átlagosan 6,5 °C-kal volt melegebb. Ezenfelül a játszótér VK2−OMSZ hisztogramja szerint a teljes tavaszi felmérés ideje alatt a pozitív különbségértékek domináltak. Ez azonban bioklimatikus terhelés tekintetében, illetőleg a termikus komfortérzet szempontjából nem feltétlenül okozott stresszt vagy kellemetlenséget a játszótér látogatói számára. A háttéradatokhoz képest felmelegedett környezet ugyanis – az eleve hűvösebb időjárással jellemezhető, s

így hidegstresszel járó átmeneti évszakban – akár komfortosabbá is tehette a terület mikroklímáját (lásd 4.2.2. fejezet), növelve ezáltal annak látogatottságát.



4.2.2. ábra A helyszíni mérőpontok (VK1 és VK2) és az OMSZ állomás adataiból számított PET-értékek különbségeinek gyakorisági eloszlása tavasszal (a), nyáron (b) és ősszel (c)

Nyáron, az árnyékos mérőpontok szerint valamennyi mintaterületen szinte kizárólag negatív különbségértékek fordultak elő, azaz a közterületeken árnyékban hűvösebb volt, mint a referenciakörnyezetben (4.2.2.b ábra). Az átlagértékeket vizsgálva a legmarkánsabb PET-csökkenés a *Kárász utca* épületeinek árnyékában volt ($\Delta PET_{átl} = -9{,}0$ °C), ahol a legnagyobb eltérés is kiemelkedő $\Delta PET_{min} = -23{,}3$ °C értéket ért el. Az extrém helyzeteket leszámítva

azonban a többi területhez hasonlóan, a leggyakrabban a 6−8 °C közötti különbségértékek fordultak elő. A *Széchenyi téren*, a *Retek utcán* és a *Honvéd téren* a fák lombkoronájának teljes kifejlődésével a vegetáció bioklíma-módosító hatása mind az átlagértékek (Széchenyi: $\Delta PET_{átl}$ = −7,3 °C, Retek: $\Delta PET_{átl}$ = −6,5 °C, Honvéd: $\Delta PET_{átl}$ = −7,5 °C), mind pedig a hisztogramokon ábrázolt PET-különbségek eloszlásai alapján közel azonosnak bizonyult. A három közterületen a PET-értékek leggyakrabban 6−9 °C-kal voltak alacsonyabbak, mint az OMSZ állomás környezetében.

A napon a tavaszi felmérésekhez képest valamelyest nagyobb eltérések figyelhetők meg. A termikus terhelés tekintetében a 7,7 °C-os átlagos különbségértékkel a *Retek utca* a legkellemetlenebb, ahol gyakran a 8−10 °C-os különbségértékek is előfordultak. Nem sokkal marad le utána a *Honvéd tér* 6,1 °C-os átlaggal, azonban valamivel alacsonyabb (5−7 °C) leggyakoribb eltérésekkel. A PET-különbségek hisztogramjai alapján megállapítható tehát, hogy a játszóterek csaknem minden oldalról körbezárt kialakítása, s ezért mérsékeltebb átszellőzése, valamint a napfénynek kitett aprókavicsos felszínborítás rövidhullámú sugárzást visszaverő (ezért az OMSZ állomás füves borításánál valamivel nagyobb felmelegedést okozó) tulajdonsága együttesen kedvezőtlenül hat az adott területen tartózkodók szervezetének energiaegyenlegére, illetve nagy valószínűséggel a kialakuló termikus komfortérzetükre.

A *Szt. István téren* a hisztogramok közel azonos értékeket vettek fel a füves és a térköves felszínborítás esetén, ami az állomások közvetlen közelségének tudható be. Az átlagos PET-értékek azonban a térköves felszín felett enyhén melegebb termikus viszonyokról tettek tanúbizonyságot, utalva a vörös térkő (a füves borítással szemben) jobban felmelegedő (és többlet hosszúhullámú sugárzási bevételt okozó) jellegére (4.2.2.b ábra).

Ősszel a nyári felmérésekhez képest valamivel kisebb átlagos PET-különbségek voltak jellemzők (4.2.2.c ábra). A *Kárász utca* épületeinek, valamint a *Retek utca* és a *Széchenyi tér* vegetációjának árnyékoló hatása azonban továbbra is megfigyelhető volt. A *Kárász utca* árnyékos pontján átlagosan 4,6 °C-kal volt hűvösebb, mint a külterületi OMSZ állomáson, s a leggyakrabban −6 °C körüli PET különbségértékek fordultak elő (4.2.2.c ábra). Ebben az évszakban is a *Retek utca* napos részein volt tapasztalható a legnagyobb termikus terhelés (8,2 °C-os átlagos eltéréssel), ahol rendkívül gyakran alakultak ki a külterületi OMSZ állomásnál 8−9 °C-kal melegebb mikroklimatikus helyzetek.

Ősszel a *Szt. István tér* eltérő felszínborítású területeinek hatása valamivel jobban kirajzolódott, ami egyrészt a nyárinál hosszabb ideig tartó felvételezéseknek köszönhető (lásd 3.1.1. táblázat). A hisztogramok alapján a térköves burkolat felett egyértelműen a melegebb termikus körülmények domináltak: azaz a PET-értékek átlagosan 5,2 °C-kal voltak magasabbak a referenciaadatoknál, de gyakran feltűntek akár 8−9 °C-os különbségek is. Az OMSZ állomás környezetével megegyező füves felszínborítás felett a városban átlagosan 1,2 °C-kal volt melegebb. Megjegyzendő azonban, hogy ekkor az egymástól távolabb elhelyezett állomások közül a fűre felállított (VK1) időnként hamarabb árnyékba került a napnyugta közeledtével, mint a térkőre helyezett párja (VK2), így a kapott eredményeket a burkolatok mikroklíma-módosító hatása mellett a mérőpontok árnyékviszonyai is befolyásolták némileg.

Az ebben az alfejezetben bemutatott eredmények egyértelműen alátámasztják, hogy a területek **árnyékolása** − legyen az épület, vegetáció vagy egyéb árnyékoló szerkezet általi árnyékolás – átlagosan akár 9 °C-kal hűvösebb termikus körülmények kialakulásához is vezethet, ami elsősorban a terhelőbb nyári évszakban kedvezően befolyásolhatja a területen tartózkodók hő- és közérzetét. A vizsgált mintaterületek közül a *Retek utca* (mindhárom évszak-

ban), illetve a *Honvéd tér* (csak nyári felmérés volt) mutatkozott a leginkább felmelegedésre hajlamosnak, melynek hátterében feltehetően a játszóterek hasonló területkialakítása állt. Egyrészt mindkét játszótér épületekkel és nagyobb lombkoronával rendelkező fákkal körbezárt, melyek megakadályozzák a mintaterületek nagyobb átszellőzését, ez pedig hozzájárul ahhoz, hogy a területeken valamivel magasabb léghőmérséklet alakulhasson ki. Másrészt a játszóterek világos színű, aprókavicsos felszínborítása magas albedóval rendelkezik, ami fokozott sugárzás-visszaverő hatása révén – napos égboltviszonyok esetén – nagymértékben megnöveli a területen tartózkodó személyek rövidhullámú sugárzási bevételét. Ezek együttesen az átmeneti évszakokban (és elsősorban tavasszal) akár kellemes köz- és komfortérzetet is okozhatnak a látogatók számára, azonban az eleve melegebb hónapokban komoly termikus stresszhelyzeteket idézhetnek elő. Itt ismét említést kell tenni arról, hogy a játszóterek komfortos kialakítása, továbbá a termikus terhelést előidéző vagy azt fokozó területrendezési megoldások kiszűrése azért is különösen fontos, mert a játszótereket elsősorban a gyermekek (valamint az őket kísérő nagyszülők) látogatják nagyobb arányban, illetve huzamosabb ideig, akik a stresszhelyzetekre az átlagosnál jobban érzékenyek.

4.2.2. A mintaterületeken kifejlődött termikus viszonyok értékelése

A vizsgált közterületek különböző területegységein (vagyis árnyékos és napos, valamint a Szt. István tér esetén füves és térköves mérőpontjain) uralkodó bioklimatikus viszonyokat a PET-kategóriák előfordulási gyakoriságai alapján jellemzem (4.2.3 ábra). Az eloszlások elkészítéséhez valamennyi mintaterület esetében a helyszínen mért mikroklímaadatokból számított PET-értékek 10 perces átlagértékeit használtam fel, s ügyeltem arra, hogy a VK1 és VK2 oszlopokban szereplő adatok száma megegyezzen. Az eredmények tárgyalása előtt újfent érdemes megjegyezni, hogy a PET-gyakoriságok alapján a közterületek közvetlen összehasonlítására nem nyílik lehetőség, mivel a mintaterületek felmérései különböző napokon, s így eltérő mikroklimatikus helyzetek mellett zajlottak. Ebből adódóan az előző fejezetben tárgyalt következtetések egy része nem jelenik a 4.2.3. ábrán. Ugyanakkor az egyes mérőpontpárok, s így a mintaterületek különböző kialakítású területegységei közt fellépő bioklimatikus különbségek látványosan szemléltethetőek.

A vizsgált területek **tavaszi felmérése** idején mind az árnyékos, mind pedig a napos területegységeken nagy arányban voltak jelen neutrális viszonyokat jelentő PET-értékek (4.2.3.a ábra). A közterületek napsugaraknak kitett részein általában a neutrális vagy annál kissé melegebb értékek kerültek előtérbe, míg az árnyékban elsősorban az enyhe hidegstressz kategóriája szerepelt gyakran a semleges értékek mellett.

A *Széchenyi* és a *Dugonics tér* párhuzamos felvételezésekor (2011 tavasza) melegebb időjárási viszonyok uralkodtak: magasabb léghőmérséklet és erősebb globálsugárzás volt jellemző, valamint a légmozgás is gyengébb volt, mint a másik két tér felmérésekor (4.1.1 ábra). Ennek következtében a *Széchenyi tér* árnyékos pontján elhelyezett VK1 állomás esetén is megjelent az enyhe hőstressz kategóriája, noha az eseteknek csupán 15%-ában (4.2.3.a ábra). A jóval nyitottabb és ezért naposabb *Dugonics tér* méréseinek több mint a fele volt enyhe, vagy mérsékelt hőstresszel jellemezhető, sőt a VK2 állomás adatsorából az erős hőstressz kategóriájába eső PET-értékek is megjelentek.

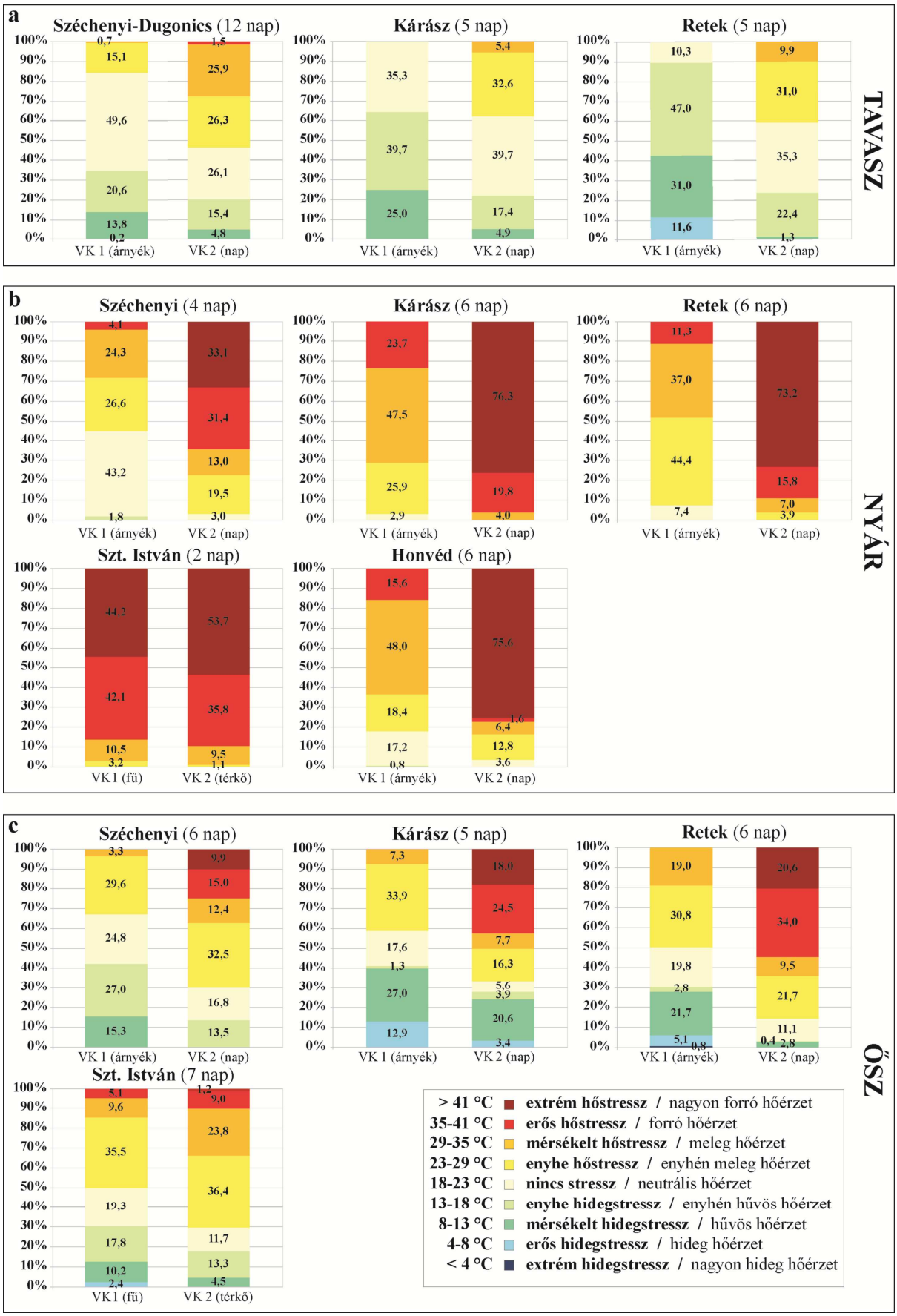
Köszönhetően a 2012-es tavaszi felmérések idejére jellemző hűvösebb időjárási viszonyoknak (4.1.1 ábra), a *Kárász utca* és a *Retek utca* árnyékos területein a hideg terhelés szinte

egyeduralkodó volt (4.2.3.a ábra). Az előbbi térnél az esetek több mint 60%-ában, míg az utóbbinál több mint 80%-ában fordultak elő a neutrálisnál hűvösebb értékek, a meleg általi hőterhelés pedig egyáltalán nem jelent meg ezeken a területeken. Ugyanezen két tér napos pontjain azonban viszonylag gyakran (az esetek közel 40%-ában) tapasztalható volt enyhe, vagy akár mérsékelt hőterhelés.

Függetlenül attól, hogy a **nyáron felmért** mintaterületek napos vagy éppen árnyékos részeit vizsgáljuk, mindig a meleg okozta terhelés került előtérbe, habár a kimutatott hőstressz mértékében több kategóriányi különbségek láthatók (4.2.3.b ábra). Ez természetesen az évszakra jellemző jóval melegebb időjárási körülményeknek (magasabb léghőmérsékletnek és az erősebb globálsugárzásnak) is tulajdonítható (4.1.2 ábra). A neutrálisnál hűvösebb termikus körülmények csak egyszer-egyszer fordultak elő a mintaterületeken, de akkor is kizárólag az árnyékban (4.2.3.b ábra). Míg a vizsgált területek napos mérőpontjain messzemenőkig a legveszélyesebb hőterhelési szintet jelentő PET-kategória került túlsúlyba, addig az épületek és a vegetáció árnyékában a PET-értékek egyszer sem érték el az extrém hőstressz 41 °C-nál definiált határát. A mindennapi tapasztalatainkkal összhangban, nyáron a mintaterületek árnyékos részein tartózkodók szervezetét ritkábban érte termikus stressz, hiszen itt a direkt napsugaraknak kitett területekhez képest a hő(sugárzás) okozta terhelés jelentősen mérséklődött. Ezzel szemben a tavaszi felmérések idején az árnyékban tartózkodva volt nagyobb a termikus terhelés esélye, hiszen a hűvösebb vizsgálati napokon éppen a napfénynek való kitettség csökkentette a hidegstressz mértékét.

A *Széchenyi tér* és a *Honvéd tér* nyári felvételezésekor alacsonyabb hőmérsékletű napok is előfordultak (4.1.2 ábra), ami részben magyarázatot ad arra, hogy a többi területhez képest gyakrabban fordultak elő neutrális PET-értékek. Ráadásul ez a kategória még a napos (VK2) állomás esetén is megfigyelhető volt (4.2.3.b ábra). A *Széchenyi téren* a tűző napsütésnek kitett területegységeken az esetek mindössze 30%-ban jelent meg az extrém fiziológiai terhelés. Ezzel szemben a *Kárász utca*, a *Retek utca* és a *Honvéd tér* napos területein extrém szintű hőstressz jellemezte az esetek körülbelül 75%-át.

Az előbbi (4.2.1.) fejezetben tárgyaltakkal összhangban a *Szt. István tér* esetében a különböző felszínborítási típusok bioklimatikus viszonyokra gyakorolt hatásai tanulmányozhatók, hiszen a VK1 állomást fűvel, míg a VK2-t vörös térkővel borított felszínen helyeztük el, egymástól néhány méter távolságra. Mivel az állomások a napon álltak, a hőterhelés mindkét mérőponton markáns volt: az erős s az extrém hőstresszt jelentő PET-kategóriák domináltak (4.2.3.b ábra). A természetes felszínborítás kedvező hatását jelzi, hogy a fűvel borított mérőponton az extrém hőstressz kategóriájába eső PET-értékek 9,5%-kal ritkábban fordultak elő, mint a térkő esetében. A füves környezetben pedig a mindössze enyhe szintű hőstresszt jelző PET-értékek valamivel gyakrabban (3,2%) jelentek meg, mint a térkövön (1,1 %). Az eredmények tehát alátámasztották, hogy a térköves burkolat kissé terhelőbb termikus tulajdonságokkal rendelkezik, mint a természeteshez közeli, füves felszínborítás. A 4.2.3.b ábra grafikonjainak együttes értelmezése feltárja, hogy az árnyékolás sokkal hatékonyabbnak bizonyul a nyári termikus terhelés redukálásában, mint a felszínborítás. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy a burkolat hatásaival kapcsolatos *Szt. István téri* grafikon mindössze 2 nap adatsorán alapult, szemben a többi terület 4−6 napot felölelő (s ezért jóval változatosabb alapparamétereken kiinduló) adatsorával.



4.2.3. ábra A PET-kategóriák eloszlási gyakorisága [%] a mintaterületeken elhelyezett VK1 és VK2 állomások mért adatai alapján

Az őszi felmérések idején a termikus terhelés a nyáriakhoz képest ismét mérséklődött, azonban a tavaszi felmérésekkel ellentétben a napos területeken még viszonylag nagy arányban voltak jelen az erős és extrém hőstresszt jelentő PET-kategóriák. Ennek hátterében részben az áll, hogy a felvételezések az évszak első hónapjaiban (szeptember, október) történtek, azaz a novemberi, hidegebb napokon (amikor gyakorlatilag már senki nem tartózkodott huzamosabb ideg a közterületeken) már nem zajlottak helyszíni adatgyűjtések. Az átmeneti évszak jellegéhez képest meleg, sokszor 22 °C feletti, de néha akár a 30 °C-ot is meghaladó regionális léghőmérséklettel jellemezhető kora őszi felmérések (4.1.3 ábra) ellenére a vizsgált területek árnyékos pontjain a neutrális, vagy annál akár számottevően hűvösebb PET-kategóriák kerültek túlsúlyba (4.2.3.c ábra). Ebből adódóan ősszel az extrém szintű termikus terhelés mindkét minőségében (extrém hőstressz, extrém hidegstressz) képviseltette magát, s a mintaterületeken kialakult bioklimatikus viszonyok a PET-skála végpontjai közt valamennyi kategóriát lefedtek.

Ősszel a *Széchenyi tér* jellemezhető a legoptimálisabb termikus körülményekkel, ahol a neutrális, valamint a szomszédos kategóriák (enyhe hőstressz vagy enyhe hidegstressz) gyakorisága mind az árnyékban, mind pedig a napon meghaladta az esetek több mint 60%-át. Ezzel szemben a *Kárász utcán* és a *Retek utcán* az extrém és erős szintű hő- és hidegstressz kategóriái is viszonylag gyakran voltak jellemzők. A *Szt. István téren* a felszínborítási típusok bioklimatikus módosító hatása ősszel is megfigyelhető. A füves területen kb. 50%-ban neutrális kategóriába eső, vagy annál alacsonyabb PET-értékek fordultak elő, míg a térkő felett gyakoribb volt a hő okozta terhelés: az esetek kb. 70%-ában érte valamilyen szintű hőstressz az ott tartózkodók szervezetét. A füves burkolatra felállított VK1 állomás esetén ráadásul nemcsak a mérsékelt, hanem az erős szintű hidegstressz kategóriája is megjelent (2,4 %), ami azonban a mesterséges burkolat felett nem volt tapasztalható. Megjegyzendő azonban, hogy a Szt. István tér őszi felmérésének idején kimutatott bioklimatikus eltérések nem írhatóak kizárólag az eltérő felszínborítás számlájára, mivel ezeken a napokon előfordultak olyan esetek is, amikor a naplemente közeledtével a füves területrészre felállított VK1 állomást hamarabb elérte a tér körüli épületek árnyéka.

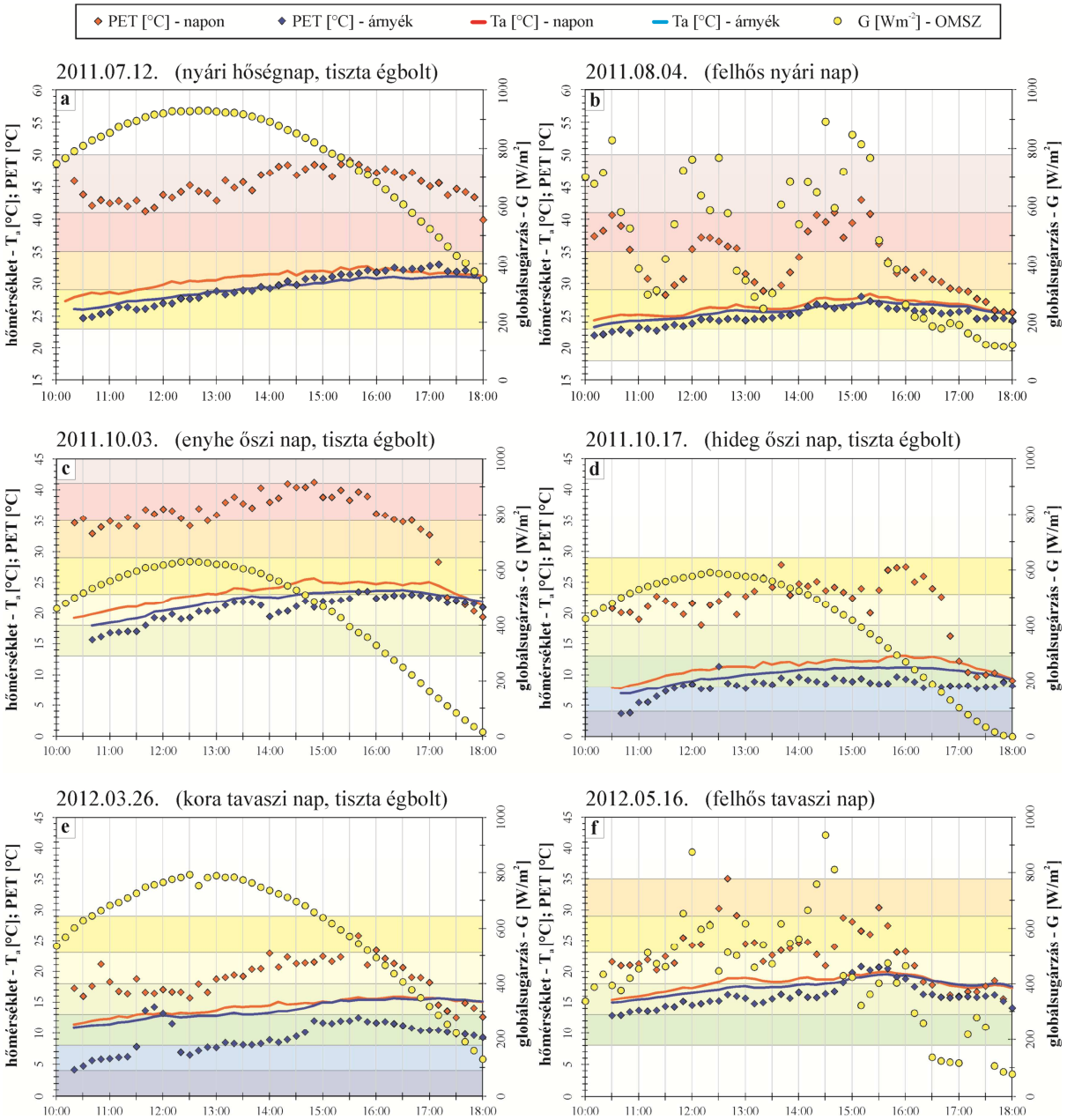
4.2.3. A mikro-bioklimatikus paraméterek időbeli alakulása a Retek utcai játszótér árnyékos és napos mérőpontjain

A mikro-bioklimatikus viszonyok napi mintázatát, azok időjárásfüggő évszakos változásait, illetve az árnyékos és napos területek közt kifejlődő termikus különbségeket a Retek utcai játszótér példáján ismertetem. Választásom többek között azért esett erre a mintaterületre, mert mind a három évszakból megfelelő számú és minőségű adatsorral bír, továbbá mert a korábban bemutatott eredmények (4.2.2. és 4.2.3. ábra) alátámasztották, hogy a játszótér olykor igen terhelő mikro-bioklimatikus tulajdonságokkal rendelkezik. Elemzésemhez kettő nyári, kettő őszi és kettő tavaszi, évszakonként is eltérő meteorológiai háttérrel rendelkező napot választottam ki.

Nyár

Az első vizsgált nap (**2011.07.12.**) meteorológiai szempontból hőségnapnak számított, hiszen a léghőmérséklet napi maximuma elérte a 30 °C-ot (4.2.4.a ábra, 4.2.1. táblázat). A globálsugárzás – a tiszta égbolttal rendelkező nyári napnak megfelelően – 930 Wm^{-2}-en tetőzött, s napi menete ideális haranggörbét írt le. Tehát a nap folyamán a mikro-

bioklimatikus körülmények kifejlődését az égbolt felhősödése nem befolyásolta, s a terület napfénynek kitett pontjain zavartalanul érvényesülhetett a napsugárzás melegítő hatása. Ennek köszönhetően már maguk a léghőmérséklet értékei is jelentősebben eltávolodtak egymástól: az árnyékban az átlagos értéke 29,2 °C volt, amit a napos területek értékei 1,5 °C-kal szárnyaltak túl (4.2.1 táblázat). A bioklimatikus terhelés alakulásában azonban a különböző árnyékolási viszonyokkal rendelkező pontok között ennél jóval markánsabb eltérések is megfigyelhetők (4.2.4.a ábra). Míg az árnyékban a PET-értékek átlagosan 29,5 °C-ig emelkedtek, addig a napos mérőhelyen 15−20 °C-kal magasabb értékek is előfordultak. Fiziológiai terhelésben kifejezve ez annyit jelentett, hogy míg az árnyékban tartózkodókat a délelőtti órákban enyhe, majd azt követően mérsékelt hőstressz érte, addig a direkt sugárzásnak kitett területeken időzőknek az egész nap folyamán extrém szintű hőstresszel kellett megbirkózniuk.



4.2.4. ábra A léghőmérséklet- és PET-értékek napi alakulása a játszótér egy árnyékos és egy napos pontjában, különböző meteorológiai hátterrel rendelkező napokon (az ábrán feltüntettem az OMSZ állomáson mért globálsugárzás értékeit, valamint a grafikonokat a PET-kategóriák szerint színeztem)

2011.08.04. az előbbinél lényegesen enyhébb (a Retek utca nyári mérési napjai közül a leghűvösebb), felhős nyári nap volt (4.2.4.b ábra). A léghőmérséklet átlagos értéke meghaladta a 25 °C-ot, s a mintaterületen a felszín közelében a légmozgás az egész nap folyamán gyenge volt (4.2.1. táblázat). A globálsugárzás maximális értéke ugyan túllépte a 800 Wm^{-2}-t, mégis sokszor esett az értéke 400 Wm^{-2} alá a gyakori felhősödés miatt. A mintaterületen mért léghőmérsékletek átlagos értéke a napon 26,3 °C-nak, míg az árnyékban 25,7 °C-nak adódott, s az eltéréseik a nap folyamán végig 1 °C alatt maradtak. Miközben az árnyékos mérőponton rögzített PET-értékek a léghőmérséklettel közel párhuzamosan mozogtak (bár attól kissé hűvösebb hőérzetre utaltak), addig a napos mérőpont PET-értékei jelentős ingadozást mutattak. Ez az ingadozás szembetűnően lekövette a globálsugárzás értékeinek − az égbolt befelhősödésével, majd kiderülésével járó − ütemét, ami egyértelműen alátámasztja a sugárzási viszonyok kardinális szerepét a termikus terhelés szintjének alakulásában. Ebből adódóan a napon az előző ritmustól függően a mérsékelt és az extrém szintű terhelés váltakozott, ezzel szemben az árnyékos területeken délelőtt a stresszmentes (neutrális) PET-kategória, majd azt követően enyhe szintű hőterhelés volt jellemző (4.2.4.b ábra).

4.2.1. táblázat A vizsgált napokon kifejlődött mikro-bioklimatikus viszonyok a játszótér árnyékos és napos mérőpontjain, valamint ugyanezen napokon a 10:00−18:00 időintervallumra számított meteorológiai háttéradatok

		T_a - OMSZ	v - OMSZ	G - OMSZ	T_a - VK1	v - VK1	PET - VK1	T_a - VK2	v - VK2	PET - VK2
2011.07.12	min	26,2	1,4	348,1	26,0	0,4	24,7	27,3	0,5	39,9
	max	31,3	5,0	929,9	31,1	1,3	32,9	32,7	1,8	49,2
	átlag	**29,4**	**3,2**	**767,8**	**29,2**	**0,8**	**29,5**	**30,7**	**1,0**	**45,3**
2011.08.04	min	24,0	2,0	116,7	23,3	0,4	22,1	24,3	0,6	25,6
	max	27,4	4,8	891,9	27,3	0,9	28,0	28,4	1,7	43,0
	átlag	**25,8**	**3,4**	**467,7**	**25,7**	**0,6**	**24,9**	**26,3**	**1,0**	**33,3**
2011.10.03	min	18,2	0,3	15,8	18,0	0,1	15,7	19,2	0,2	19,4
	max	25,0	2,0	631,1	23,7	0,9	23,6	25,7	1,1	41,3
	átlag	**22,9**	**1,3**	**445,3**	**21,9**	**0,4**	**20,7**	**23,2**	**0,6**	**35,0**
2011.10.17	min	5,1	0,6	0,0	7,0	0,1	3,7	7,8	0,1	9,0
	max	11,4	4,1	591,5	11,2	0,8	11,4	13,1	1,4	27,8
	átlag	**9,8**	**2,6**	**399,3**	**10,0**	**0,6**	**8,2**	**11,2**	**0,7**	**20,9**
2012.03.26	min	10,5	4,4	130,1	10,9	0,9	4,2	11,5	1,2	12,6
	max	15,6	10,0	793,0	15,6	2,8	14,3	15,9	4,0	25,9
	átlag	**13,9**	**7,0**	**593,2**	**13,7**	**1,7**	**9,4**	**14,3**	**2,5**	**18,9**
2012.05.16	min	13,7	2,9	78,7	15,0	0,4	12,9	15,4	0,5	14,1
	max	18,6	6,2	937,2	19,5	1,1	20,8	19,9	1,4	35,0
	átlag	**16,8**	**4,9**	**435,4**	**17,6**	**0,8**	**16,1**	**18,1**	**0,9**	**22,7**

Ősz

A játszótér őszi mérési napjai közül egy enyhébb, kora őszi (2011.10.03.) és egy hidegebb, az őszi vizsgálatsorozat végéről származó napot (2011.10.07.) emeltem ki. A melegebb őszi napon, **2011.10.03-án** a léghőmérséklet napi átlagos értéke ugyan alatta maradt a nyáron tapasztaltaknak, azonban még így is túllépte a 20 °C-ot (4.2.1. táblázat). Felhőmentes nap lévén a globálsugárzás napi menete ideális haranggörbe alakot rajzolt ki, azonban jóval alacsonyabb értékeket vett fel, mint nyáron. Éppen ezért a napi maximális értéke is alacsonyabbnak adódott, mindössze 631 Wm^{-2}-t ért el (4.2.4.c ábra, 4.2.1. táblázat). A felhőborítottság által nem befolyásolt időjárási helyzetnek köszönhetően a játszótér napos és árnyékos mérőpontjain mért léghőmérsékletek kissé elkülönültek egymástól: átlagos értéke az árnyékban 1,3 °C-kal maradt alatta a napon rögzítetteknek, azonban a nap folyamán ennél nagyobb eltérések is előfordultak. A termikus terhelés tekintetében ebben az esetben is jelentős térbeli különbségek

mutatkoztak. Míg a napon a PET-értékek átlagosan 35,0 °C-ra emelkedtek, addig az árnyékban mindössze 20,7 °C-ot értek el. Ha a fiziológiai terhelés szintjeit vetjük össze, akkor a játszótér árnyékos pontján a kora délelőtti órákban enyhe hideg stressz fordult elő, azonban a nap további részében (egészen a nap végéin) végig optimálisnak értékelhető, stresszmentes termikus körülmények uralkodtak. Ezzel szemben a tűző napnak kitett területeken, a nap folyamán a terhelés ennél sokkal erősebb, s a PET-értékek lefutása pedig jóval változékonyabb volt. A délelőtti és a 16:00−17:00 óra közötti időszakokban a játszótér napos területein a mérsékelt fiziológiai terhelés dominált, ami a kora délutáni órákban erős hőstresszé fokozódott. A nap végén azonban az alacsonyabb napmagasság következtében árnyékba borult területeken a VK1 és VK2 mérőpontokra számított PET-értékek közel együtt futottak, a termikus terhelés pedig ekkorra teljesen megszűnt (4.2.4.c ábra).

2011.10.17-én az időjárás hidegebbre fordult: a zavartalan napsütés ellenére a léghőmérséklet maximuma mindössze 11,4 °C-nak adódott, a Nap alacsonyabb delelési magasságának köszönhetően pedig a globálsugárzás legmagasabb napi értéke is csak 592 Wm^{-2}-t ért el (4.2.4.d ábra, 4.2.1. táblázat). A mintaterületen mért léghőmérsékletek értékeiben ismételten felfedezhetők kisebb különbségek a napos állomás javára: az átlagos értéke a napon 11,2 °C, míg az árnyékban 10,0 °C-volt. A termikus terhelés szintjét és területen belüli eltéréseit tekintve az eddigiekhez képest változások következtek be. A magasabb fiziológiai stresszszinttel jellemezhető területrészek ekkor a vegetációcsoportok árnyékába helyeződtek át, ahol a huzamosabb ideig tartózkodóknak erős, sőt a reggeli órákban extrém hidegstresszel kellett megküzdeniük. Itt azonban hangsúlyozni kell, hogy a PET-értékek a korábban már említett standard (clo = 0,9) hőszigetelésű ruhára lettek kiszámítva, így értelemszerűen az időjárásnak jobban megfelelő ruházat viselése esetén az előbbiekben megjelenő erős terhelés számottevően mérsékelhető. A kisebb intenzitású napsugárzásnak kitett területeken ugyanakkor a délelőtti és kora délutáni órákban egyáltalán nem kellett termikus terheléssel számolni. Majd ezt követően is (az esti órákat leszámítva, amikor a naplemente után hűvössé vált a környezet) csak enyhe szintű hőstressz volt tapasztalható (4.2.4.d ábra).

Tavasz

A kora tavaszi napon (**2012.03.26.**) az átlagos léghőmérséklet a hideg őszi naphoz képest kissé magasabb volt (13,9 °C), s a globálsugárzás napi maximuma is viszonylag magas, 793 Wm^{-2} értéket ért el (4.2.4.e ábra, 4.2.1 táblázat). Ezzel szemben a napos mérőpont átlagos PET-értéke 2 °C-kal alatta maradt az őszi napra számított ugyanezen paraméternek. Ennek hátterében a játszótéren uralkodó nagyobb szélsebesség állhatott, melynek átlagos értéke az árnyékban 1,7 ms^{-1} volt, míg a (nyitottabb) napos területeken elérte a 2,5 ms^{-1}-ot. A helyszínen rögzített léghőmérsékletek értékei (elsősorban a nap második felében) nagyon közel kerültek egymáshoz: az árnyékos állomás átlagos értéke 13,7 °C-nak adódott, amit a napon mért megfelelője mindössze 0,6 °C-kal múlt felül. Mindez újfent a nagyobb légmozgással hozható összefüggésbe, ami tulajdonképpen „elmossa” a területkialakításból fakadó, a léghőmérséklet (és légnedvesség) esetén megjelenő különbségeket. A szeles időjárás hűtőhatásának tudható be az is, hogy az eddigiektől eltérően, az árnyékos pont PET-értékei jóval a léghőmérséklet-értékek alatt helyezkedtek el (4.2.4.e ábra). Ebből adódóan a direkt napsugaraktól védett területeken időzőket délelőtt erős, majd a déli órák felmelegedése után mérsékelt hideg terhelés érte. A játszótér napos részein tartózkodóknak azonban ennél valamivel kisebb termikus terheléssel kellett megbirkózniuk, ugyanis a délelőtti órákban a mért PET-értékek az enyhe hi-

deg, míg a délután nagy részében a terhelésmentes stressz-kategóriába estek (4.2.4.e ábra). (Az árnyékban rögzített PET-adatokban 11:30-kor megjelenő emelkedés annak a következménye, hogy egy rövid időre mindkét mérőállomás napra került.)

2012.05.16-án a termikus viszonyok alakulását ismételten az égbolt beborulási és kiderülési üteme határozta meg. Bár a globálsugárzás maximális értéke meghaladta a 900 Wm^{-2}-t, napi menete a felhősödés gyakoriságától és mértékétől függően nagyon változékony volt (4.2.4.f ábra, 4.2.1. táblázat). 2011.08.04-hez hasonlóan a napos pont PET-értékeiben megjelenő fluktuációk szinte lekövették a globálsugárzás rapszodikus mintázatát. A napos mérőpontot jellemző PET-értékek maximuma elérte a 35 °C-ot, azonban a nap folyamán az égbolt felhősödésének köszönhetően gyakran süllyedt 25 °C alá. Az árnyékban a PET-értékek ingadozása mérsékeltebb volt, és értékei a mért léghőmérséklethez hasonlóan alakultak, bár a nap nagy részében kissé alatta maradt annak. A fiziológiai terhelés szintjét tekintve a napon tartózkodóknak igen változatos termikus terheléshez kellett alkalmazkodniuk, hiszen a nap folyamán a mérsékelt és az enyhe hőterhelést jelentő szituációk, valamint a stresszmentes helyzetek szinte percről percre váltották egymást. Ezzel szemben a vegetáció és az épületek árnyékában csaknem végig enyhe hideg terhelés volt a jellemző (4.2.4.f ábra).

4.3. A MIKROKLIMATOLÓGIAI SZIMULÁCIÓKBÓL NYERT EREDMÉNYEK A RETEK UTCAI JÁTSZÓTÉR PÉLDÁJÁN

Az előző fejezetben értékelt helyszíni felmérések révén bepillantást nyerhettünk abba, hogy a vizsgált mintaterületek különböző pontjai közt akár több stresszkategóriányi termikus különbség is kifejlődhet. A felmérések adatbázisa alapján azonban egyszerre csupán két helyszíni pont mikro-bioklimatikus körülményeinek, illetve azok időbeli alakulásának összevetésére volt lehetőségem. A komplexebb vizsgálat érdekében a termikus alapparaméterek, valamint a származtatott bioklimatológiai mérőszámok teljes területi eloszlását is jellemezni kívánom, melyekről a szimulációk kimenetei révén tudok részletesebb információkat szerezni.

Disszertációm jelen fejezetében az ENVI-met és RayMan modell legfontosabb eredményeit mutatom be a Retek utcai játszótér példáján. A modellkimenetre alapozva a következő kérdésekre keresem a választ:

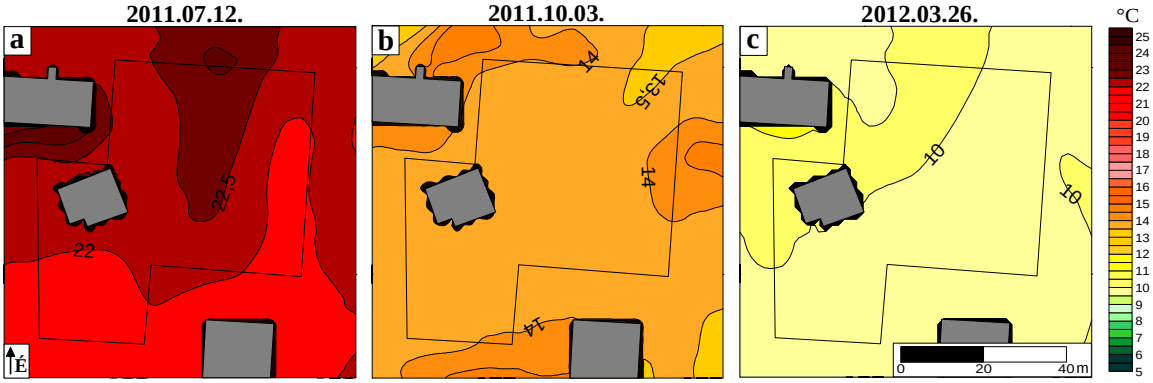
- milyen változékonyságot mutatnak a mikro-bioklimatikus paraméterek az egyes évszakokban a vizsgált játszótér teljes területén?
- egy tipikus nyári napon a PET-értékek térbeli mintázata mennyiben módosul a két modell eredményei szerint?
- az alkalmazott modellek milyen pontossággal közelítik a játszótér valós termikus körülményeit?

4.3.1. A mikro-bioklimatikus viszonyok térbeli mintázata három különböző meteorológiai háttérrel rendelkező napon

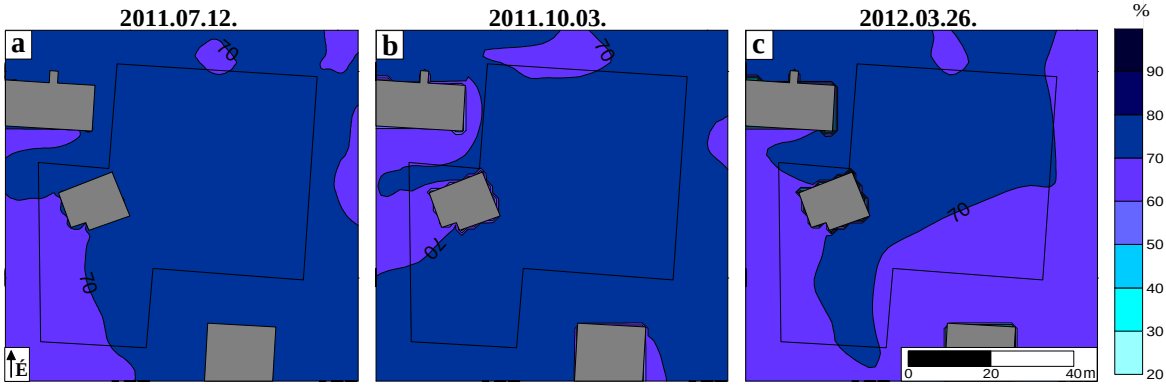
A mikro-bioklimatológiai paraméterek térbeli eloszlásának évszakos eltéréseit egy hőségnap (2011.07.12.), egy enyhe őszi nap (2011.10.03.) és egy hűvösebb kora tavaszi nap (2012.03.26.) 11:00 órára vonatkozó modelleredményei alapján szemléltetem. Mivel a bioklimatikus mérőszámok (T_{mrt} és PET) mellett a mikrometeorológiai alapparaméterek területi változékonyságát csak az ENVI-met képes szimulálni, ezért ebben az alfejezetben csak ennek a modellnek a kimeneteit ismertetem. A szimulációk eredményei közül a léghőmérsék-

let, a relatív nedvesség, a szélsebesség, valamint a T_{mrt}- és a PET-értékek térbeli mintázatát mutatom be. (A kapott kimeneti adatok értékelésénél szem előtt kell tartani, hogy a modellfuttatások a városi hatásoktól mentes, vidéki területekre jellemző bemeneti adatokból indultak ki.)

A játszótéren a **léghőmérséklet** tekintetében mindhárom napon csupán mérsékelt területi eltérések figyelhetők meg (4.3.1. ábra). A modelleredmények alapján a legmelegebb – a várataknak megfelelően – a nyári napon volt (T_a = 22−23 °C), míg az átmeneti évszakokban ennél jóval alacsonyabb értékek fordultak elő (T_a = 10−14 °C). *2011.07.12*-én 11 órakor a direkt napsugaraknak kitett középső és északi részeken (lásd később a 4.3.5. ábrán) a levegő hőmérséklete valamelyest magasabb volt, mint a vegetációval sűrűn borított déli és keleti területeken (4.3.1.a ábra), azonban az árnyékos és napos részek hőmérsékletének eltérése mindössze 0,5−1 °C-nak adódott. A vizsgált őszi nap (*2011.10.03.*) ugyanezen időpontjában a levegő hőmérsékleti eloszlása csaknem homogénnek tekinthető a játszótér teljes területén (T_a = 14 °C), a néhány tized fokkal magasabb hőmérsékleti mező határát jelölő izotermák csak a magasabb panelépületek közvetlen környezetében helyezkedtek el (4.3.1.b ábra). A legalacsonyabb értékek *2012.03.26*-án fordultak elő, amikor a levegő hőmérséklete 11:00 órakor csak a játszótér északnyugati területein és a játszóház közvetlen környezetében érte el a 10 °C-ot, míg a tér egyéb területein 9 °C körül alakult (4.3.1.c ábra).



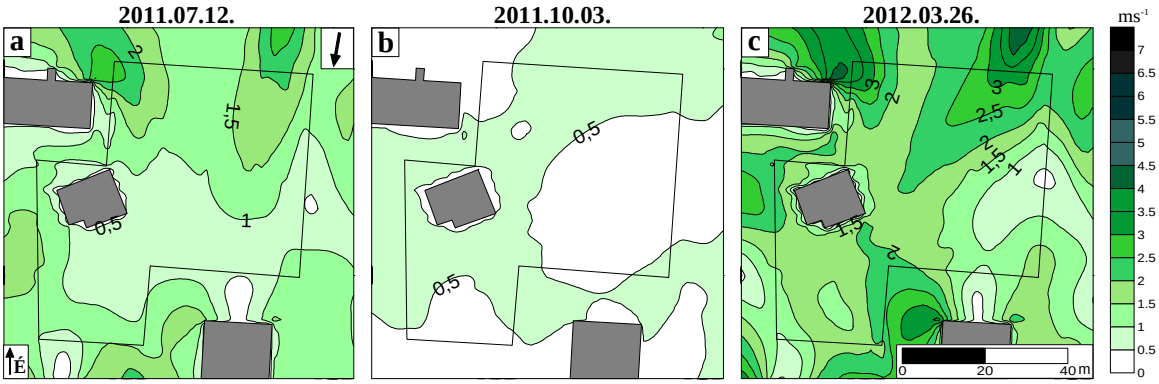
4.3.1. ábra A léghőmérséklet [°C] térbeli mintázata a három vizsgált napon, 11:00 órakor (a szürke színű alakzatok az épületeket jelölik)



4.3.2. ábra A relatív nedvesség [%] térbeli mintázata a három vizsgált napon, 11:00 órakor

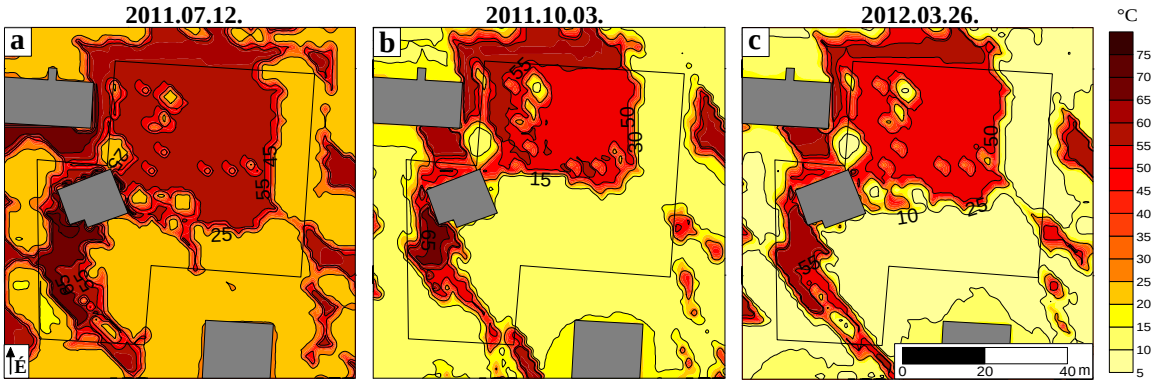
A **relatív nedvesség** értékeiben nagyon csekély eltérések figyelhetők meg mind a vizsgálat napokra vonatkozó térbeli mintázat, mind pedig az egyes évszakok összevetése esetén (4.3.2. ábra). A viszonylag magas relatív nedvesség-értékek miatt azonban feltételezhető, hogy az ENVI-met mindhárom évszakban felülbecsülte annak valós értékét, köszönhetően a

külterületre jellemző input adatok felhasználásának (3.3.2. táblázat). *2011.07.12*-én és *2011.10.03*-án egy-egy kisebb területet leszámítva a játszótér közel egészén 70 és 80% közötti relatív nedvesség dominált (4.3.2.a és 4.3.2.b ábra). Mindkét évszakban csak a tér nyugati és északi részén − és ott is csak egy-egy kisebb területen − volt ennél valamivel szárazabb a levegő (RH = 60−70%). Tavasszal (*2012.03.26.*) a jóval alacsonyabb bemeneti relatív nedvesség-adatok (3.3.2. táblázat) ellenére a játszótér legnagyobb részén szintén 70−80% között mozgott a levegő nedvességtartalma, azonban ebben az esetben valamivel nagyobb területet foglaltak el a 60 és 70% közötti értékekkel jellemezhető területegységek (4.3.2.c ábra).



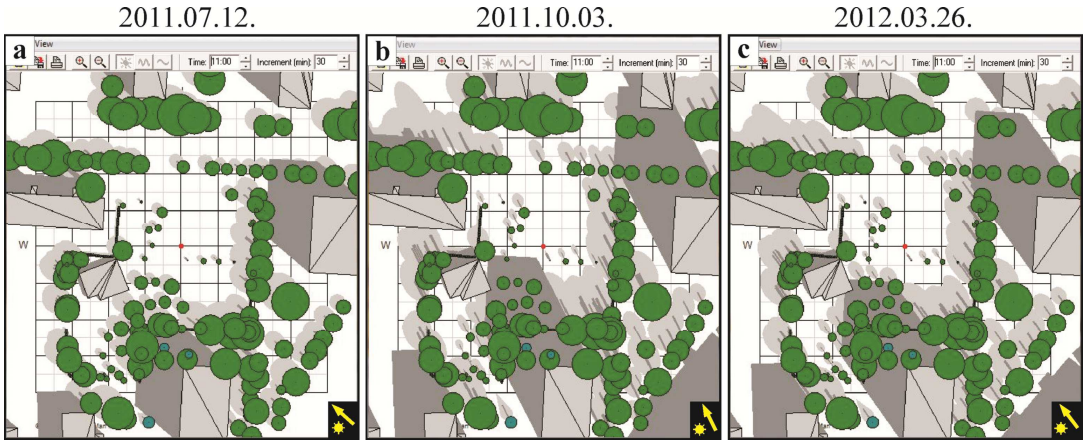
4.3.3. ábra A szélsebesség [ms^{-1}] térbeli mintázata a három vizsgált napon, 11:00 órakor

Az előzőektől eltérően a szimulált **szélsebesség** (elsősorban nyáron és tavasszal) jóval nagyobb térbeli heterogenitást mutatott (4.3.3. ábra). A vizsgált 11 órás időpontban – a bemeneti adatoknak megfelelően (3.2.2. táblázat) – a legszelesebb helyzet tavasszal alakult ki, míg a legalacsonyabb értékek ősszel fordultak elő. *2011.07.12*-én a legnagyobb szélsebesség a játszótér északi részén fejlődött ki, ahol a modelleredmények alapján 2−2,5 ms^{-1}-os szélsebesség volt jellemző, míg a középső és déli területrészeken a szél mérsékeltebb volt (1 ms^{-1}) (4.3.3.a ábra). *2011.10.03*-án az 1,3 ms^{-1} bemeneti szélsebesség (3.2.2. táblázat) a szimuláció során az épületek körül, valamint a játszótér középső, keleti és déli részein szinte minimálisra redukálódott (0,5 ms^{-1}), míg a tér északnyugati sávjában az input adatnak megfelelően alakult (4.3.3.b ábra). Tipikus tavaszi naphoz méltóan, *2012.03.26*-án a szélsebesség térbeli eloszlása nagyon változékony volt a mintaterületen (4.3.3.c ábra). Szélcsendesebb területek csak a játszótér délkeleti részén, valamint a játszóház közvetlen környezetében fordultak elő (0−1,5 ms^{-1}). A tér északi és középső területein, valamint déli leágazásában a szél sebessége meghaladta a 2 ms^{-1}-ot.



4.3.4. ábra A T_{mrt} [°C] térbeli mintázata a három vizsgált napon, 11:00 órakor

A 4.3.4. ábra a **T_{mrt}-értékek** térbeli mintázatát szemlélteti a három vizsgált napon 11:00 órakor. Mivel a korábban említettek szerint a T_{mrt} összegzi a szervezetet ért valamennyi rövid- és hosszúhullámú sugárzás hatását, szemléletes képet ad a terepi objektumok árnyékolásán túl a felszínborítási típusok és a tereptárgyak sugárzással kapcsolatos jellemzőiről (albedó, emisszivitás, lombkorona transzmisszivitása) is. Ha a szimulált eredményeket összevetjük a három vizsgált nap 4.3.5. ábrán szereplő, a RayMan modellből származó árnyékmaszkjaival (melyek az épületek és a vegetáció árnyékhatását mutatják be), jól látható, hogy a tereptárgyak árnyéka által kirajzolt területek összhangban állnak az alacsonyabb (a 4.3.4. ábrán sárgás színekkel jelölt) T_{mrt}-értékek mintázatával. A 4.3.4. és a 4.3.5. ábrák alapján az is megfigyelhető, hogy az egyes évszakokban a napsugarak eltérő beesési szögéből adódóan a tereptárgyak különböző nagyságú területeket árnyékolnak be. Itt azonban fontos megemlíteni, hogy mind a három vizsgált napon a fás vegetáció esetében a teljesen kifejlődött lombkoronára jellemző paraméterezést alkalmaztam a szimulációk során. A modell ugyanis a lombozat évszakos változásait, azaz a levelek őszi lehullását, illetve a tavaszi rügyfakadást nem képes automatikusan számításba venni, az csak a lombozatot jellemző LAD-paraméterek (az ENVI-met esetén), illetve az egyes fák lombkoronájához rendelt transzmisszivitás-értékek (a RayMan esetén) manuális módosítása révén lenne kivitelezhető. Ez azonban a kutatásom jelen fázisában nem volt célom.

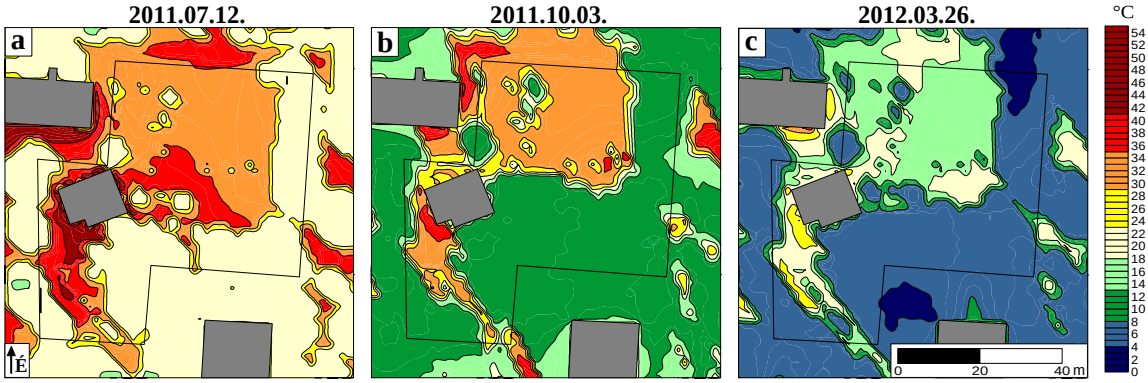


4.3.5. ábra A vizsgált játszótér 11:00 órára vonatkozó, RayMan modellből származó árnyékmaszkja a három vizsgált napon (a zöld körök a vegetációt, a halványszürke, kerettel ellátott poligonok az épületeket jelölik, a sárga nyilak a napsugarak irányát jelzik)

A 4.3.4. ábra térképei alátámasztják, hogy mindhárom napon a direkt napsugaraknak kitett területrészeken a T_{mrt} értéke jóval meghaladta az árnyékban kifejlődött megfelelőjét. A legmagasabb értékek mind napon, mind pedig az árnyékban *2011.07.12*-én fordultak elő (4.3.4.a ábra). Ekkor a magas napállásnak és az erős besugárzásnak köszönhetően a játszótér északi és középső területein a szimulált T_{mrt} túllépte az 55 °C-ot (amit csak az egyedülálló, kisebb lombkoronájú fák árnyékoló hatása tört meg), míg az épületek és a kiterjedtebb fás vegetáció árnyékában 25 °C körüli értékeket vett fel ez a paraméter. A játszóház környezetében a T_{mrt} növekedése figyelhető meg, mely az összefüggő térkővel borított járda erőteljesebb felmelegedésének, s jelentősebb hősugárzást kibocsátó képességének tulajdonítható. Az átmeneti évszakokban az alacsonyabb napmagasság következtében a játszótér viszonylag nagy területe került árnyékba, ami *2011.10.03*-án 15 °C, míg *2012.03.26*-án 10 °C körüli T_{mrt} értékeket eredményezett (4.3.4.b és 4.3.4.c ábra). A direkt sugaraknak kitett északi és középső területeken a szimulált T_{mrt} ősszel elérte az 55 °C-ot, ezzel szemben tavasszal a játszótér ugyanezen

részein mindössze 50 °C-os értékek fordultak elő. Tavasszal és ősszel a térköves burkolat hősugárzást növelő hatása ugyan megfigyelhető volt, de a nyári viszonyokhoz képest jóval kisebb területre korlátozódott.

A **PET-értékek** térbeli eloszlását (4.3.6. ábra) tanulmányozva a T_{mrt} értékeihez (4.3.5. ábra) nagyon hasonló mintázatot lehet felfedezni, s emellett szembetűnő, hogy – az emberek többsége által a mai napig fő befolyásoló paraméternek gondolt – léghőmérséklet eloszlásával nem áll szoros kapcsolatban. Leegyszerűsítve tehát a direkt napsugárzás által ért területeken magasabb, míg az árnyékban mérsékeltebb PET-értékek figyelhetők meg, ez pedig újfent alátámasztja a sugárzási környezet meghatározó szerepét az emberek szervezetét érő termikus stressz, valamint a humán hőérzet és komfortérzet alakulásában.



4.3.6. ábra A PET [°C] térbeli mintázata a három vizsgált napon, 11:00 órakor

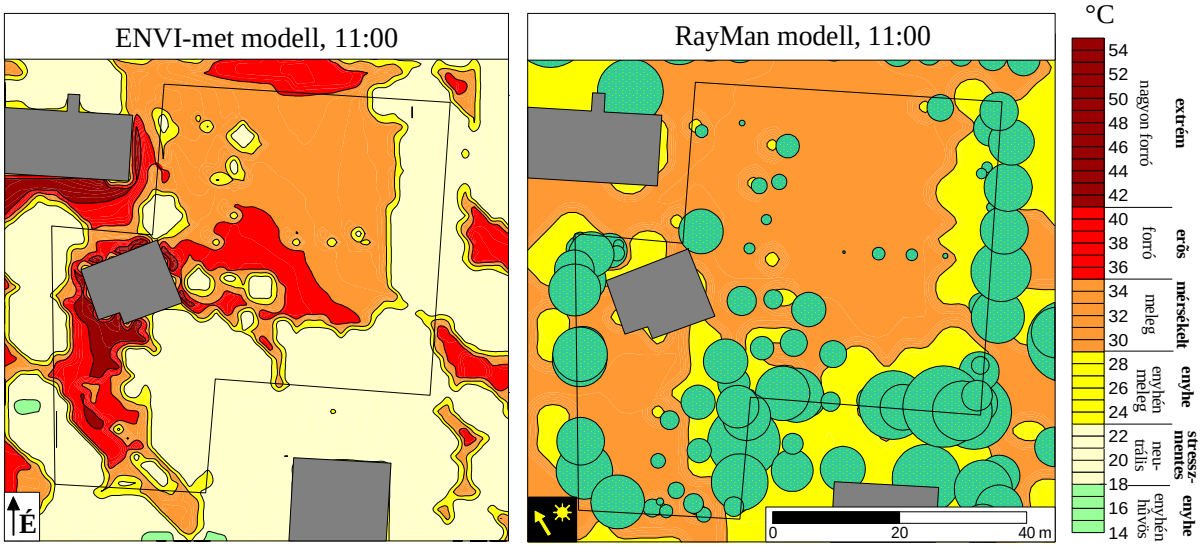
A 4.3.6. ábrán a játszótér kellemes és terhelőbb területegységeinek évszakos váltakozásai jól megfigyelhetők. A meleg nyári (*2011.07.12.*) és az enyhe őszi napon (*2011.10.03.*) a napsugaraknak kitett északi és középső területeken, valamint a térköves járda mentén elsősorban a hőterhelés okozott kellemetlenséget: a PET-értékek néhány helyen jelentősen túllépték a 35 °C-ot (4.3.6.a és 4.3.6.b ábra). Ezzel szemben a hűvös tavaszi napon (*2012.03.26.*) éppen ezek a területrészek váltak kellemesebbé (4.3.6.c ábra). Kiemelhető ezek közül is a játszóház térköves környezete, ahol a neutrális PET-kategóriába eső értékeket enyhén meghaladó izotermák is megjelentek. Míg a játszótér északi és középső, napos részein ugyanezen a napon az enyhén hűvös PET-értékek domináltak. A vegetációcsoportok és a kisebb, önálló fák árnyékában a modelleredmények nyáron kellemes, stresszmentes termikus körülményeket jelöltek (PET = 18–23 °C). Míg ugyanitt ősszel mérsékeltebb (PET = 8–13 °C), tavasszal pedig erős hideg általi terhelés (PET = 4–8 °C) volt detektálható. Ez utóbbi nap esetében a területen domináns hideg általi terhelésért a sugárzási viszonyokon kívül a magas és területileg jelentősen változékony légmozgás (4.3.3.c ábra), illetve a viszonylag alacsonyabb léghőmérséklet (4.3.1.c ábra) is felelős. A vizsgált őszi napon az izotermák kissé sajátosan alakultak: a napos meleg területek és a hűvös árnyékos részek között a stresszmentes PET-értékekkel jellemezhető zóna mindössze egy csekély sávra korlátozódott.

4.3.2. Az ENVI-met és RayMan modellből származó hőstressztérképek összevetése

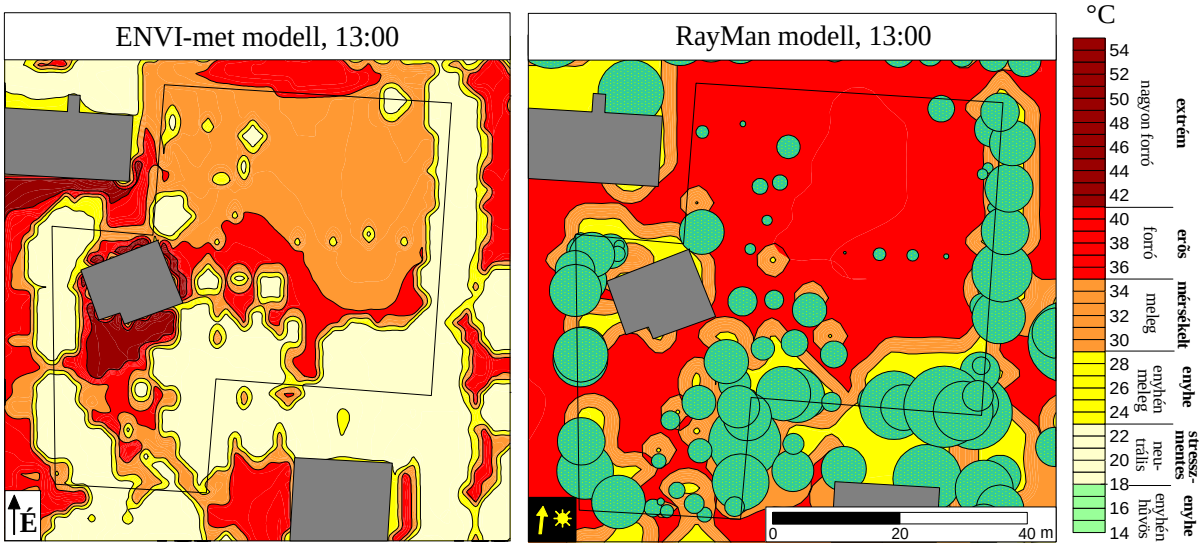
A PET-értékek térbeli eloszlásában bekövetkező napi változások illusztrálásához, valamint a két szimulációs szoftver eredményeinek összevetéséhez a tipikus hőségnap (*2011.07.12.*) kimeneteit használtam fel. A termikus viszonyok napi változékonyságának tárgyalásához azért tartottam célszerűnek a nyári eredmények bemutatását, mivel a nyári napok-

ra jellemző erősebb direkt sugárzás látványosabb termikus különbségek kifejlődéséhez vezet. A napsugaraknak kitett területek és felületek esetén ugyanis jóval erőteljesebb felmelegedés várható (azok sugárzási tulajdonságaitól függően), s ennek köszönhetően változatosabb és karakteresebb hőstresszmintázatok alakulhatnak ki, mint az átmeneti évszakokban. (A másik két nap ugyanezen térképeit a 2.5. és 2.6. mellékletek tartalmazzák.) A PET-értékek napi menetének bemutatásához mindkét modell esetében négy időpont (11:00, 13:00, 15:00 és 17:00 óra) hőstressztérképét választottam ki.

Mindkét modell eredményei alátámasztották, hogy 2011.07.12-én a játszótérre érkezők szervezetét a termikus hatások tekintetében csaknem kizárólag hőterhelés érte, amelyet csupán a vegetáció és az épületek árnyékolása mérsékelt némiképp.



4.3.7. ábra A PET-értékek térbeli mintázata 11:00 órakor az ENVI-met és a RayMan szerint
(a szürke poligonok az épületet, a zöld körök a fás vegetációt, a sárga nyíl a napsugarak irányát jelöli)



4.3.8. ábra A PET-értékek térbeli mintázata 13:00 órakor az ENVI-met és a RayMan szerint

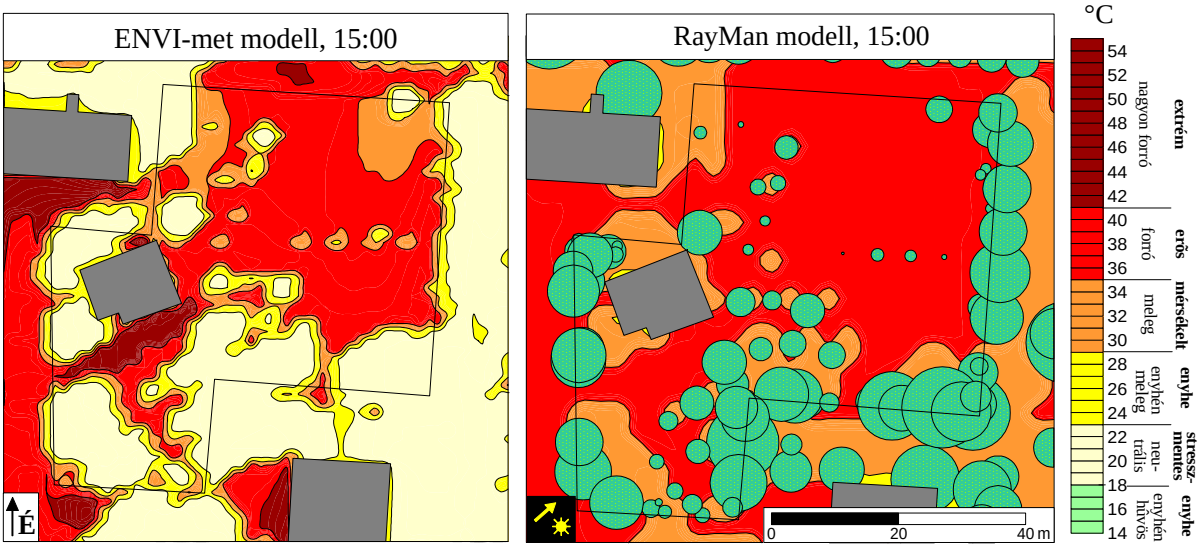
11:00 órakor a játszótér északi területein mérsékelt hőterhelésnek megfelelő PET-értékek fordultak elő (29−35 °C) mind az ENVI-met, mind pedig a RayMan modell térképei alapján (4.3.7. ábra). A viszonylag homogénnek tűnő RayMan-térképekkel szemben az ENVI-met hőstressztérképe jóval mozaikosabb. Ez utóbbin a tér középső területein, valamint a déli leágazásában az izotermák erős hőterhelést jeleztek, amelyet csak a területegységen elhelyezke-

dő külön álló, kisebb lombkoronájú fák árnyékoló hatása tört meg. Míg az ENVI-met esetében az árnyékolt részeken a PET-értékek egészen a neutrális (stresszmentes) kategóriáig csökkentek, addig a RayMan kimenetei szerint még az árnyékos részeken is megmaradt az enyhe szintű termikus stressz. Az ENVI-met modell 11:00 órás térképének további jellegzetessége, hogy a játszóház közvetlen környezetében jóval erőteljesebb hőterhelést mutatott ki: a PET-értékek itt elérték a 41 °C-ot, ami már extrém szintű hőstressznek feleltethető meg. Ennek hátterében egyrészt a térköves járda – korábban is említett – felmelegedése, s ebből kifolyólag erőteljesebb hőkisugárzása állhat, másrészt az a tény, hogy az ENVI-met hőstressztérképeire a területre szimulált szélviszonyok is rányomták a bélyegüket. Mivel a RayMan szimulációi során nem volt lehetőségem figyelembe venni sem a légáramlás területi különbségeit, sem pedig a különféle felszínborítások hatását, ezen a térképen nem mutatható ki a játszóház körüli PET-emelkedés. A mintaterület déli és keleti részén elhelyezkedő nagy és sűrű lombkoronájú fák összefüggő árnyékolást biztosítottak, ennek köszönhetően alattuk és közvetlen környezetükben sokkal kellemesebb termikus viszonyok fejlődtek ki. Az ENVI-met szerint a vegetáció egészen a neutrális értékekig (18−23 °C) mérsékelte a bioklimatikus körülményeket. Azonban ugyanitt, a RayMan kimenetei alapján továbbra is enyhe szintű terhelés, azaz 23−29 °C közötti PET-értékek voltak jellemzők. Az árnyékos területek mintázatából az is jól látható, hogy ebben az időpontban a napsugarak a délkeleti irányból érkeztek a játszótér területére.

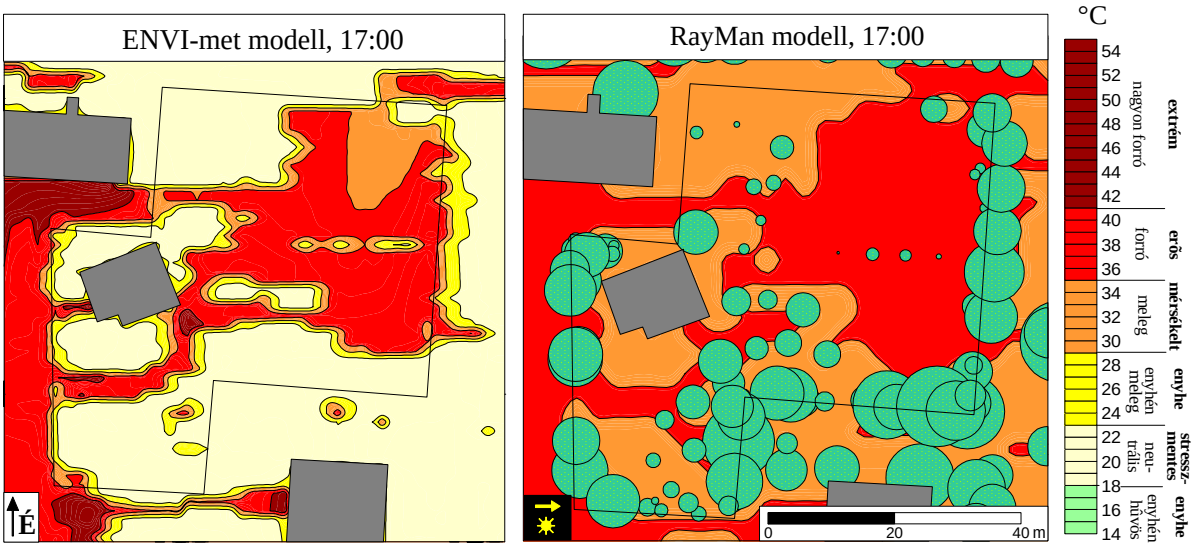
Két órával később (**13:00** órakor) az ENVI-met hőstressztérképén csak kisebb változások voltak megfigyelhetők, míg a RayMan esetében a délelőtthöz képet valamivel markánsabb eltérések jelentek meg (4.3.8. ábra). Az ENVI-met alapján a játszótér napsugaraknak kitett középső részén az erős termikus terhelést (35−41 °C) jelölő izotermák valamelyest nagyobb területet zártak közre. Emellett a nagyobb napmagasság következtében a lombkoronák komfortjavító hatása kisebb területre korlátozódott, de azok továbbra is stresszmentes (18−23 °C) körülményeket biztosítottak e területegységeknek. A RayMan modell 13:00 órás kimeneti térképén a PET értéke a játszótér csaknem teljes területén (legalábbis, amit a napsugarak közvetlenül elérhettek) meghaladta a 35 °C-ot (erős hőstressz). Az egyedülálló fák környezetében, továbbá a déli és keleti területeken elhelyezkedő facsoportok árnyékának határterületein az előbbinél kissé alacsonyabb, de még így is a mérsékelt kategóriába eső hőterhelés (29−35 °C) volt jellemző. Az ENVI-methez hasonlóan a vegetációcsoportok hatása a RayMan esetén is kisebb területen érvényesült, mint két órával korábban, továbbá az árnyékban, a 11:00 órakor kimutatott enyhe szintű fiziológiai stresszviszonyokkal (23−29 °C) szemben ekkor már mérsékelt hőterhelés (29−35 °C) is érte az ott tartózkodók szervezetét.

A termikus terhelés a vizsgált időpontok közül **15:00** órakor érte el maximumát. Mindkét modell térképe azt jelzi, hogy ekkor a PET-értékek az erős termikus stressz tartományába (35−41 °C) estek a játszótér direkt napsugaraknak kitett területein (4.3.9 ábra). A tér árnyékos részein az ENVI-met szerint továbbra is főként neutrális (18−23 °C) és kisebb területeken enyhén meleg (23−29 °C) bioklimatikus viszonyok uralkodtak. Ezzel szemben a RayMan modell már a fák árnyékában is 29−35 °C közötti PET-értékeket (mérsékelt hőstressz) mutatott ki. Az ENVI-met térképén újra kirajzolódott a térkővel fedett járda terhelő hatása (41 °C-ot meghaladó PET-értékekkel), de az izovonalak által határolt területegység alakja a délnyugati irányból érkező napsugaraknak köszönhetően kissé megnyúlt. Ugyancsak a direkt napsugárzás alacsonyabb beesési szögéből, valamint irányából adódik, hogy a játszótér délnyugati részén a beárnyékolt területek nagysága kissé megnövekedett. Ezek a részek

stresszmentes helyzetet jelentettek az ENVI-met, valamint mérsékelten terhelő viszonyokat a RayMan futtatási eredményei szerint. Ugyanakkor a keleti határterületen elhelyezkedő fasorok árnyékoló hatása már nem volt érzékelhető a játszótér körbekerített területén.



4.3.9. ábra A PET-értékek térbeli mintázata 15:00 órakor az ENVI-met és RayMan szerint



4.3.10. ábra A PET-értékek térbeli mintázata 17:00 órakor az ENVI-met és a RayMan szerint

Délután **17:00** órakor az alacsonyabb napmagasság ellenére a bioklimatikus stresszhelyzet nem enyhült számottevően a játszótér napsugaraknak kitett területein, ami a következővel indokolható. A késő délutáni órákban a látogatók szervezete a direkt napsugárzást oldalirányból kapja, vagyis testfelületük viszonylag nagy részét érinti, ami a magasabb láthatósági súlytényezőnek (hengerként értelmezett emberi testtel számolva W_i= 0,22 az oldalirányokban, 2.4.1. fejezet) köszönhetően magas T_{mrt}-értékekhez vezet (*Mayer et al.* 2008). A T_{mrt}-ről pedig már több ízben bebizonyosodott, hogy elsődleges fontosságú a bioklímaindexek alakulásában (*Mayer és Höppe* 1987, *Matzarakis et al.* 2007, *Kántor és Unger* 2011). Ennek tükrében már érthető, hogy a 4.3.10. ábra térképei szerint a játszótér középső és keleti részén, illetve egy kisebb nyugati sávjában továbbra is 35−41 °C közötti PET-értékek fordultak elő, azaz erősen terhelő termikus körülmények voltak jellemzők. Ezt a magányos fák árnyéka kissé mérsékelte ugyan, jelentőségük azonban a terület összességét tekintve nem volt számottevő. Fontos megjegyezni azonban, hogy a délutáni órák terhelő bioklimatikus viszonyait különös

figyelemmel kell kísérnünk, ugyanis a játszótér látogatottsága rendszerint 16:00 óra után, a szülők munkaideje végeztével éri el maximumát (lásd 4.4.1. fejezet). Megfigyelhető továbbá mindkét hőstressztérképen, hogy az alacsonyabb hőstressz-kategóriákba eső PET-értékeket határoló izotermák mintázata az épületek és a vegetáció elnyúlt árnyékoló hatását rajzolta ki. Ez utóbbi a nyugati irányból érkező, s alacsonyabb beesési szögű napsugaraknak köszönhető. Ennek következtében a korábbi időpontokhoz képest viszonylag nagyobb területen fordultak elő mérsékeltebb termikus körülmények, ami az ENVI-met modell alapján 18−23 °C (stresszmentes), míg a RayMan esetében jóval nagyobb, 29−35 °C közötti PET-értékeket (mérsékelt hőstressz) jelentett.

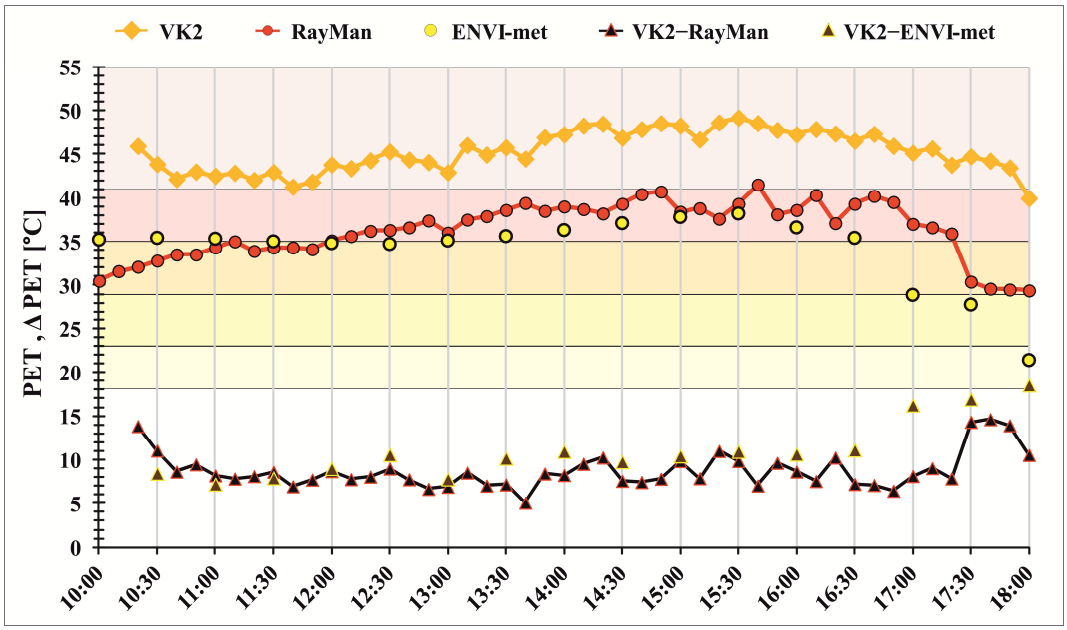
Amennyiben a két modell térképeit összehasonlítjuk, megfigyelhető, hogy az ENVI-met a PET-értékeknek mozaikosabb mintázatát rajzolta ki, a RayMan hőstressztérképei viszont térben kevésbé voltak változatosak. Ennek hátterében egyrészt az áll, hogy a szimulációk során a modellterület térbeli felbontása különböző volt: az ENVI-met esetében 1,5 m-es, míg a RayMannél 3 m-es térbeli felbontást alkalmaztam. Másrészt a PET-értékekhez felhasznált alapparaméterek (T_a, RH, v és T_{mrt}) a RayMan futtatásai során az OMSZ állomásról származtak, melyek időben ugyan folyamatosan változók voltak, térben azonban a terület minden modellpontjára ugyanazok az értékek vonatkoztak. Az ENVI-met viszont ezeket az alapparamétereket, illetve azok térbeli különbségeit is szimulálta celláról cellára, így azok térbeli változékonysága a belőlük származtatott PET-értékek mintázatán is megfigyelhető volt. Harmadrészt összefüggésbe hozható azzal is, hogy az ENVI-met a szimulációk során a különféle felszínborítások termikus hatásával is képes számolni, míg ugyanez a RayMan modellről nem mondható el.

4.3.3. A modelleredmények összevetése a helyszíni mérésekkel

Az előző fejezetben megfigyelhettük, hogy az alkalmazott két modell PET-értékeinek térbeli mintázata a sugárzási környezetből adódó hasonlóságok mellett jelentős eltéréseket is mutatott. Mivel azonban a gyakorlatban (a mobil mikrometeorológiai műszerek hiányában) nagyon sok esetben csak a modelleredményekre támaszkodhatunk, képet kell kapnunk az egyes szimulációk megbízhatóságáról is, vagyis arról, hogy milyen mértékben szolgáltatnak hasonló eredményeket a mintaterületen ténylegesen kifejlődő termikus viszonyokhoz. Ennek megválaszolása érdekében az alkalmazott két modell 2011.07.12. napjára vonatkozó eredményeit a helyszínen rögzített (VK1 és VK2) mikrometeorológiai állomások adataival vetettem össze. A modellek kimenetei közül a PET és a T_{mrt} értékei kerülnek bemutatásra, mivel csak ezekből képes mindkét modell szimulált eredményeket nyújtani. (Meg kell jegyezni, hogy ebben az esetben modellvalidálásról – a szó szoros értelmében – nem beszélhetünk, hiszen a modellek bemeneti adatai a mintaterülettől kb. 6 km-re elhelyezkedő telepített állomás adatsoraiból származtak.) A modellek összevetésénél feltétlenül szem előtt kell tartani, hogy az ENVI-met esetében a PET-értékek kiszámításához szükséges alapparaméterek eleve szimulált értékek, míg a RayMan a modellezés során a Szeged külterületén mért, valós (10 perces) meteorológiai adatokat használta fel.

A 4.3.11. ábra a **napra helyezett** (VK2) állomás adatbázisából származtatott PET-értékeket (a továbbiakban mért adatok), valamint a nekik megfelelő modellezett (RayMan és ENVI-met) paramétereket mutatja be. Az ábra alapján megállapítható, hogy bár a mért (VK2) és modellezett értékek tendenciáiban fellelhetők hasonlóságok, mind az ENVI-met, mind pe-

dig a RayMan jelentősen alulbecsülte a játszótér napos területein kifejlődött valós termikus viszonyokat. A mért adatok szerint a PET értéke már délelőtt 10:00 órától meghaladta a 41 °C-ot, ami extrém szintű hőstressznek (illetve nagyon forró hőérzetnek) feleltethető meg. Ezzel szemben a modellek délelőttre csupán mérsékelt hőstresszt jelentő (meleg) termikus viszonyokat (29−35 °C) adtak eredményül, s a szimulált PET-értékek csak a délutáni órákban váltottak erősen terhelő (forró) kategóriába (35−41 °C). A nap végén mindkét modell esetében megfigyelhető a PET-értékek drasztikus visszaesése. Ez azzal magyarázható, hogy az ENVI-met és a RayMan a tereptárgyakat egyszerű alakzatokkal közelíti: a RayMan a fák lombkoronáját egy ellipszoiddal (vagy a fenyőféléknél kúppal), az épületeket sokszög alapú hasábokkal ábrázolja, míg az ENVI-met a raszteres kezelőfelületből adódóan minden objektumot téglatesttel ír le. Ezek – az eredetitől néha jelentősen eltérő alakú és jóval szabályosabb – tereptárgyak pedig korábban takarták ki a területre érkező napsugarakat, mint ahogy az a valóságban megtörtént.

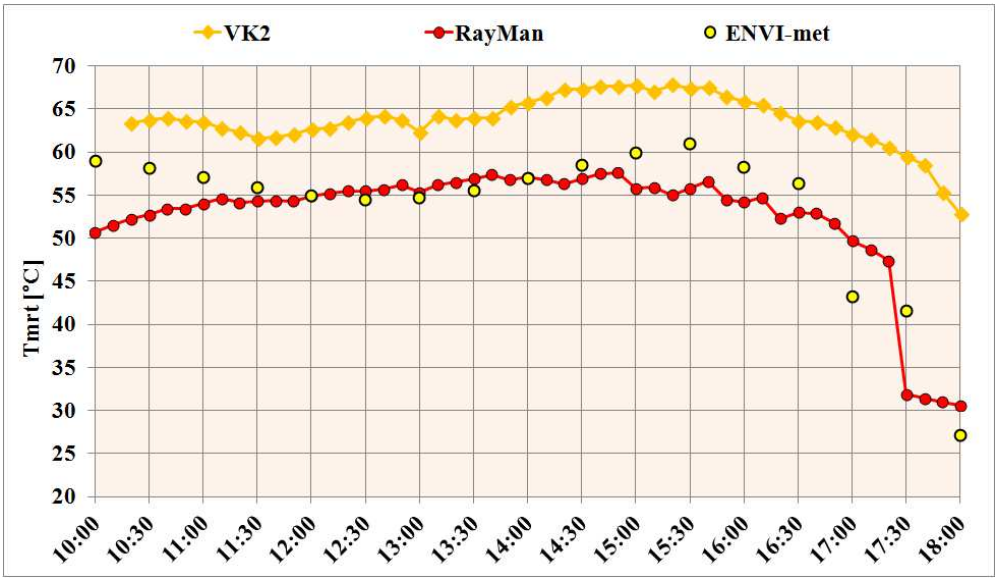


4.3.11. ábra A napos mérőpont (VK2) és a modellek (RayMan, ENVI-met) megfelelő PET-értékei, valamint azok eltérései 2011.07.12-én (a grafikont a PET-kategóriák szerint színeztem)

A 4.3.11. ábrán a háromszög alakú markerek a helyszínen rögzített (VK2) és a modellezett PET-adatpárok eltéréseit jelölik. Ez alapján a RayMan valamivel pontosabb közelítést adott a nyári nap folyamán, azonban az eltérések − a reggeli és esti órákat leszámítva − még így is 5−10 °C között mozogtak. Az ENVI-met esetében a különbségértékek a délutáni órákban szinte végig 10 °C felett voltak, s a nap végére még a 18 °C-ot is elérték. A VK2 és RayMan adatok átlagos eltérése 8,8 °C-nak, míg ugyanez az ENVI-met esetében 11,0 °C-nak adódott (4.3.1. táblázat). Ez tehát azt jelenti, hogy ha egy általános képet szeretnék adni a modellek megbízhatóságáról egy forró nyári nap esetén, akkor azt mondhatjuk, hogy a napnak kitett területrészeken a RayMan modell kimeneteit közel 9 °C-kal, míg az ENVI-met eredményeit átlagosan 11 °C-kal kell megnövelnünk ahhoz, hogy a valós termikus viszonyokhoz közeli állapotot érjük el.

Ha megvizsgáljuk a helyszíni mérésekből számított, valamint a RayMan és az ENVI-met által szimulált T_{mrt}-értékeket (4.3.12. ábra), akkor fény derül a PET mintázatában mutatkozó kölönbségek elsődleges okára. A T_{mrt} ugyanis a PET-hez nagyon hasonló trendet mutat, azaz

mind az ENVI-met, mind pedig a RayMan kimenetei alatta maradnak a helyszínen mért sugárzási viszonyoknak. Miután a hőérzet szempontjából a sugárzási környezet a legmeghatározóbb, ezért nem meglepő a PET és a T_{mrt} tendenciáinak hasonlósága.



4.3.12. ábra A napos mérőpont (VK2) és a modellek (RayMan, ENVI-met) megfelelő T_{mrt}-értékei 2011.07.12-én

A modellek pontatlanságának hátterében a következők állhatnak. Az ENVI-met a szimuláció során a bemeneti adatokból egy, az adott dátumra és földrajzi helyzetre leginkább jellemző időjárási helyzetet állított elő, azaz a PET-értékek kiszámításához minden alapparamétert (T_a, RH, v, T_{mrt}) szimulált. Hangsúlyozni kell, hogy ezek az adatok a felszínborítás és a tereptárgyak mikroklíma-módosító hatásait már magukban foglalták, azonban ennek ellenére jóval alatta maradtak a mért értékeknek. A RayMan viszont csak a sugárzási fluxosokat modellezte, amihez a Szeged külterületén mért valós, OMSZ adatsorokból indult ki, majd ezek alapján, és a tereptárgyak figyelembevételével modellezte a sugárzási környezetet, és ebből a PET-et. Az alacsonyabb T_{mrt}- és így a PET-értékek oka egyrészt az, hogy a RayMan minden 10. percben egy alacsony füves területről (OMSZ állomás) származó alapadatcsomagból indult ki, s így például a mintaterület aprókavicsos felszínborításának melegítő hatását nem szimulálta. Másrészt előidézhette az a technikai pontatlanság is, miszerint a modell – a mérési technika hat irányával szemben – mindössze két hemiszférára osztja a sugárzási teret (1,1 m magasan elképzelt választósíkkal), s így csak az alulról és a felülről érkező sugárzási fluxusokat veszi figyelembe. Az oldalirányból (azaz a tereptárgyak felől) érkező sugárzási fluxusokat pedig mintegy integrálja az alsó és felső térfélbe (*Matzarakis et al.* 2007). A mobil VK állomásokra felszerelt forgatható sugárzásmérőkön alapuló mérési technika azonban sokkal nagyobb gondot fordít ezekre az oldalsó fluxusokra, melyeket a terepi objektumok a sugárzási tulajdonságaiktól függően elnyelnek, visszavernek vagy átbocsátanak, továbbá kibocsátanak. A RayMan modell paraméterezésével (pl. a fák transzmisszivitásának vagy a felszínek albedójának és emisszivitásának módosításával) a mért és modellezett értékek ugyan közelíthetők, de a különböző felszínborításból adódó eltérések miatt az adatok teljes egyezésére semmiképp sem számíthatunk.

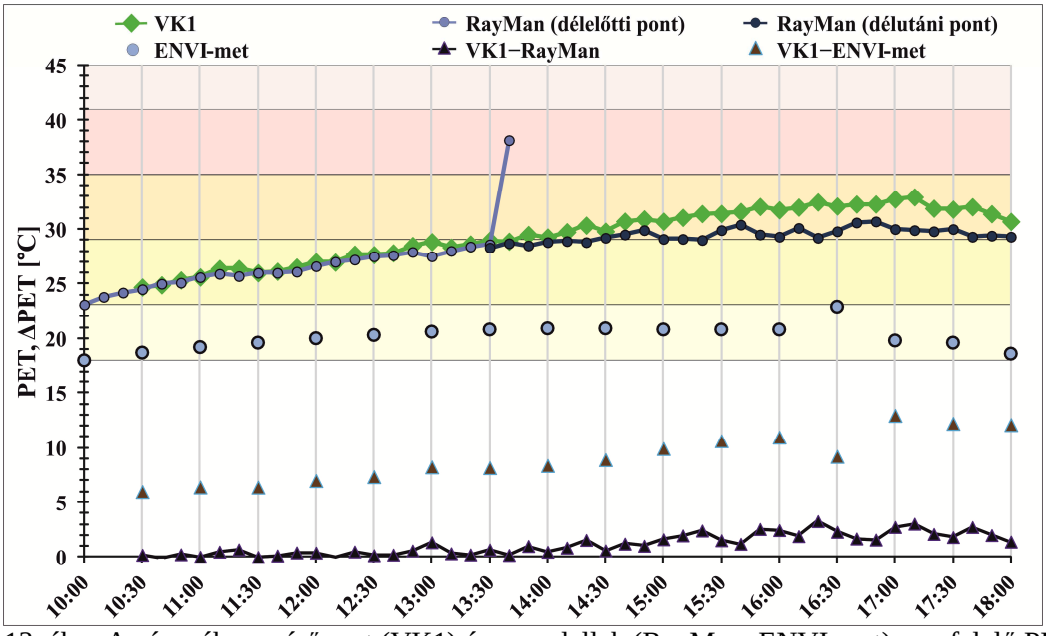
A VK2−RayMan és a VK2−ENVI-met adatpárok kapcsolatát statisztikai módszerekkel is értékeltem, mellyel arra kerestem a választ, hogy a mért és a modellezett PET-értékek eltérése

szignifikáns-e. Mivel az adatsorok eloszlásai közelítettek a normál eloszláshoz, s a minták szórásai is összevethetők voltak, ezért elvéghezhető volt a páros t-próba. A próbát a statisztikában általánosan elfogadott 5%-os szignifikancia szint mellett végeztem el. (Mivel a próba adatpárokkal számol, a statisztikai vizsgálatba értelemszerűen csak azok az értékek kerültek bele, ahol az összetartozó párok egyik tagja sem hiányzott.) A 4.3.1. táblázat szerint a VK2−RayMan adatpárok esetében a t-próba szignifikanciaszintje az elfogadott 5%-os határ alatt maradt (p = 0,000), ezért a két statisztikai minta eltérése szignifikánsnak adódott. Ugyanez volt tapasztalható a VK2 és ENVI-met adatpárok között is, azaz a p értéke szintén 5% alatt volt (p = 0,000), így a modelleredmények és a mért adatok közötti eltérés itt is szignifikáns volt.

4.3.1. táblázat A páros t-próba eredményei a napos terület adatai alapján

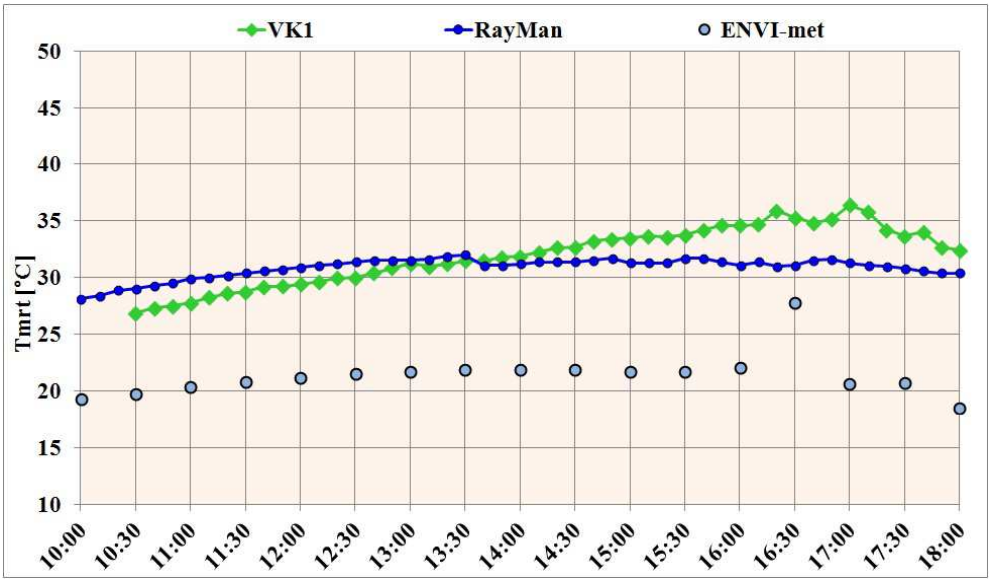
	Párosított eltérések							
	Átlagos eltérés [°C]	Szórás [°C]	Standard hiba [°C]	Szignifikanciaintervallum értékei (95%) [°C]		t-érték	Szabadságfok	p-érték
				Alsó	Felső			
VK2 – RayMan (napon)	**8,7896**	**2,0687**	**0,3017**	**8,1822**	**9,3970**	**29,129**	**46**	**0,000**
VK2 – ENVI-met (napon)	**11,0408**	**3,3348**	**0,8337**	**9,2638**	**12,8178**	**13,243**	**15**	**0,000**

A játszótér **árnyékos** területén az ENVI-met és a RayMan modell jelentősen eltérően viselkedett. A 4.3.13. ábrán jól látható, hogy az ENVI-met PET-értékei továbbra is jelentősen alatta maradtak az árnyékos VK1 mérőállomás kimeneteiből származtatott értékeknek. Vagyis az ENVI-met által az árnyékos területrészekre szimulált termikus viszonyok hűvösebbnek bizonyultak, mint a valóságban. A bioklimatikus terhelés mértékét tekintve míg az ENVI-met az árnyékos területeket stresszmentesnek értékelte, addig a mért értékek a délelőtt folyamán az enyhe, míg a délutáni órákban a mérsékelt hőstressz kategóriájába estek. A VK1 és az ENVI-met adatpárok különbsége (a 4.3.13. ábrán barna háromszögekkel jelölve) a teljes nap folyamán meghaladta az 5 °C-ot, sőt a késő délutáni órákban a 12 °C-ot is elérte. A mérésből származó és az ENVI-mettel modellezett PET-értékek átlagos eltérése 9,1 °C-nak adódott (4.3.2. táblázat), ami így közel 2 °C-kal alacsonyabb volt, mint a napon.



4.3.13. ábra Az árnyékos mérőpont (VK1) és a modellek (RayMan, ENVI-met) megfelelő PET-értékei, valamint azok eltérései 2011.07.12-én

Az ENVI-mettel ellentétben a RayMan a napsugaraktól védett területeken jóval pontosabb közelítést nyújtott. A délelőtti órákban a mérésből és a modellezésből származó PET-értékek szinte teljesen megegyeztek, ami jól látható a 4.3.13. ábrán a VK1 és RayMan görbéinek futásából. Délutánra az árnyékos területre jellemző PET-értékek átlépték a mérsékelt hőstressz kategóriáinak határértékét. A nap folyamán jelentkező enyhe melegedő tendencia egyrészt a normális nappali hőmérséklet-emelkedés következménye, másrészt azzal is indokolható, hogy a nap folyamán az árnyékot biztosító fák lombkoronája (a Napból érkező rövidhullámú sugárzás elnyelése révén) egyre melegebbé, s így egyre hatékonyabb hosszúhullámú sugárzásforrássá vált. A felmelegedett lombkorona irányából pedig egyre több sugárzási energia jutott az alatta elhelyezett árnyékos mérőműszerre is. A RayMan szimulált értékeiben azonban ez nem jelenik meg, mivel a modell minden esetben az OMSZ adatbázisból indult ki, nem pedig a helyszínen mért értékekből. Ráadásul a lombkorona napi felmelegedését a modell nem képes számításba venni. A RayMan pontossága a VK1−RayMan különbségértékekkel szemléltethető (a 4.3.13. ábrán kék háromszögekkel jelölve). Ez alapján megállapítható, hogy a RayMan által szimulált PET-értékek eltérése a nap folyamán nagyon csekély volt, és maximális értéke nem érte el a 3,5 °C-ot. Ha az adatpárok átlagos különbségét tekintjük, akkor a modellezett értékek mindössze 1,2 °C-kal maradtak alatta a helyszíni mérésekből származó megfelelőjüknek (4.3.2. táblázat).



4.3.14. ábra Az árnyékos mérőpont (VK1) és a modellek (RayMan, ENVI-met) megfelelő T_{mrt}-értékei 2011.07.12-én

Érdemes ismét megfigyelni a két modell által szimulált sugárzási viszonyok jellegzetességeit (4.3.14. ábra), hiszen ezek segítenek megérteni a PET-értékekben bekövetkezett változásokat. A ENVI-met modell bár számol a tereptárgyak és az aprókavicsos felszínborítás sugárzásmódosító hatásával, az árnyékos területeken is jelentősen alulbecsülte a T_{mrt}-t és így a PET-et is. A RayMan azonban a T_{mrt} értékét sokkal pontosabban közelítette. Bár ebben az esetben is az OMSZ állomás füves területeiről származtak a modell bemeneti adatai, a felszínborítás sugárzásmódosító hatása a fák lombkoronája alatt nem tudott érvényre jutni, így a mért és a modellezett értékek is közelebb kerültek egymáshoz.

Az árnyékos területek modellezett és mérési adatain elvégzett t-próbák (amit az adatok szintén közel normál eloszlása és összemérhető szórása tett lehetővé) a napos területhez ha-

sonló eredményekhez vezettek (4.3.2. táblázat). Mivel külön-külön mind a VK1−RayMan, mind pedig a VK1−ENVI-met esetében is az 5%-os határérték alatt maradt a t-próbák szignifikanciaszintje (p = 0,000 mind a két esetben), ezért bármelyik modellt használjuk, statisztikailag szignifikánsan eltérőnek tekinthetők a mérésből és a modellezési eljárásból származó PET-értékek.

4.3.2. táblázat A páros t-próba eredményei az árnyékos terület adatai alapján

	Párosított eltérések					t-érték	Szabadságfok	p-érték
	Átlagos eltérés [°C]	Szórás [°C]	Standard hiba [°C]	Szignifikanciaintervallum értékei (95%) [°C]				
				Alsó	Felső			
VK1 – RayMan (árnyékban)	**1,1603**	**0,9515**	**0,1403**	**0,8778**	**1,4429**	**8,271**	**45**	**0,000**
VK1 – ENVI-met (árnyékban)	**9,0502**	**2,2152**	**0,5538**	**7,8698**	**10,2306**	**16,342**	**15**	**0,000**

Összességében megállapítható, hogy az ENVI-met annak ellenére, hogy számításba veszi a terepi objektumok és a felszínborítás mikroklíma-módosító hatását, mind az árnyékos, mind pedig a napos területeken jelentősen alulbecsülte a T_{mrt}, és a így a PET értékét. Ez számszerűen az árnyékban átlagosan 9,1 °C-os, míg a napos területeken 11 °C-os különbséget jelentett. A viszonylag nagy eltérés annak tulajdonítható, hogy az ENVI-met a PET kiszámításához szükséges valamennyi alapparamétert szimulálta. A RayMan azonban a terület árnyékos pontjain viszonylag nagy pontossággal visszaadta a valós körülményeknek megfelelelő értékeket, s itt átlagosan mindössze 1,2 °C-kal maradt alatta mért megfelelőjének. Ezzel szemben a napon az ENVI-methez hasonlóan viselkedett, és átlagosan 8,8 °C-kal eredményezett alacsonyabb értékeket. Ennek a tendenciának az egyik legkézenfekvőbb magyarázata, hogy a fák árnyékban, a direkt napsugárzás hiányában a felszínborítás egyrészt nem vert vissza olyan sok rövidhullámú sugárzást, másrészt nem tudott annyira felmelegedni, hogy a T_{mrt}-re s így a PET-re jelentős hatást gyakorló, alulról érkező (visszavert rövidhullámú és kibocsátott hosszúhullámú) sugárzási fluxusokat számottevően megnövelje. Éppen ezért a RayMan modell árnyékos területre vonatkozó eredményei közelebb kerülhettek a valós értékekhez. Ezzel szemben a napon a relatíve magas albedójú (és felmelegedésre hajlamos) burkolat hatása számottevő volt, s mivel ezzel a RayMan nem képes kalkulálni, a mért és modellezett eredmények sokkal távolabb kerültek egymástól. Azaz abban az esetben, ha a RayMan jó közelítést tudna adni nem csak a terepi objektumok, hanem a felszínborítás sugárzás- és így komfortmódosító hatásáról is, akkor feltehetőleg kielégítő eredményekkel tudna szolgálni a tér teljes területére vonatkozóan.

4.4. A VIZSGÁLT JÁTSZÓTÉR LÁTOGATOTTSÁGA A MEGFIGYELT ADATOK ALAPJÁN

A Retek utcai játszótér mikro-bioklimatikus tulajdonságainak ismertetése után a térre érkezők területhasználatában és viselkedésében megjelenő jellegzetességeket tárgyalom a termikus körülmények tükrében. Az összefüggések feltárásához a vizsgált napokon, 10:00 és 18:00 óra közé eső helyszíni megfigyelések adatbázisait használtam fel, melyek kizárólag a játszótér körbekerített területének szabadtéri részén (s nem a játszóházban) tartózkodók felmérésén alapultak.

4.4.1. A játszótér igénybevételének időbeli mintázata

A játszótér igénybevételének időbeli alakulását, és az abban bekövetkező évszakos eltéréseket a 30 percenként rögzített pillanatnyi látogatottság adatain keresztül mutatom be. Mivel a

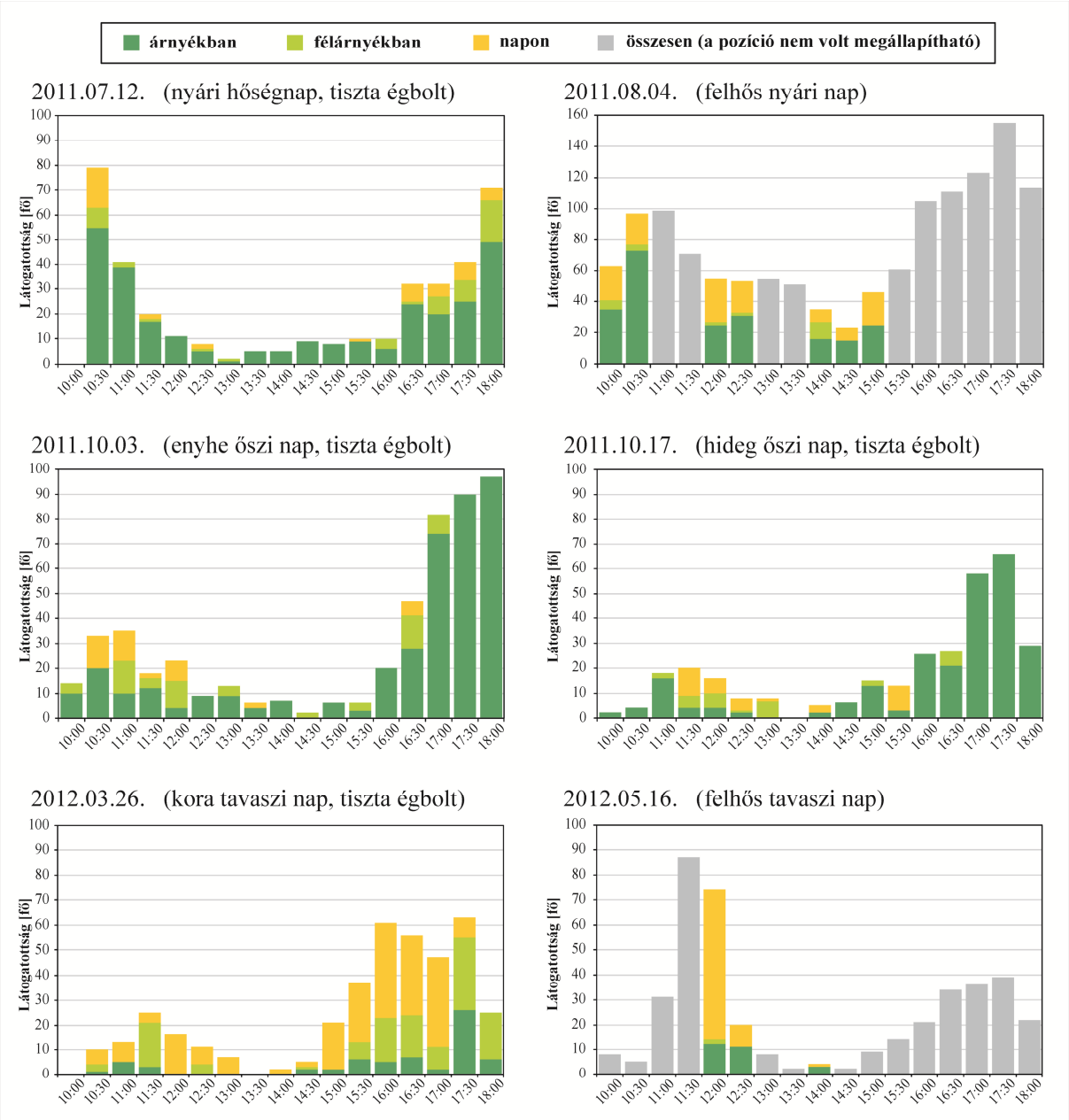
vizsgálataimhoz azt a hat (különböző időjárási háttérkörülményekkel rendelkező) napot választottam ki, melyeknek mikro-bioklimatikus sajátosságait a 4.2.3. fejezetben már ismertettem, ezért a 4.4.1. ábra alapján nem csak a látogatók száma és napsugaraknak való kitettsége, hanem (a 4.2.4. ábrával együtt) a termikus tényezők területhasználatot formáló hatása is értékelhető. Fontos azonban megjegyezni, hogy a látogatottság időbeli alakulására a mikro-bioklimatikus adottságokon túl a térre érkezők jellegzetes napi ritmusa (például az ebédidő vagy a munkaidő vége) is jelentősen rányomta a bélyegét.

2011.07.12-én a játszótér területhasználatának időbeli mintázatában egyértelműen felfedezhető a nap folyamán kifejlődött erőteljes hőterhelés hatása. A tér látogatottságára a reggeli és esti csúcs közötti drasztikus visszaesés, s az árnyékos területek nagyobb arányú igénybevétele volt jellemző (4.4.1. ábra). Bár a kora délutáni órákban a térre érkezők közül senki sem tartózkodott a napon, a délelőtti és a késő délutáni órákban a napon lévő játszóeszközök használatával viszonylag sokan tették ki magukat az extrém szintű terhelésnek (4.2.4. ábra).

A felhős nyári napon, **2011.08.04**-én sokkal kellemesebb termikus viszonyok alakultak ki (4.2.4. ábra), amit a magas látogatószám is bizonyított (4.4.1. ábra). Míg a területhasználók maximális száma a többi vizsgált napon 100 fő alatt maradt, addig ezen a napon a pillanatnyi látogatottság több ízben is meghaladta a 100 főt. Ez utóbbi – a mérsékeltebb hőterhelés mellett – azonban annak is betudható volt, hogy az átmeneti évszakokhoz képest nyáron (feltehetőleg a nyári szünet miatt) az emberek jobban ráérnek a szabadban való tartózkodásra, így a szülők és gyermekeik sokkal több időt tölthetnek együtt a játszótéren. Az ég borultságának köszönhetően a látogatók a nap legnagyobb részében védve voltak a direkt napsugaraktól, azonban a délelőtti és kora délutáni órákban (amikor a felhők mögül előbukkant a Nap) az erős és olykor extrém szintű hőterhelés (4.2.4. ábra) ellenére viszonylag sokan tartózkodtak a napos területeken. Megjegyzendő azonban, hogy a 4.4.1. ábra a felmérés pillanatának viszonyait tükrözi, s tekintetbe véve a gyermekek aktív helyváltoztatását, az erős szintű hőterhelésnek való kitettség általában nem tartott túl sokáig egy-egy gyermek esetében.

2011.10.03-án a térre érkezők nagyobb arányban választották a játszótér árnyékos (félárnyékos) területeit (4.4.1. ábra), ugyanis e kora őszi napon a napfénynek kitett részeken továbbra is melegebb, terhelőbb termikus viszonyok voltak jellemzők (4.2.4. ábra). Az árnyékos területek nagyobb látogatottsága a komfortosabb körülmények mellett az ún. termikus allieszt́ezia elnevezésű humán reakcióval is összefügg, miszerint a melegebb és terhelőbb nyári napok után az emberek nem vágyakoznak a napfény és a meleg után (nem úgy, mint tavasszal), ezért ősszel sem teszik ki szervezetüket a direkt napsugárzásnak (*Spagnolo és de Dear* 2003, *Kántor* 2012). A játszótér látogatóinak száma 16:30 után élesen emelkedni kezdett, ami azonban nem csupán a termikus viszonyok kellemesebbé válásával függött össze, hanem nagyobb valószínűséggel annak volt tulajdonítható, hogy a gyermekeket kísérő szülők csak a munkaidejük lejárta után tudták kihozni gyermeküket a játszótérre. Ekkor azonban az alacsonyabb napmagasság miatt már csak árnyékos területek közül választhattak a látogatók.

2011.10.17-én az időjárás hűvösebbé válásával (4.2.4. ábra) a játszótér látogatóinak száma jelentősen megfogyatkozott: a nap nagyobb részében az egyes fél órákban 20 fő alatt maradt, s csak az esti órákban − akkor is csak egy rövid időre − lépte túl a 60 főt (4.4.1. ábra). A kora őszi naphoz képest kissé megnövekedett a napon lévők aránya, eltekintve az esti óráktól, amikor már csak kizárólag árnyékos területrészek voltak a játszótéren. Ilyen időjárási helyzet mellett ugyanis a napon volt a legkellemesebb, ahol a látogatók kihasználhatták a direkt napsugárzás melegítő hatását.



4.4.1. ábra A játszótér igénybevételének napi alakulása a látogatók napfénynek való kitettsége szerint

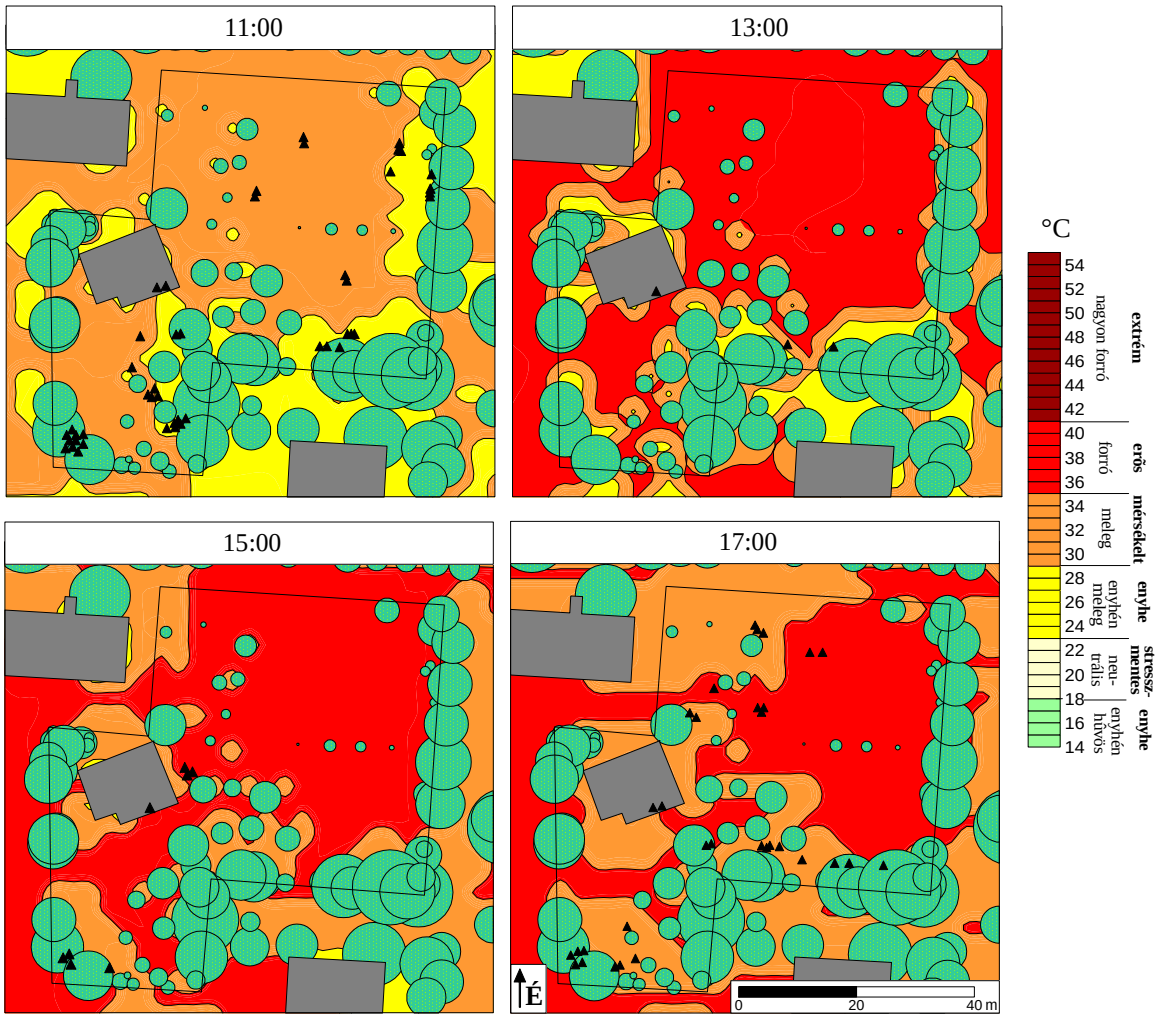
A vizsgált kora tavaszi napon, **2012.03.26**-án viszonylag sokan tartózkodtak a játszótér területén (4.4.1. ábra) annak ellenére, hogy a nap bizonyos időszakában (mind árnyékban, mind pedig napon) a termikus viszonyok még hűvösek voltak (4.2.4. ábra). Kellemesebb körülmények ezen a napon a tér napsugaraknak kitett területein fordultak elő, s ezzel összhangban a látogatók több mint fele tette ki szervezetét a direkt napsugaraknak. Ez utóbbi azzal is kapcsolatban állhat, hogy a borongós, téli napok után az emberek vágyódnak a napsütés után, így (akár terhelőbb körülmények mellett is) szívesebben választják a napfürdőzést az árnyékba húzódás helyett (*Spagnolo és de Dear* 2003, *Kántor* 2012).

Ez volt megfigyelhető **2012.05.16**-án is, amikor mindössze három alkalommal volt értékelhető a látogatók napfénynek való kitettsége, azonban ezekben az időpontokban a napon lévők aránya került túlsúlyba. A nap nagy részében a látogatottság mérsékeltebb volt, az egyes félórákban a térre érkezők száma nem lépte túl a 40 főt. Kivételt csak a 11:30 és 12:00 közötti időszak jelentett, amikor egy nagyobb óvodás csoport érkezett a játszótérre.

4.4.2. A területhasználat térbeli mintázata a termikus viszonyok tükrében

A területhasználat térbeli mintázatában bekövetkező napi változások reprezentálásához a pillanatnyi látogatottságot ábrázoló területhasználati térképeket a RayMan modell – megfelelő időponthoz tartozó – hőstressztérképeire illesztettem. Ennek következtében nem csak a látogatottság napi menetének jellegzetességei, hanem a területre érkezők termikus viszonyokra adott egyéni reakciói is értékelhetővé váltak. Itt azonban fontos megemlíteni, hogy a játszótéren tartózkodók elhelyezkedésére az aktuális termikus körülményeken túl a különböző típusú játszótéri eszközök eltérő preferáltsága is jelentős befolyással volt.

A két vizsgált modell eredményei közül választásom azért esett a RayMan kimeneteire, mivel a 4.3.4. fejezetben tárgyaltak szerint ez a modell valamivel jobb közelítéssel szolgált a területen ténylegesen uralkodó termikus viszonyokhoz. Eredményeimet a korábban már részletesen értékelt hőségnap (2011.07.12.) példáján mutatom be. (A vizsgált őszi és tavaszi nap ugyanezen térképeit a 2.5. és 2.6. mellékletek tartalmazzák.)

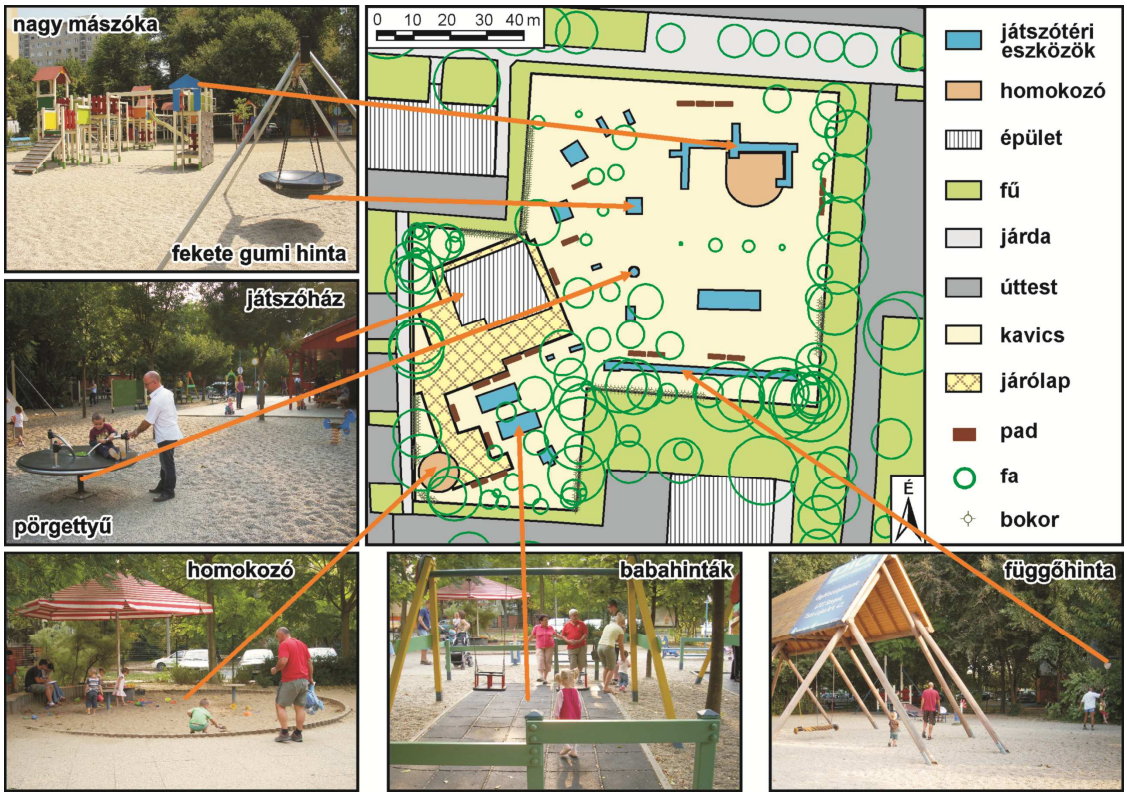


4.4.2. ábra A látogatók területi eloszlása 2011.07.12. négy napszakában az aktuális termikus viszonyok térbeli mintázatának feltüntetésével (a térképek a RayMan modell futtatásaiból származnak)

A vizsgált délelőtti időpontban (**11:00 órakor**) a melegebb időjárási helyzet ellenére viszonylag sokan tartózkodtak a játszótér területén (4.4.2. ábra). A térre érkezők elsősorban a fák árnyékában elhelyezkedő játszótéri eszközöket, illetve az ott lévő padokat vették igénybe, ahol a termikus terhelés mérsékeltebb volt. Ekkor mindössze csak néhány gyermek választotta

a tér napnak kitett − éppen ezért termikus szempontból jóval kellemetlenebb − részein lévő játékokat. Mivel a délelőtti órákban főként a kisebb gyermekeket hozták ki a szülők a játszótérre, ezért arányaiban sokan időztek a terület délnyugati leágazásában, ahol leginkább a fiatalabb gyermekek igényeit kielégítő játszótéri eszközök (pl. homokozók, babahinták, kisebb mászókák) találhatók (4.4.3. ábra).

Kora délutánra (**13:00 órakor**) a tér szinte teljesen kiürült, ami egyrészt a szélsőségessé váló bioklimatikus terhelésnek, másrészt az ebédidő utáni szieszstának tudható be. A játszótér kültéri részén ekkor mindössze hárman tartózkodtak, akik a fák által árnyékolt déli területekre, és a játszóház árnyékolóval ellátott terasza alá húzódtak (4.4.2 ábra).



4.4.3. ábra Néhány jelentősebb játszótéri eszköz elhelyezkedése

15:00 órakor, mivel az erőteljes termikus terhelés továbbra sem mérséklődött számottevően, a területen tartózkodók száma sem növekedett nagyobb mértékben. A játszótérre érkezők ekkor a tér déli részén található homokozó környezetében tartózkodtak, amelyet az ott lévő idősebb fák kiterjedt lombkoronája védett a direkt napsütéstől. Ugyanakkor egy-két látogató, látszólag nem törődve a jelentős termikus terheléssel, a játszóház melletti benapozott területen helyezkedett el.

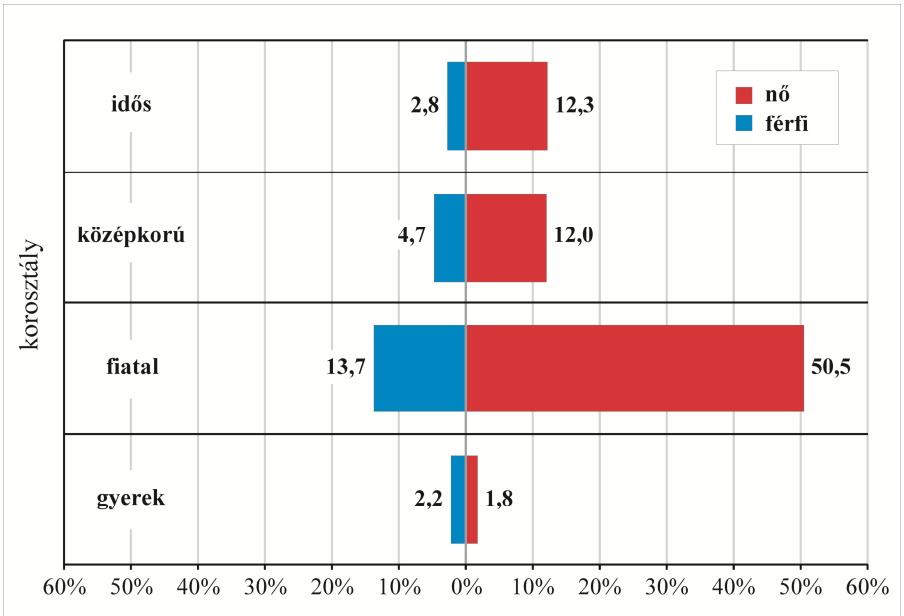
A játszótér zárásához közel (**17:00 órakor**) az előzőekkel ellentétben meglehetősen sok látogatója volt a területnek (4.4.2. ábra). A térre érkezők azonban szinte kizárólag az árnyékos területeket választottál tartózkodási helyül, ahol a benapozott területrészekhez képest kissé gyengült a termikus terhelés. A legtöbben a játszótér déli határterületén elhelyezkedő fasorok árnyékában időztek, ahol egy kedvelt függőhinta található. Emellett viszonylag sokan helyezkedtek el a déli, jelentősen árnyékolt homokozó környezetében (4.4.3. ábra).

A területhasználat feltérképezésének ilyen vagy ehhez hasonló eljárásánál mindenképpen érdemes megemlíteni, hogy ez a módszer egyrészt könnyebben kivitelezhető, másrészt reálisabb képet nyújt olyan közterületeken (pl. városi tereken, kisebb parkokban), ahol a látogatók

több időt töltenek egy helyben (*Kántor és Unger* 2010, *Kántor* 2012). Ezzel szemben a játszótereken, ahol a gyermekek folyamatosan rohangálnak, csak térfigyelő kamerák felvételeinek elemzésével lehetne teljes mértékben megfelelő képet kapni a területhasználatról, illetve arról, hogy az egyes személyek mennyi időt töltenek el egyhuzamban a játszótéren, és milyen gyakran váltogatják pozíciójukat a napos és árnyékos területrészek közt. Ráadásul a játszóterek esetében figyelembe kell azt is venni, hogy a gyermekeket a termikus terheléssel szemben sokkal inkább motiválják a terület izgalmasabb játszóeszközei, ezért ők nem feltétlenül a logikusnak várt humán reakciókat követik. Azaz például annak ellenére, hogy a forróságban teljesen felhevül a testük, a játék örömét nem szakítják meg az árnyékba húzódással.

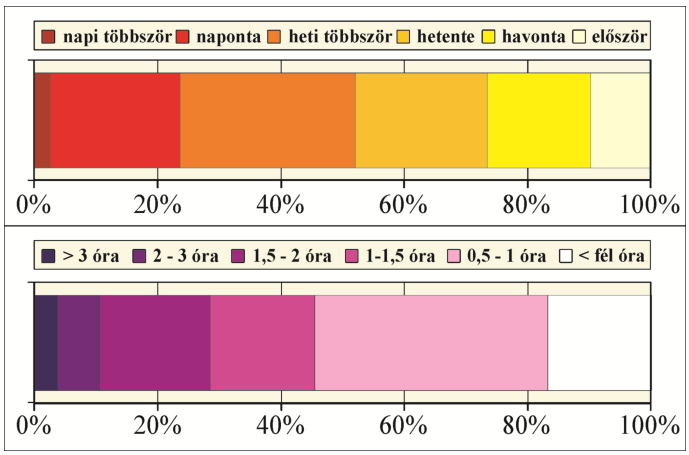
4.5. A RETEK UTCAI JÁTSZÓTÉR SZUBJEKTÍV ÉRTÉKELÉSE

Ebben a fejezetben a vizsgált játszótéren végzett kérdőíves felmérések adatbázisát felhasználva arra kerestem a választ, hogy a látogatókban milyen általános kép alakult ki a területtel kapcsolatban, mennyire elégedettek annak kialakításával, és milyen lehetséges területátalakításokat fogadnának örömmel. A hat nyári, hat őszi és öt tavaszi vizsgálati nap során lefolytatott interjúk közel azonos arányban oszlottak meg az egyes évszakokban, és összesen 824 db kitöltött kérdőívet eredményeztek.



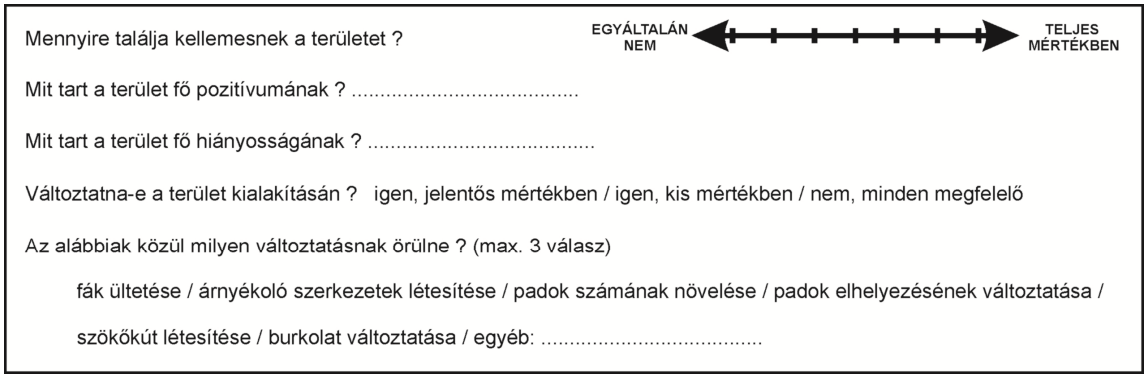
4.5.1. ábra A megkérdezettek kor és nem szerinti megoszlása

A véletlenszerűen kiválasztott interjúalanyok 76,6%-a nő volt, ami utalhat a nők gyermeknevelésben betöltött kiemelkedő szerepére. A megkérdezetteket négy korcsoport szerint kategorizáltam: gyermekkorúnak tekintettem a 15 év alattiakat, fiatalnak a 15−39 év közöttieket, középkorúnak a 40−59 év közöttieket, míg a 60. életévüket betöltötteket az idősek csoportjába soroltam (*Polónyi és Timár* 2006). Ez alapján az alanyok 64,2%-át (ebből nő 50,5%, férfi 13,7%) a fiatal korosztály tagjai tették ki. A középkorúak a megkérdezettek 16,7%-ában (ebből nő 12,0%, férfi 4,7%) képviseltették magukat, míg az idősek korcsoportjába az interjúalanyok 15,1%-a (ebből nő 12,3%, férfi 2,8%) tartozott (4.5.1. ábra). A legidősebb válaszadó 77, míg a legfiatalabb 7 éves volt.



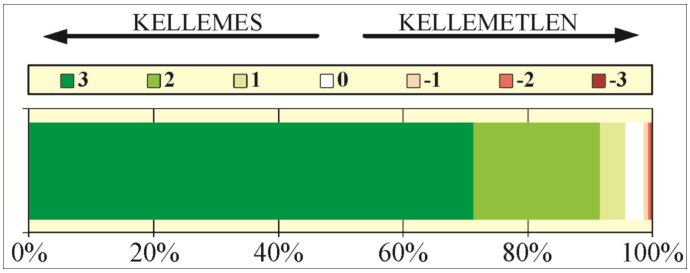
4.5.2. ábra Az interjúalanyok területhasználatának jellemzői a „*Milyen gyakran látogatja a területet?*” és a „*Mennyi időt tölt el a területen?*” kérdésekre adott válaszok alapján

A **„Milyen gyakran látogatja a területet?”** és **„Mennyi időt tölt el a területen?”** kérdésekre adott válaszok alapján a megkérdezettek több mint 2/3-a (73,6%) hetente, vagy annál gyakrabban vette igénybe a vizsgált játszóteret, s a térre érkezők 45,3%-a legalább 1 órát töltött el a területen (4.5.2. ábra). A kérdőívekből nyert válaszok tehát jól reprezentálják a játszóteret rendszeresen és huzamosabb ideig látogatók meglátásait.



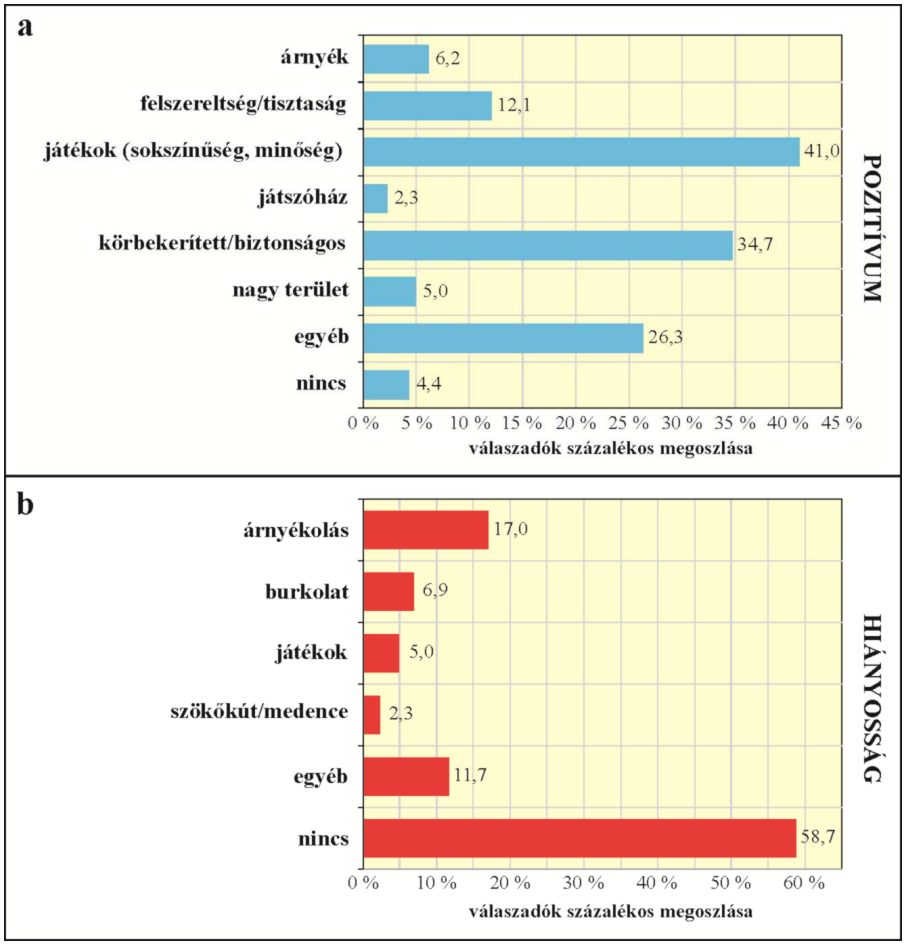
4.5.3. ábra A terület szubjektív értékelésével kapcsolatos kérdésblokk

A 4.5.3. ábra a kérdőív azon egységét tartalmazza, mely a játszótér részletes szubjektív értékelésével foglalkozik. Ez alapján elsőként azt vizsgáltam meg, hogy a térre érkezők általánosan **„Mennyire találták kellemesnek a területet?”**. A skála „egyáltalán nem” és „teljes mértékben” végpontjai között szereplő válaszlehetőségeket a későbbi adatfeldolgozás során (−3)-tól (+3)-ig terjedő értékekkel jelöltem. Az interjúalanyok válaszaiban a „kellemes” szavazatok voltak túlsúlyban, s a játszóteret a látogatók nagyon pozitívan értékelték: a megkérdezettek 71,4%-a teljes mértékben kellemesnek találta a területet. A negatív bírálatok aránya minimális volt, összesített értéke nem érte el a 2%-ot (4.5.4. ábra).



4.5.4. ábra A játszótér általános megítélése a „*Mennyire találja kellemesnek a területet?*” kérdésre adott válaszok alapján

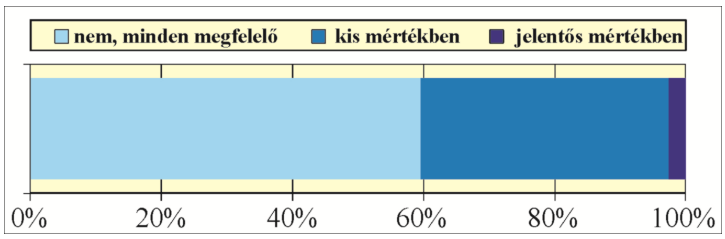
Annak érdekében, hogy feltárjam, mi állhat a játszótér kedvező megítélésének hátterében, részletesen elemeztem, hogy a téren tartózkodók **mit tartanak konkrétan a terület pozitívumainak és hiányosságainak** (4.5.5. ábra). A kapott válaszok a játszótér előnyei mellett rávilágítanak annak gyengeségeire is, melyeket például egy jövőben várható rehabilitáció során érdemes lesz szem előtt tartani. A több, mint 800 kérdőív alapján a megkérdezettek 41%-a a játékok minőségével, illetve változatosságával volt elégedett, emellett viszonylag sokan (34,7%) emelték ki pozitívumként a játszótér körbekerített, biztonságos mivoltát (4.5.5.a ábra). Az interjúalanyok közül többen jelölték meg a tér fő vonzerejeként annak felszereltségét (pl. mellékhelyiség, étel- és italautomata) és tisztaságát (12,1%), míg néhányan a terület árnyékoltságát (6,2%) és nagyságát (5%) említették. Az igencsak változatos „egyéb" kategórián (26,3%) belül pedig nem egy szülő jellemezte a játszóteret barátságosnak és gyermekközpontúnak. A válaszadók 4,4%-a szerint azonban semmilyen pozitívuma nem volt a játszótérnek.



4.5.5. ábra A játszótér fő pozitívumai és hiányosságai az interjúalanyok konkrét válaszai alapján

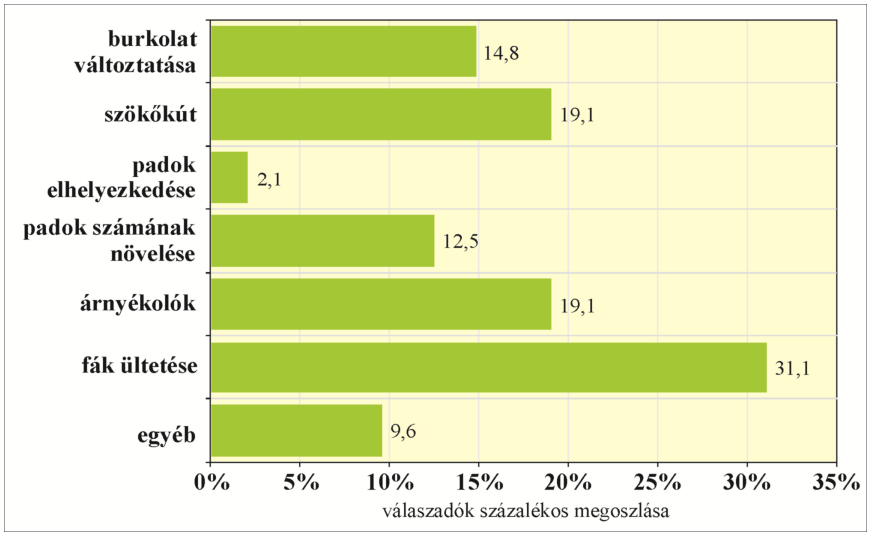
Amennyiben a játszótér hiányosságait vesszük górcső alá, figyelemreméltó, hogy a válaszadók több mint fele (58,7%) egyáltalán nem tudott negatívumot említeni a területtel kapcsolatban (4.5.5.b ábra). A megkérdezettek 17%-a azonban általános problémaként jelölte meg az árnyékolás nem megfelelő voltát (pl. nem elegendő mennyiségét, területi megoszlásának heterogenitását), ami összefüggésbe hozható a játszótéren viszonylag gyakran előforduló termikus stresszhelyzetekkel. Az interjúalanyok közül többen (6,9%) emelték ki a burkolattal kapcsolatos negatív tapasztalataikat, emellett a megkérdezettek 5%-a a terület játékaival volt elégedetlen, míg páran szökőkutat/medencét hiányoltak a területről (2,3 %). Az „egyéb" kate-

górián (11,7%) belül pedig legtöbben a padok alacsony számát, azok nem megfelelő elhelyezkedését, valamint a terület zsúfoltságát bírálták.



4.5.6. ábra Az interjúalanyok általános módosítási igénye a *„Változtatna-e a terület kialakításán*?” kérdésre adott válaszok alapján

A kérdőív utolsó két kérdése a látogatók mintaterülettel kapcsolatos módosítási igényét és konkrét változtatási javaslatait kívánta felmérni. A 4.5.6. ábra alapján – mely az interjúalanyok általános módosítási igényeit a **„Változtatna-e a terület kialakításán?”** kérdésen keresztül vizsgálta – jelentős mértékű területváltoztatásra a megkérdezett kevesebb mint 3 %-a szerint lenne csak szükség. A játszótérre érkezők 59,6 %-a szerint azonban semmilyen módosítást nem igényelne a terület, ami összhangban áll a játszótér kedvezőbb általános megítélésével (4.5.4. ábra), valamint azzal, hogy a játszótérrel kapcsolatban jóval többen tudtak pozitívumokat felsorolni, mint hiányosságokat (4.5.5. ábra).



4.5.7. ábra A megkérdezettek konkrét változtatási igénye a játszótér kialakításával kapcsolatban

Az interjú legvégén a válaszadó személyeket arra kértük, hogy a területkialakítással kapcsolatban a felkínált **potenciális változtatási lehetőségek** közül maximum hármat válasszanak ki (4.5.3. ábra). A legtöbben a fák mint természetes árnyékolók ültetését (31,1%), illetve egyéb mesterséges árnyékoló szerkezetek (19,1%) létesítését preferálták a leginkább (4.5.7. ábra). Ezen felül a látogatók viszonylag nagy arányban választották a kisebb szökőkút vagy csobogó kialakítását (19,1%). A felszínborítás módosításával (14,8%) kapcsolatban néhányan konkrétan azt is megnevezték, hogy a játszótér aprókavicsos felszíne helyett szívesebben látnának más, természeteshez közelebb álló (pl. füves) burkolatot. Az interjúalanyok területváltoztatással kapcsolatos válaszai összefüggésben állnak a játszótér hiányosságaiként (negatívumaiként) megjelölt tényezőkkel (4.5.5. ábra).

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS KITEKINTÉS

A Közép-Európa területére előre jelzett tartós hőmérséklet-emelkedésre, valamint az egyre intenzívebbé, hosszabbá és gyakoribbá váló hőhullámokra (*Bartholy et al.* 2014) mind várostervezési, mind pedig építészeti szinten fel kell készülnie Magyarországnak. A regionális léptékben fokozódó hőstressz valószínűsíthetően egyre több ember szervezetét fogja terhelni. Ezeknek a (regionális) termikus stresszhelyzeteknek az emberi szervezetre gyakorolt hatása csökkenthető (mitigáció) a minőségi, rekreációt biztosító városi zöldterületek révén, emellett a megfelelően megtervezett városi közterületek a huzamosabb ideig fennálló kellemetlen szituációkat is megelőzhetik (prevenció). A városi környezetek (legyen az egy közterület, egy kisebb városrész vagy a teljes urbánus közeg) klimatikus tulajdonságainak, s azok bioklimatikus hatásának feltérképezése nem elhanyagolandó szempont a közterület-tervezés és -rendezés gyakorlatában. Ehhez szorosan kapcsolódik az is, hogy a városi környezetben bekövetkező változások (pl. új épületek létesítése, nagyobb beruházások vagy akár csak a felszínborítás megváltoztatása) nagyon sok embert érintenek, és a látványos változásokon túl jelentős mikroklimatikus következményekkel is együtt járnak. Ezeknek a mikro-bioklimatikus hatásoknak a megismeréséhez és előrejelzéséhez pedig a humán-bioklimatológiai vizsgálatok gyakorlati megközelítéseinek mélyreható ismerete szükséges.

Doktori disszertációm záró fejezetében az eredményeimre, valamint az adatok feldolgozása során szerzett tapasztalataimra támaszkodva ismertetem vizsgálataim legfontosabb gyakorlati vonatkozásait, valamint a várostervezéshez szorosan kötődő következtetéseimet.

Ezt három alfejezeten keresztül kívánom megtenni:

- az **5.1. fejezetben** a RayMan és ENVI-met modellek legfontosabb előnyeit és hátrányait foglalom össze, kiemelve az egyes szimulációs szoftverek gyakorlati alkalmazhatóságát,
- az **5.2. fejezetben** néhány megoldási alternatívát szeretnék ismertetni a városi területeken gyakran jelentkező termikus terhelés mérséklésére,
- az **5.3. fejezetben** pedig – egy gyakorlati folyamatábrán keresztül – bemutatom, hogy a humán-bioklimatológiai vizsgálatok miként illeszthetők be a várostervezés részfolyamataiba. Reményeim szerint az általam összeállított segédlet lépésein végighaladva a városlakók igényeit jobban kielégítő közterületek tervezhetők.

5.1. AZ ALKALMAZOTT MODELLEK ÉRTÉKELÉSE

Visszautalva a 4.3. fejezetben bemutatott eredményeimre, a mikroklimatológiai szimulációk igen fontos szerepet töltenek be egy meglévő, vagy akár egy létesítés előtt álló környezet mikro-bioklimatikus tulajdonságainak feltárásában. A felmérés céljától függően, valamint a tervezés egyes fázisaiban azonban nem mellékes, hogy milyen modellt is alkalmazunk. Dolgozatom jelen alfejezetében éppen ezért a szimulációk során szerzett tapasztalataimra támaszkodva egy általános képet szeretnék adni az általam használt (RayMan és ENVI-met) modellek sajátosságairól, valamint legfőbb előnyeiről és hátrányairól, hogy ez által segítséget nyújthassak azok mindennapi használatában.

Az 5.1.1. táblázat a RayMan és ENVI-met modell legfontosabb tulajdonságait foglalja össze azok gyakorlati alkalmazhatósága szempontjából. A **szimulációk kivitelezését** tekintve az ENVI-metet eleve térbeli információk generálására fejlesztették ki, ezzel szemben a RayMan csak egy pontra képes kimeneti adatokkal szolgálni. Ez utóbbi modellből egy teljes felszínre vonatkozó térképeket csak úgy nyerhetünk, ha egy rácsháló mentén pontról pontra

futtatjuk le a modellt (majd a pontonként kapott eredményeket interpoláljuk). Ez valamivel bonyolultabb és időigényesebb eljárás, azonban a modell lehetőséget nyújt arra, hogy több adatsort egyszerre futtassunk. Így például az egy ponthoz tartozó különböző klimatikus adatcsomagok (szcenáriók) akár egyszerre modellezhetők. A szimuláció lefutási ideje az egyes modellpontban (az adatok mennyiségétől függően) pár másodperctől 5−10 percig terjedhet.

A **szimulált paraméterek** tekintetében a RayMan ugyancsak egyszerűbb, ugyanis ez a modell csak a terepi objektumok által módosított sugárzási környezetet (azaz a T_{mrt}-t), majd ebből a PET értékét szimulálja. Ezek kiszámításához a többi meteorológiai alapparaméter adatsorait (rendszerint a léghőmérsékletet, a relatív nedvességet, a szélsebességet és a globálsugárzás értékét) a rendelkezésre álló időbeli felbontás szerint a felhasználónak kell betáplálni a modellbe. Ráadásul a modell nem képes a szélsebesség értékét a felszínhez közeli (1,1 m-es) szintre redukálni, így azt a szimulációk előtt manuálisan kell elvégezni. Ebből adódóan a RayMan az **input meteorológiai paraméterekre** vonatkozóan valamivel összetettebb előkészítést igényel.

Az ENVI-met viszont a meteorológiai adatok egyetlen jellemző értékéből a vizsgálat idejére és helyére legvalószínűbb időjárási helyzetet hozza létre, így a modellfuttatásból nem csupán a sugárzási környezetre, hanem valamennyi meteorológiai adatra kapunk szimulált értékeket. A széladatok külön előkezelésére ebben az esetben nincs szükség. A szimulációk során azonban itt is számolni kell egy-két kellemetlenséggel. Az ENVI-met egyik hátránya, mely éppen a „nem valós” adatoknak tulajdonítható, hogy a bemeneti peremfeltételek (pl. a léghőmérséklet vagy a szélsebesség) a modell futtatása során változatlanok maradnak. Ezért az olyan valós helyzeteket, hogy például a futtatás ideje alatt befelhősödik az ég, vagy éppen felerősödik a szél és megváltozik annak iránya, a modell nem tudja értelmezni és kezelni.

5.1.1. táblázat A RayMan és az ENVI-met modell legfőbb tulajdonságai felhasználói szemszögből

	RayMan	ENVI-met
szimuláció menete	pontról pontra egy gridháló mentén	vizsgált területre történik
szimulált paraméterek	csak a komplex sugárzási környezet (majd a PET)	valamennyi meteorológiai alapparaméter
bemeneti adatok	több bemeneti adat; manuális szélredukció 1,1 m-re; valós meteorológiai adatok	csak 1-1 meteorológiai adat; manuális szélredukcióra nincs szükség
bemeneti adatok előkészítése	összetett (nagyobb adatbázis)	egyszerűbb (csak 1-1 bemeneti adat)
tereptárgyak, felszínborítás	csak fás vegetáció és épületek	felszínborítás (burkolat), vegetáció, épületek
terepi objektumok alakja	lombkorona: ellipszoid (kúp), épületek: hasáb	minden terepi objektum hasáb
kimeneti adat	akár több éves adatsor egyszeri lefuttatása	max. 1-2 hét adatsora/szimuláció
időbeli felbontás	kimeneti adatok akár 1 percenként	kimeneti adatok max. 10 percenként
vizsgált terület	nincs határmenti cella, nincs méretkorlátozás	határmenti cellák szükségesek, korlátozott méret
szimuláció valós ideje	rövidebb (felbontástól függően kb. 3 nap/terület)	hosszabb (felbontástól függően akár 1 hét)
pontosság	pontosabb közelítést ad a valós körülményekhez	pontatlanabb közelítés
használhatóság	egyszerűbb kezelőfelület, kisebb gépkapacitás	komlexebb kezelőfelület, nagyobb gépkapacitás

Az ENVI-met nagy előnye a RayMannel szemben, hogy a szimulációk során nem csak az épületek és a vegetáció mikroklimatikus viszonyokra gyakorolt hatását veszi számításba, hanem jól szemlélteti a felszínburkolat sugárzás- és bioklímamódosító tulajdonságait is. Éppen ezért a közterületek tervezési fázisaiban a különböző terepi objektumok mellett az eltérő felszínborítású opciókkal (legyen az fű, aszfalt vagy egyedi burkoló) is el lehet végezni a futtatásokat. A **tereptárgyakat** mindkét modell egyszerűbb geometriai alakzatokkal közelíti. A RayMan a lombhullató fák koronáját egy ellipszoiddal (vagy a fenyőfélék esetén kúppal) adja meg, az épületeket pedig sokszög alapú hasábokkal írja le. Az ENVI-metben azonban, köszönhetően a cellákból álló munkafelületnek, minden terepi objektum hasábos megjelenítésű.

A modellezésre szánt mintaterület méretét illetően az ENVI-met kissé korlátozott, ugyanis nagyobb (pl. egy városrésznyi) terület értékelésére nem ad lehetőséget (ez azonban nem meglepő, hiszen a modellt eleve mikrokörnyezetek vizsgálatára fejlesztették ki). Nehezíti a modellterület méretének megválasztását az is, hogy a munkafelületen viszonylag jelentős részt foglalnak el a szimulációkhoz nélkülözhetetlen határmenti cellák (nesting grid). A RayMan esetében azonban a modellezett terület nagyságával kapcsolatban ilyen jellegű akadályokra nem kell számítani.

A **modellfutás idejét** vizsgálva, a mintaterület nagyságától és térbeli felbontásától függően az ENVI-mettel végzett szimulációk összességében hosszabb ideig tarthatnak: a teljes szimuláció akár több hetet is igénybe vehet. Ennek hátterében elsősorban az áll, hogy a modell az indítást követően aránylag sok időt fordít az inicializálásra, majd a területre jellemző komplex szélmező generálására. További kényelmetlenséget okoz a programban, hogy a modellezési folyamatot nem lehet felfüggeszteni, illetve részeiben elmenteni, így ha valamilyen probléma miatt a szimuláció megáll, akkor a futtatást minden esetben elölről kell kezdeni. Ezzel szemben a RayMannél a pontonkénti modellfuttatásokat bármikor abba lehet hagyni, s akár napokkal később folytatni, éppen ezért a szimuláció pontos valós idejét nehéz megállapítani. Mivel azonban a modell önmagában az alap meteorológiai paramétereket nem képes meghatározni (csak a T_{mrt}-t és a PET-et), a modellezés ideje arányaiban rövidebbnek adódik. Amennyiben a két modell **kimeneti adatainak időbeli felbontását** tanulmányozzuk, a RayMan esetében a futtatásokhoz felhasznált adatbázis pontosságától függően akár 1 perces kimeneti adatokra is számíthatunk. Az ENVI-met azonban az előre megadott útvonalú mappába a legjobb esetben is csak 10 perces felbontású kimeneteket képes elmenteni.

Bizonyos esetekben nem csupán egy általános képet kell adni a vizsgált terület mikroklimatikus és bioklimatikus tulajdonságairól, hanem az is különösen fontos, hogy a kapott eredmények minél inkább közelítsenek a valós körülményekhez. Ha a két modell **pontosságát** vesszük górcső alá, megállapítható, hogy a valós input meteorológiai adatoknak köszönhetően a RayMan (elsősorban az árnyékos területeken) valamivel jobb közelítéssel tud szolgálni a valós termikus viszonyokhoz. Az ENVI-met azonban, a szimulált alapadatokból adódóan, néhány °C-kal alatta marad a mért értékeknek.

Végezetül említést kell tenni a két modell **általános kezelhetőségéről**, felhasználóbarát mivoltáról, valamint a működésükhöz szükséges erőforrásokról is. A RayMan egy kifejezetten egyszerű szoftver, melynek elkészítése során a tervezők a funkciók használhatóságát jobban szem előtt tartották, mint a modern képi megjelenítést. A program az alapvető felhasználói igényeket elégíti ki, s kezelőfelülete is az áttekinthetőségre törekszik. A szoftver gyorsan és könnyedén megismerhető, és a felhasználása során nem igényel komoly számítógépes előismereteket. Kapacitásigénye minimális, ezért kisebb teljesítményű gépeken is könnyedén fut-

tatható. Ezekhez képest az ENVI-met sokkal komplexebb kezelőfelülettel rendelkezik, s a program teljes áttekintéséhez valamivel több időre lehet szükség. Az összetettebb modellfolyamatnak köszönhetően a szimulációk nagyobb számítógépes kapacitást kívánnak, így elsősorban nagyteljesítményű gépeken − és azokon is rendszerint energiacentrikus üzemmód beállítása mellett − futtathatók.

5.2. MEGOLDÁSI JAVASLATOK A TERMIKUS TERHELÉS MÉRSÉKLÉSÉRE

A városi környezetek termikus komfortviszonyainak javítására napjainkban számos eszköz áll rendelkezésre, melyek közül néhányat (elsősorban a melegebb klímával rendelkező területeken) már nagyon régóta ismernek és alkalmaznak a stresszhelyzetek elkerülésére. Mivel a fentebb említettek szerint a közép-európai régióban a városlakóknak elsősorban a hőség okozta terhelésre kell felkészülniük, a továbbiakban a hőstressz mérséklésére irányuló javaslatokat tekintem át.

A vizsgálati eredményeimet alapul véve a termikus terhelésért (különösen a melegebb időszakokban) elsősorban a sugárzási viszonyok tehetők felelőssé. Mivel a sugárzás általi hőterheléssel szemben legeredményesebben az árnyékba húzódással védekezhetünk (amint az a 4.4. fejezetben a látogatók szubjektív reakcióiból is kiderült), ezért bioklimatológiai szempontból egyáltalán nem elhanyagolandó, hogy egy közterület milyen árnyékviszonyokkal rendelkezik, s ez miként változik a nap folyamán vagy az egyes évszakokban. (Itt érdemes visszautalni a 4.2.1. alfejezetre, melyben a PET-hisztogramok eredményei nagyon jól tükrözik, hogy a legmarkánsabb PET-különbségek ott alakultak ki, ahol a mérőpontok árnyékviszonyai jelentősen különböztek egymástól.)

5.2.1. táblázat Néhány hazánkban is előforduló fafaj bioklíma-tudatos tervezési szempontból fontos tulajdonsága (*Erell et al.* 2011 nyomán)

Magyar név	Latin név	Transzmisszivitás [%]		Lombfakadás	Lombhullás	Maximális magasság [m]
		nyáron	télen			
Korai juhar	*Acer platanoides*	5 - 14	60 - 75	április 30. előtt	november 1-30.	15 - 25
Vadgesztenye	*Aesculus hippocatanum*	8 - 27	73	május 1-15.	november 30. után	22 - 30
Közönséges nyír	*Betula pendula*	14 - 24	48 - 88	május 1-15.	november 1-30.	15 - 30
Szivarfa	*Catalpa speciosa*	24 - 30	52 - 83	május 15. után		18 - 30
Glédicsfa	*Gleditsia tricanthos inermis*	25 - 50	50 - 85	május 1-15.	november 1. előtt	25 - 50
Bükk	*Fagus sylvatica*	7 - 15	83	május 15. után	november 30. után	18 - 30
Ezüstfenyő	*Picea pungens*	13 - 28	13 - 28			27 - 41
Platán	*Platanus acerifolia*	11 - 17	46 - 64	május 15. után	november 1-30.	30 - 35
Rezgőnyár	*Populus tremoloides*	20 - 33		április 30. előtt	november 1-30.	12 - 15
Kislevelű hárs	*Tilia cordata*	7 - 22	46 - 70	május 15. után	november 1. előtt	18 - 21

Az egyik legkézenfekvőbb megoldás a sugárzás mérséklésére a **fás vegetáció** mint természetes árnyékolók ültetése. A fák kiterjedt lombkoronája (elsősorban a vegetációs időszakban) jelentős mértékben képes csökkenti az intenzív napsugárzást, s egyben megakadályozza az alatta lévő felszínek túlmelegedését. A leghatékonyabb árnyékolásra akkor számíthatunk, ha a megfelelő faj kiválasztása mellett a fákat nem önmagukban, hanem kisebb csoportokban helyezzük el a közterületen (*Shashua-Bar et al.* 2006, 2010). Erre leginkább olyan fafajok alkalmasak, melyek lombfakadása tavaszra tehető, emellett (teljes kifejlődésükkor) kiterjedt lombkoronával rendelkeznek, s a leveleinek (globálsugárzásra vonatkozó) áteresztőképessége (transzmisszivitása [%]) viszonylag kicsi. Ilyen tulajdonságokkal rendelkezik például a korai juhar (*Acer platanoides*) vagy a platán (*Platanus acerifolia*), melyek közepes magasságúra

nőnek és transzmisszivitásuk a nyári hónapokban 25% alatt marad. Néhány Magyarországon is előforduló fafaj transzmisszivitását, lombfakadásának és lomhullatásának idejét, valamint maximális magasságát az 5.2.1. táblázat foglalja össze (*Erell et al*. 2011). A vegetáció komfortjavító tulajdonságához az árnyékolás mellett hozzátartozik, hogy nagy lombfelületükből s a lombozat párologtató képességéből adódóan (az ún. evapotranszspirációs hűtés révén) további hőmennyiséget vonhatnak el a környezetből, ráadásul szennyeződés-megkötő tulajdonságukból eredően kellemesebb és frissebb környezet megteremtéséhez járulnak hozzá.

5.2.1. ábra. Megoldási alternatívák a hőstressz árnyékolás általi csökkentésére (napvitorla [2]; mesterséges lombozat, fotó: Kántor N., Tokió, Japán)

A fás vegetációval kapcsolatban azonban fontos említést tenni arról, hogy a sugárzási viszonyokon kívül a légáramlásra is mérséklő hatással bírnak, így csökkenthetik a közterületek átszellőzését (*McPherson et al.* 1997). Szintén negatívumként sorakoztatható fel, hogy a fákat rendszerint fiatal állapotukban helyezik ki a közterületekre, így ahhoz, hogy elérjék a kellő lombkoronaméretet, akár több (tíz) évet is várni kell. (Ez volt megfigyelhető a vizsgált Retek utcai játszótér középső területein is (lásd 4.3.1. és 4.3.2. fejezetek), ahol a fiatal fák még nem voltak képeset meggátolni az erős napsugárzást, éppen ezért komfortjavító hatásuk nem volt számottevő.) Érdemes figyelni továbbá arra is, hogy a meglévő, beépített területek esetén, főleg ha azok mesterséges burkolattal ellátottak, a fák, illetve facsoportok ültetése korlátokba ütközhet.

Ilyen helyzetekben nyújthatnak megoldást a különböző **mesterséges árnyékoló szerkezetek**, melyek akár kiegészítésként is alkalmazhatók mindaddig, míg az újonnan ültetett fák el nem érik a megfelelő méretet (5.2.1. ábra). A közterületekre időszakosan kihelyezett nagyobb *ponyvák*, illetve néhány kifeszített *napvitorla* a kellemetlenebb időszakokban − például a nyári hónapokban és a déli órákban − jelentősen csökkenthetik a szervezetet ért direkt sugárzás mennyiségét. Nem mindegy azonban, hogy milyen színű és textúrájú ponyvát választunk a termikus terhelés mérséklésére. Ha ugyanis sötét színű, összefüggő és sűrű szövésű anyagra esik a választásunk, akkor éppen a kívánt hűtőhatás ellenkezőjét érhetjük el. A direkt sugárzás hatására az anyag felforrósodhat, illetve textúrájából adódóan meggátolhatja a terület átszellőzését, ami ezáltal jóval terhelőbb termikus körülményekhez vezethet az alatta fekvő területeken (pl. *Shashua-Bar et al.* 2009). A ponyvák és napvitorlák mellett léteznek külföldi példák ún. „*mesterséges lombozat*” alkalmazására is (5.2.1. ábra). Ezek az árnyékolók olyan, környezeti hatásoknak ellenálló apró műanyag elemek sokaságából épülnek fel, melyek a fák leveleinek mintájára nem képeznek teljes gátat sem a légmozgás, sem a csapadék számára, ugyanakkor dőlésszögük révén megfelelő védelmet nyújtanak a nagyobb napmagasságok esetén

érkező intenzív napsugárzás ellen. Az árnyékolók tervezésénél (legyen az természetes vagy mesterséges árnyékoló) azonban mindenképp szem előtt kell tartani, hogy a városlakók elvárásai a melegebb és hidegebb hónapokban eltérőek, éppen ezért a közterület-tervezés során, illetve az egyéb beavatkozások előtt érdemes összehasonlítani a látogatók évszakos elvárásait a beavatkozások várható mikro-bioklimatikus következményeivel (pl. *Hwang et al*. 2011).

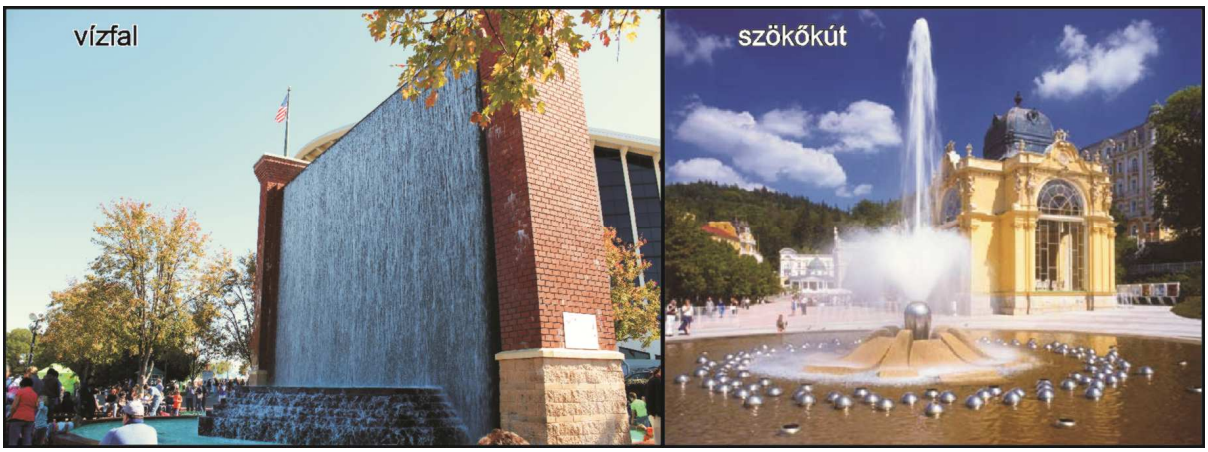
Egy közterület komfortadottságai nem csupán az árnyékviszonyok módosításával, hanem a **megfelelő felszínborítás** kialakításával is javíthatók. Ebben az esetben a lehetőségekhez mérten törekedni kell a természeteshez minél közelebb álló burkolattípusok megválasztására. A mesterséges felszínek (pl. az aszfalt, a térkő vagy betonburkolat) ugyanis nagy hőkapacitásukból, sötétebb színükből vagy esetleg érdes felületükből adódóan jelentős felmelegedésre hajlamosak, ami a hőhullámok idején tovább fokozza a felszín irányából érkező érzékelhető (konvektív és sugárzás általi) hőszállítás mértékét (ahogy azt a 4.2.1 és 4.2.2. fejezetekben a Szt. István tér esetén is láthattuk). A természetes vagy ahhoz közel álló felszínek (pl. befüvesített területek) azonban párologtatóképességüknek köszönhetően (ami egyben látens hőelvonást eredményez) hozzájárulnak a kellemesebb mikroklíma kialakulásához (*Asaeda et al.* 1996, 5.2.2. ábra).

5.2.2. ábra Egy-egy példa a mesterséges és a természetes burkolatok városi alkalmazására (Szeged, saját felvétel)

Érdemes figyelmet fordítani továbbá az ún. **utcabútorok** (pl. padok vagy a játszóterek esetén a játszótéri eszközök) **színére, anyagára és textúrájára** is. A nem megfelelő (pl. sötét színű vagy felmelegedésre hajlamos) anyagból előállított eszközök a tűző napsugarak hatására rendkívüli mértékben felforrósodhatnak, ami ellehetetleníti azok tartós igénybevételét. Erre szolgál elrettentő példaként a Retek utcai játszótéren található fekete színű gumiból készült gyermekhinta, mely nyáron a déli és kora délutáni órákban akár enyhe égési sérüléseket is okozhat használójának. Hasonló tapasztalható az alumíniumból kialakított csúszda esetében is, amely nemcsak felhevülésre hajlamos anyagból készült, hanem zárt kialakítású, így ennek következtében a terhelőbb időszakokban gyakorlatilag használhatatlanná válik (5.2.3. ábra). Fontosnak tartom azonban megjegyezni, hogy ahhoz, hogy pontos képet kaphassunk a különböző felszínborítási típusok, illetve kültéri bútorokhoz felhasznált anyagok termikus tulajdonságairól, hősugárzással szembeni elnyelő- és visszaverőképességükről, és az ebből adódó felmelegedési-lehűlési mintázataikról, a jövőben elengedhetetlen az ehhez kapcsolódó vizsgálatsorozatok pontos elvégzése, és ezek által az ismeretek bővítése.

A parkok, közterek tervezésekor régóta bevált dizájnelem a különböző **vízfelszínek** alkalmazása, melyek megjelenésüket illetően lehetnek pl. szökőkutak, kisebb tavak, vízfalak, csatornák stb. (5.2.4. ábra). Ezek nem csak esztétikailag emelkednek ki a területből, hanem párologtató tulajdonságuk (azaz az evaporatív hűtés) révén számottevő komfortjavító tulajdonsággal is bírnak (*Manou-Anreadis és Milona* 2013, *Mahmoud* 2011). A kutatások emellett azt is kimutatták, hogy a komfortos és élhető városi környezet fenntartásában a vízfelszínek közül az újonnan létesített cirkuláló (vagy akár magasba szökő) víztestek különösen fontos szerepet töltenek be (*Nishimura et al.* 1998).

5.2.3. ábra. Példák a nem megfelelő anyagú kültéri eszközök megválasztására (saját felvétel)



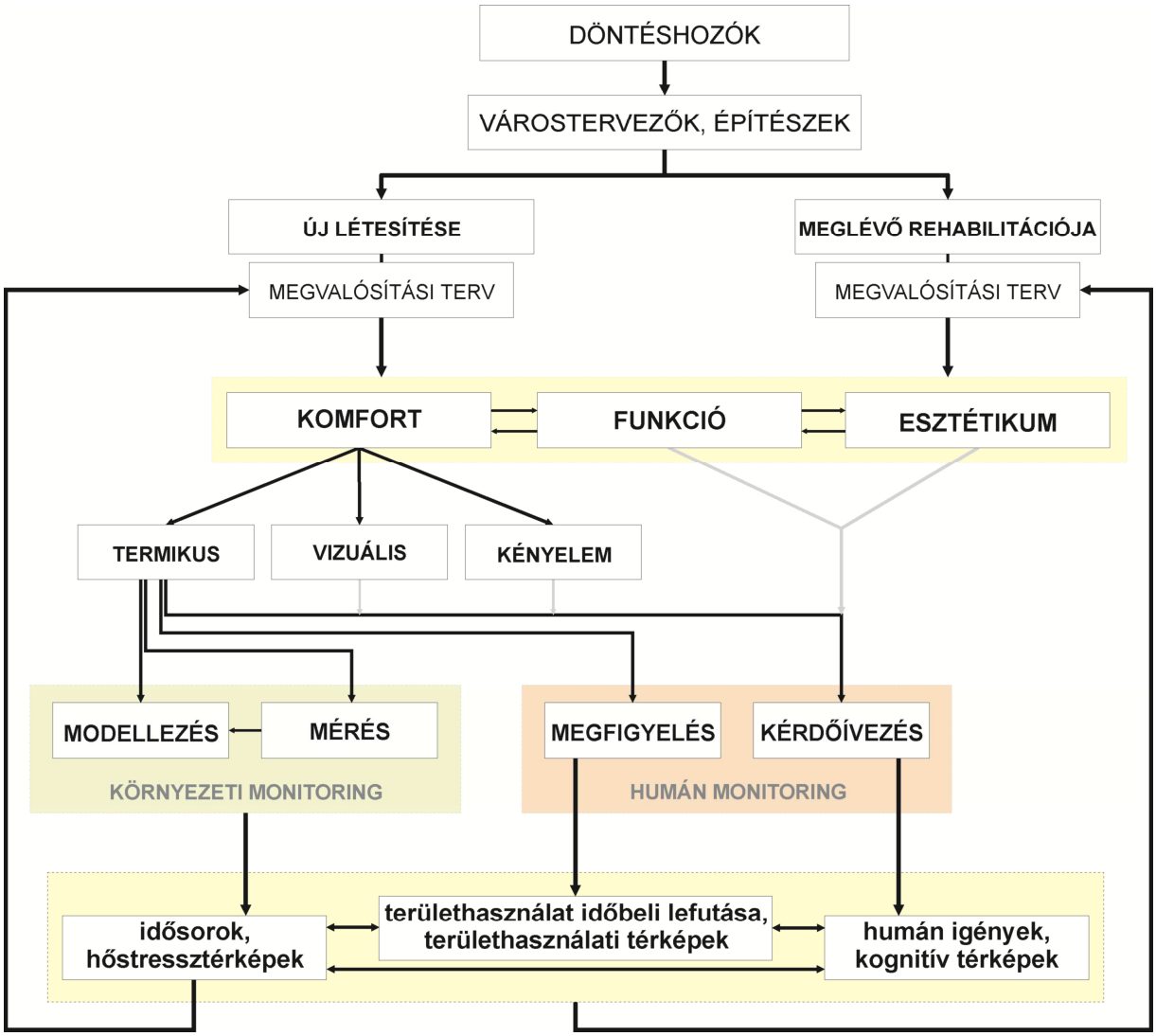
5.2.4. ábra. Egy-egy példa a vízfelszínek városi alkalmazására [3], [4]

Végezetül a kellemes városi környezet megteremtésében különösen fontos szempont a megfelelő **átszellőzés** biztosítása. A ventillációs folyosók feltérképezése, és azok elhelyezkedésének figyelembe vétele a tervezés és megvalósítás során kivételes figyelmet érdemel napjainkban. A ventillációs folyosók ugyanis nagy segítséget nyújtanak a városi területek felfrissülésében, a melegebb légtömegek elszállításában, és hozzájárulnak ahhoz, hogy a város központjában feldúsult légszennyezőanyagok koncentrációi számottevően mérséklődhessen (*Gál és Unger* 2009).

5.3. A TERMIKUS KOMFORTKUTATÁSOK BEILLESZTÉSE A VÁROSTERVEZÉS GYAKORLATÁBA

A városlakók igényeit kielégítő élhető és fenntartható urbánus közeg megteremtésének egyik fontos momentuma, hogy a manapság bevált szokásnak számító esztétikum- és/vagy funkcióalapú várostervezésben a humán-komfortviszonyokra is nagyobb hangsúly kerüljön,

valamint a környezetbarát megoldások minél nagyobb szerephez juthassanak. Felmerülhet azonban a kérdés, hogy a várostervezés részfolyamataiban hol van az a pont, ahol a klímatudatos („klímaváltozás-tudatos”), illetve bioklíma-tudatos tervezési munkálatok beilleszthetők és hathatósan alkalmazhatók. Ebben nyújt segítséget az 5.3.1. ábrán bemutatott folyamatábra, mely a városi humán-bioklimatológiai kutatások (és a tágabb értelemben vett humánkomfort-kutatások) egyes vizsgálati módszereit és eredményeit a várostervezés folyamatába integrálja, s ezáltal egyfajta iránymutatásnak is tekinthető az élhető és fenntartható városok kialakításához.



5.3.1. ábra A termikus komfortkutatások beillesztése a várostervezés részfolyamataiba

A közterület-tervezés első lépéseként a település **felsőbb vezetősége**, illetve **döntéshozói** a tervezésre és megvalósításra szánt keretösszegek tudatában, a **várostervezők és építészek** közreműködésével döntést hoznak egy új közterület létesítéséről vagy egy meglévő átalakításáról (rehabilitációjáról). A területkialakítással kapcsolatos ötleteiket, a konkrét terveket (legyen az szöveges vagy tervrajz jellegű), a pénzügyi erőforrásokat, a feladatok megoldásának résztvevőit stb. a **megvalósítási terv** foglalja össze. A közterület-tervezés első lépéseként a terület méretét, orientációját és megjelenésének általános koncepcióját (pl. vegetáció, felszínburkolatok, kültéri bútorok) határozzák meg, mely során a tervezőknek és a résztvevőknek három fontos szempontot kell szem előtt tartani.

A közterület-tervezés egyik alapvető aspektusa a **terület rendeltetése (funkciója)**, amely vonatkozásban arról kell döntést hozni, hogy milyen típusú szabadtéri aktivitásra alkalmas területet kívánnak kialakítani. A közparkok, közterek, sétálóutcák vagy éppen játszóterek értelemszerűen más-más területrendezést és kültéri bútorokat igényelnek, továbbá eltérő elvárásoknak kell megfelelniük.

A tervezések során természetesen továbbra sem elhanyagolandó szempont a közterület **esztétikus kialakítása (arculata)**, hiszen ez az első olyan ismérv, amellyel a látogatók szembesülnek, és további időtöltésre vagy éppen távozásra készteti őket. A vendégmarasztaló, pozitív szubjektív megítélésű közterületekhez ugyanúgy hozzátartoznak például a dekoratív növényfajok, a szem számára kellemes formák, a harmonikus anyag- és színválasztás, valamint a környező épületekkel összhangban álló megjelenés.

A harmadik, és egyben talán az egyik legfontosabb kritérium, amelynek meg kellene felelnie egy városi közterületnek a **komfortos kialakítás**. Ezzel kapcsolatban az építészeknek és mérnököknek a humánkomfort számos aspektusát kell figyelembe venniük a tervezés során.

Az egyik legalapvetőbb cél a **kényelmes**, funkciójához mérten jól felszerelt és biztonságos közterületek kialakítása. Nyilvánvalóan elősegíti a terület kihasználtságát, ha az ún. kültéri bútorok (pl. padok, kültéri asztalok, játszóterek esetén a játszóeszközök) fizikailag is kényelmesek. Kellemetlenséget okozhatnak például a szűk kialakítású, túl kemény vagy nedvszívó (eső után nehezen ki/felszáradó) anyagú vagy esetleg nem megfelelő magasságú padok, kültéri asztalok, a felforrósodásra hajlamos anyagokból (pl. fémből, sötét műanyagból) készített tereptárgyak, különös tekintettel a padokra és a játszótéri eszközökre.

A szabadban a **vizuális komfort** teljesüléséhez a terület optimális természetes megvilágítottsága, a káprázó, szemet fárasztó, zavaróan csillogó felületek mellőzése, valamint a színvilág összhangjának megalkotása szükséges. Ezeknek a szempontoknak az elmulasztása nem csak közérzetünkre, hanem lelki állapotunkra is befolyással bír, ami hosszabb-rövidebb idő után diszkomfortérzetet válthat ki, s ezáltal a terület elhagyására ösztönöz bennünket. A látás útján érzékelt tényezők optimalizálása mellett ugyancsak hangsúlyt kell fektetni a hallással és szagérzékeléssel kapcsolatos paraméterekre. A komfortos közterület biztosításához a zajszennyezés és az irritáló szagok minimalizálása szükséges, illetve ha a környékbeli források nem iktathatóak ki, lehetőség szerint törekedni kell a kellemetlen hatások mérséklésére.

A humánkomfort különösen fontos aspektusa a **termikus komfortérzet**, mely a területen kifejlődő mikro-bioklimatikus viszonyok által az emberekben kialakuló szubjektív érzet. Fontosnak tartom azonban megjegyezni, hogy – már csak a komfortérzet szubjektív karakteréből adódóan is – lehetetlen olyan közterületeket kialakítani, melyek az év minden napján, minden látogató számára kellemesnek érződnek. Ugyanakkor már a tervezés során törekedni kell az olyan elrendezésre és anyagválasztásra, melyek a lehető legkisebb mértékűre csökkentik a terület látogatóit érő bioklimatikus (termofiziológiai) terhelést, s lehetőség szerint nagy részük számára megelégedéssel szolgál mind hőérzeti, mind egyéb szempontból. A termikus komfortérzet feltérképezésekor fontos tehát a létesítendő vagy átalakítani kívánt közterületek termikus kondícióinak kvantitatív értékelése, az emberi szervezetet érintő termofiziológiai vonatkozásban. Ez tekinthető a városi humán-bioklimatológiai vizsgálatok objektív oldalának, mely „környezeti monitoring” elnevezéssel szerepel az 5.3.1. ábrán. Ennek egyik szegmense a vizsgálat tárgyát képező közterület mikro-bioklimatikus viszonyainak térbeli és időbeli analízise, mely egyrészt **helyszíni mérések**, másrészt **modellezések** (szimulációk) révén végezhető

el. Itt mindenekelőtt fontos hangsúlyozni az utóbbi technikában rejlő, s a várostervezés folyamataiban is hasznosítható lehetőségeket. Legyen az egy újonnan létesített vagy egy rehabilitáció előtt álló terület, a szimulációk ugyanis nem csupán valós, hanem fiktív környezeti feltételek (pl. különböző felszínborítási típusok, más növényállomány vagy akár a globális felmelegedés alapján előre jelzett hőmérséklet-emelkedés és szárazodás hatásának figyelembe vétele) mellett is lefuttathatók, és ezáltal a különböző területrendezési alternatívák mikro-bioklimatikus hatásai összevethetők, és kiválasztható közülük a legoptimálisabb.

Egy átalakítás (helyreállítás) előtt álló közterület esetén a környezeti viszonyok objektív leírása mellett azonban elengedhetetlen a városlakók (különösen a vizsgált területet gyakran látogatók vagy a terület szomszédságában élők) termikus viszonyokra és a közterület egyéb aspektusaira adott reakcióinak tanulmányozása is. Ez a városi humán-bioklimatológiai vizsgálatok szubjektív oldala, mely az 5.3.1. ábrán „humán monitoring" névvel szerepel, s egyrészt a területen tartózkodók területhasználatának és **viselkedésének megfigyelése** révén, másrészt a látogatókkal lefolytatott **interjúkon, kérdőíveken keresztül** valósulhat meg. Ez utóbbiakban azonban nem csupán a termikus környezet megítélésére irányuló kérdések kaphatnak helyet. Felmérhetik a terület komfortviszonyainak egyéb aspektusait is, így például a látogatók vizuális tényezőkre vagy a területen található kültéri bútorok fizikai kialakítására (kényelem, praktikus elrendezés, biztonság) vonatkozó elvárásait. Vizsgálhatják továbbá a terület funkciójával kapcsolatos igényeket (például, hogy a városlakók milyen típusú közterület kialakítását támogatnák), és kérdéseket tehetnek fel akár a terület esztétikai dimenzióira vonatkozóan is. A közterületek helyszíni felmérésein (klímaparaméterek mérése, látogatók megfigyelése, interjúk) alapuló és modellfuttatásokkal kiegészített komplex humán-bioklimatológiai vizsgálatok olyan eredményekkel szolgálnak, melyek figyelembevételével egyrészt a városlakók igényeihez igazodó, másrészt a várható klimatikus trendek kihívásaihoz alkalmazkodó, a stresszhelyzetek terheit hathatósan mérséklő közterületek tervezhetők.

A városi közterület-tervezés folyamatában figyelembe veendő fontos kimenetek a modelleredményeken alapuló, a mikro-bioklimatikus viszonyok térbeli és időbeli mintázatát ábrázoló **hőstressztérképek** vagy a helyszíni mérésekből származó **idősoradatok** (utóbbiak rendszerint a terület egy-egy kiválasztott, karakterisztikus pontjára vonatkoznak). Ezek értékelésével fény derül arra, hogy a különféle anyagtípusok, elrendezési alternatívák, vegetációtípusok, vagy éppen a vegetációval való borítottság mértéke milyen hatással van a különböző időjárási helyzetekben (lásd 4.2.1. és 4.3.1. fejezet).

További hasznos információkkal szolgálhatnak a közterületek megtervezésében a látogatók napi életritmusát tükröző **területhasználati idősorok**, valamint az emberek termikus viszonyokra adott viselkedési reakcióinak mintázatát leíró **területhasználati térképek** (lásd 4.4.1. és 4.4.2. fejezet). Az objektív mikro-bioklimatikus eredmények, valamint a területhasználatot szemléltető szubjektív reakciók összevetése ráirányítja a figyelmet a termikus terhelés szempontjából veszélyt jelentő nap-, illetve évszakokra, továbbá a területek átalakításra szoruló kritikus pontjaira (lásd 4.4.1. és 4.4.2. fejezet).

A holland humán-bioklimatológiai kutatások további, a tervezés során hasznosítandó lehetőségekre hívják fel a figyelmet. A területhasználó emberekben az aktuális mikro-bioklimatikus viszonyok nem képeződnek le teljes egészében, hanem az egyes területrészek megítélését (s így használatát) termikus komfort szempontjából a terület más aspektusai, illetve egyéb komfortérzettel kapcsolatos tényezők (pl. felületek érdessége, a felhasznált anyagok és színek „hideg/meleg" jellege, csillogás, nyitottság mértéke stb.) is nagymértékben befolyá-

solják (*Lenzholzer* 2010, *Lenzholzer és Koh* 2010, *Lenzholzer* 2012). Tanulságos tehát a látogatók egyéni véleményén alapuló **kognitív térképek** összevetése az objektív paraméterekkel, vonatkozzanak ezek a térképek akár az összesített szubjektív hőérzetre, vagy akár egy-egy diszkomfortot okozó önálló paraméterre (pl. napsütésre vagy légmozgásra). A szemléletes kognitív térképek mellett számos alapvető információt nyerhetünk még a kérdőíves felméréseken keresztül, melyekből a területtel kapcsolatos egyéb, például a funkcióra vagy az esztétikumra vonatkozó **humán igényekre** is fény derülhet (lásd 4.5. fejezet).

Végezetül a kapott kimenetek (szintézise) alapján a döntéshozóknak, tervezőknek és mérnököknek mérlegelniük kell, hogy a tervezés során felállított alapkoncepció helytállónak bizonyul-e, azaz valóban kiszolgálja-e a városlakók igényeit. Amennyiben igen, a **megvalósítási terv** elfogadásra kerülhet, s elkezdődhetnek a kivitelezési munkálatok. Azonban ha a kimeneti eredmények alapján a közterületek használatát befolyásoló bármelyik aspektus nem teljesül vagy háttérbe szorul, akkor az alapkoncepció és az ehhez kapcsolódó megvalósítási terv elvetésre kerül, ami ez után csak a módosítási alternatívákkal elvégzett, optimálisabb eredményeket adó vizsgálatokat követően hagyható jóvá.

Az 5.3.1. ábrán bemutatott tervezési útmutató segítségével megalkotott közterületek nem csupán a területen időzők pillanatnyi közérzetének javítását szolgálják, hanem hosszú távon és nagyobb léptékben hozzájárulnak a városi lakosság jó közérzetének és egészségének fenntartásához.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatómunkám során különböző területkialakítású és funkciójú szegedi közterületek (pl. közpark, játszótér, sétálóutca) komplex humán-bioklimatológiai felmérésébe kapcsolódtam be, majd elvégeztem a területek részletes értékelését. A vizsgálataimhoz szükséges helyszíni adatgyűjtések két fő irányvonal mentén haladtak. Az ún. *környezeti monitoring* során a vizsgált területeken a termikus komfortérzetet meghatározó mikrometeorológiai paraméterek helyszíni mérésére került sor, illetve ezzel párhuzamosan, az ún. *humán monitoring* keretében a látogatók területhasználatának jellemzőit, szubjektív reakcióit, valamint véleményeiket megfigyeléseken és kérdőíves felvételezéseken keresztül mértük fel. A helyszíni méréseket a későbbiekben egy újabb objektív irányvonallal, a mintaterületeken kifejlődő *mikro-bioklimatikus jellemzők szimulációjával* egészítettem ki, melyet a RayMan és ENVI-met modellek segítségével végeztem el. Ez utóbbit dolgozatomban egy kiválasztott mintaterület (a Retek utcai játszótér) példáján mutattam be. A kiértékelésekhez az *időjárási háttérkörülményeket leíró* − az OMSZ adatbázisából származó − *adatokat* is felhasználtam. A továbbiakban a fentebb említett vizsgálatokhoz kapcsolódó eredményeimet és fontosabb következtetéseimet foglalom össze.

A környezet objektív vizsgálati eredményeire támaszkodva megállapítottam, hogy a területkialakítás (pl. árnyékviszonyok, felszínborítás, zárt kialakítás) a fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) értékeinek alakulására a léghőmérsékletnél (T_a) jelentősebb befolyással bír. A mintaterületek különböző pontjain mért mikro-bioklimatológiai paramétereknek az időjárási háttérparaméterektől való eltérése alapján ugyanis kimutatható, hogy a városi hatásoktól mentes OMSZ-adatoktól való T_a-eltérés abszolút értéke a különböző területeken és a különböző évszakokban csak elvétve haladta meg a 3 °C-ot. Ezzel szemben, a PET-értékek esetén jelentkező különbségek nagyon gyakran a ±10 °C-os tartományt is túlszárnyalták. Az ENVI-mettel végzett mikro-bioklimatológiai szimulációk alapján feltártam, hogy a vizsgált terület (Retek utcai játszótér) különböző árnyékolású és felszínborítású pontjai közt akár 15 °C-ot is meghaladó PET-különbségek fejlődhetnek ki egy derült napon (évszaktól függetlenül), míg az ugyanazon időpontokra vonatkozó T_a-különbségek mértéke 1 °C alatt marad. Hasonló eredményeket kaptam a felhőmentes napokon mért adatok idősorait vizsgálva: a napos és árnyékos mérőpontok közti PET-különbség számos alkalommal meghaladta a 15 °C-ot, míg a T_a-értékek esetén az átlagos eltérés nem lépte túl a 1,5 °C-ot.

A mintaterületeken felmért adatok, illetve a szimulációkkal nyert eredményeim segítségével rávilágítottam, hogy bizonyos területi elrendezések szisztematikus bioklíma-módosító hatással bírnak. Mérésekkel igazoltam a vörös térköves burkolat humán-bioklimatológiai szempontból terhelőbb hatását nyáron a természeteshez közeli, füves felszínborításhoz viszonyítva. A térköves felszínen nyáron az extrém hőstressz kategóriájába eső PET-értékek 9,5%-kal nagyobb gyakorisággal, valamint az enyhe termikus terhelés 2,1%-kal ritkábban fordult elő. Az ENVI-met modell eredményei (a Retek utcai játszótéren) szintén alátámasztották a mesterséges felszín kedvezőtlen hatását: a kavicsbeton borítású (térköves) területen ugyanis nyáron az extrém kategóriába eső PET-értékek domináltak.

A mérési eredmények továbbá rávilágítottak, hogy az árnyékolás a nyári termikus terhelés redukálásában sokkal hatékonyabbnak bizonyul, mint a természeteshez közeli felszínborítás. Az épületek és/vagy a vegetáció általi árnyékolás ugyanis a referenciaadatokhoz képest átlagosan akár 9 °C-kal hűvösebb termikus körülmények kialakulásához vezethet. Emellett (a

Retek utcai játszótér mérési eredményei alapján) kimutatható, hogy az árnyékban a fiziológiai terhelés szintjében kifejezve gyakran 2-3 kategóriával is hűvösebb termikus körülmények voltak tapasztalhatók, mint a terület napsugaraknak kitett részein. A mérések eredményei alapján emellett megállapítást nyert, hogy az épületekkel és/vagy növénysávokkal körülzárt területkialakítás, valamint a magas albedóval bíró világos színű aprókavicsos felszínborítás együttesen a direkt napsugaraknak kitett területrészeken mindhárom vizsgált évszakban az OMSZ-adatoktól átlagosan kb. 6−8 °C-kal magasabb PET-értékeket idéz elő.

A vizsgálati eredményeim alátámasztották, hogy az időjárási háttér erős befolyással bír a kifejlődő mikro-bioklimatológiai különbségek mértékére. A kora tavaszi mérési és modelleredmények ugyanis feltárták, hogy az erős légáramlás nem csupán hűsítő hatást gyakorol a termikus körülményekre, de kimutatható annak mikroklíma-kiegyenlítő szerepe is. Ez elsősorban a helyszín különböző pontjain jelentkező (mért, illetve modellezett) léghőmérséklet-értékek közelségében mutatkozott meg. Emellett mind a mérési, mind pedig a modelleredmények esetén derült égboltviszonyokkal jellemezhető (és szélcsendes) napokon mutattam ki a termikus viszonyok legnagyobb variabilitását.

A PET-értékek legjelentősebb – időbeli és területi – különbségeinek kifejlődéséért a termikus alapparaméterek közül egyértelműen a sugárzási viszonyok változatossága tehető felelőssé. A helyszíni mérésekből származtatott PET-értékek és a globálsugárzás napi menetének együttes vizsgálata ugyanis igazolta, hogy a változó felhőzettel rendelkező napokon a PET-értékek napi mintázata szembetűnően lekövette a globálsugárzás értékeinek − az égbolt befelhősödésével, majd kiderülésével járó – ütemét a napos mérőponton. Ugyanakkor az ENVI-met modell kimeneti térképei alapján kimutatható, hogy a három vizsgált évszakban a termikus körülmények jelentős térbeli variabilitást mutattak a vizsgált területen, ami elsősorban a T_{mrt}-értékek térbeli mintázatával állt szoros kapcsolatban. Ez utóbbi szembetűnően lekövette az árnyékos és napos területek, valamint a különböző felszínborítási típusok elhelyezkedését és alakját, valamint értéke a direkt napsugaraknak kitett területrészeken jóval meghaladta az árnyékban kifejlődött megfelelőjét.

A területkialakításból eredő mikro-bioklíma módosító hatások évszakonként, illetve időjárási háttértől függően értékelhetőek kellemesnek vagy kellemetlennek, melyeket mind a helyszíni mérések, mind pedig a szimulációs eredmények alátámasztanak. A mintaterületek helyszíni mérésén alapuló elemzések alapján ugyanis megfigyelhető, hogy a T_{mrt}- s így a PET-értékek csökkenését előidéző árnyékolás a meleg és forró nyári (vagy őszi) napok alkalmával egyértelműen pozitívan értékelhető, hiszen jelentősen csökkenti a direkt napsugárzás általi hőterhelés mértékét. Az árnyékolás azonban a hűvösebb átmeneti évszakokban többnyire kellemetlenséget okoz, mivel ekkor a hidegstressz szintjének fokozódását idézi elő. Ezt támasztotta alá a mintaterületek különböző pontjaira jellemző PET-kategóriák gyakorisági eloszlásának elemzése, mely szerint tavasszal az árnyékos területen a hideg általi terhelés akár a 80%-os gyakoriságot is meghaladhat, míg nyáron (illetve ősszel) nagyobb gyakorisággal fordultak elő a neutrális vagy ahhoz közeli kategóriák az árnyékban. Az ENVI-met modell eredményei továbbá feltárták, hogy a kavicsbeton (térköves) burkolat a meleg−forró nyári időjárási körülmények esetén az erőteljesebb felmelegedése és ebből adódó hőkibocsátása révén erős és extrém szintű termikus terhelést ró az ott tartózkodók szervezetére. Míg ugyanitt, a hűvösebb időjárási feltételek mellett (tavasszal) a termikus terhelés gyakorlatilag elenyésző.

A Retek utcai játszótér megfigyelési adatbázisának vizsgálata révén megállapítható, hogy a köztéri területhasználat idő- és térbeli mintázatára a termikus viszonyokon kívül egyéb,

szubjektív tényezők is hatással vannak. A látogatottság időbeli alakulására a termikus körülményeken túl a területre érkezők napi életritmusa (pl. az ebédszünet vagy a munkaidő vége) is jelentős befolyással volt. Az erős termikus terheléssel jellemezhető napokon (pl. felhőmentes hőségnapon) a látogatottság napi menetére a drasztikus napközbeni visszaesés, s az árnyékos területek nagyobb arányú igénybevétele volt jellemző. A látogatottság 16:00 óra utáni emelkedése elsősorban a gyermekeket kísérő szülők munkaidejének végével volt összefüggésbe hozható. Az enyhébb időjárási körülmények esetén (pl. változó felhőzetű nyári napon) azonban a látogatók száma, s a napos területek látogatottsága jelentősen megemelkedett. A hűvösebb tavaszi napokon a térre érkezők szintén gyakrabban vették igénybe a napnak kitett területrészeket. Ugyanakkor a területhasználat térbeli mintázatára (melyet a RayMan modell megfelelő termikus stressztérképeivel összevetve vizsgáltam) a termikus körülmények térbeli változékonyságán túl a játszótéri eszközök eltérő preferáltsága is jelentős hatással volt. Ebből adódóan a területen huzamosabban időző gyermekek nem feltétlenül a logikusnak számító humán reakciók szerint használták a mintaterületet, azaz gyakran tartózkodtak olyan területrészeken, ahol szélsőséges termikus terhelés érte szervezetüket.

A kérdőíves felmérésből nyert válaszok alapján kimutattam, hogy a Retek utcán megkérdezettek több mint 70%-a teljes mértékben kellemesnek találta a játszóteret. A látogatók elsősorban a játékok minőségét, mennyiségét, valamint a terület körbekerített, biztonságos mivoltát tartották a legelőnyösebbnek. Az interjúalanyok közel 60%-a egyáltalán nem tudott negatívumot említeni a területtel kapcsolatban, 17%-uk azonban általános problémaként jelölte meg az árnyékolás nem megfelelő voltát, emellett többen a burkolattal kapcsolatos negatív tapasztalataikat emelték ki. A területtel kapcsolatos változtatási lehetőségek közül a legtöbben a fák ültetését, illetve az egyéb mesterséges árnyékolók létesítését jelölték meg, ami összefüggésben áll a terület hiányosságaiként említett tényezőkkel.

A humán-bioklimatológiai vizsgálatok gyakorlati felhasználásához kapcsolódóan az alábbi fontosabb eredményeim születtek.

Kidolgoztam egy olyan módszertani sémát, melyen keresztül a humán-bioklimatológiai vizsgálatok (beleértve annak környezeti és humán monitoring oldalát) a városterezés részfolyamataiba integrálhatók. Reményeim szerint az általam összeállított segédlet lépésein végighaladva a városlakók igényeit jobban kielégítő közterületek tervezhetők.

A mikro-bioklíma modellező szoftverek gyakorlati alkalmazását segítve, a – pontszerű kimeneteket szolgáltató – RayMan modell új felhasználási lehetőségét dolgoztam ki. A szoftvert egy tetszőleges felbontású rácsháló mentén pontról pontra futtattam le, így a modell alkalmassá vált a T_{mrt} és a PET értékeinek területre vonatkozó szimulációjára.

Ugyancsak a modelleknek a városterezés gyakorlatába történő integrálása érdekében – a vizsgálataim során szerzett gyakorlati tapasztalataimra és eredményeimre építve – összevetettem a RayMan és ENVI-met kimeneteit, értékeltem azok megbízhatóságát, valamint egy praktikus segédlet formájában összegeztem a modellek legfontosabb előnyeit és hátrányait, kiemelve az egyes szimulációs szoftverek gyakorlati alkalmazhatóságát. Az ENVI-met és a RayMan hőstressztérképeinek összevetése révén megállapítható, hogy a termikus körülmények térbeli mintázatában bekövetkező napi változásokat, valamint az épületek és a vegetáció PET-értékekre gyakorolt módosító hatását mindkét modell jól illusztrálta, azonban a RayMan rendszerint 2, míg az ENVI-met 3−5 stresszkategóriányi eltéréseket jelzett a terület különböző (árnyékolású és felszínborítású) pontjai között. A RayMan viszonylag homogén térképeivel szemben tehát az ENVI-met hőstressztérképei jóval mozaikosabbnak adódtak. Ez egyrészt a

szimulációk során beállított eltérő térbeli felbontásnak volt tulajdonítható, másrészt annak, hogy az ENVI-mettel ellentétben a RayMan futtatásai során a terület minden modellpontjára ugyanazok a bemeneti meteorológiai adatok vonatkoztak. Emellett az ENVI-met a különféle felszínborítások termikus hatásával is képes számolni, míg ugyanez a RayMan modellről nem mondható el.

A modellek megbízhatóságának vizsgálata során statisztikailag igazoltam a mért és a modellezett PET adatpárok szignifikáns eltérését mind a két szimulációs szoftver esetén. Feltártam, hogy az ENVI-met az árnyékos és a napos területeken is jelentősen alulbecsülte a T_{mrt} és így a PET értékét, ami számszerűen az árnyékban átlagosan 9 °C-os, míg a napon 11 °C-os PET-különbséget jelentett. A markáns eltérés annak tulajdonítható, hogy az ENVI-met a PET kiszámításához szükséges valamennyi alapparamétert szimulálja. A RayMan azonban a terület árnyékos pontjain mindössze átlagosan 1,2 °C-kal maradt alatta mért megfelelőjének, míg a napon kb. 9 °C-kal eredményezett alacsonyabb értékeket. A RayMan-alapú becslések pontosságának jelentős eltérése a modellterület napos és árnyékos részein a következőkkel indokolható. Az árnyékban (a direkt napsugárzás hiányában) a felszínborítás nem ver vissza olyan sok rövidhullámú sugárzást, illetve nem tud úgy felmelegedni, hogy a T_{mrt}-re és a PET-re jelentős hatást gyakoroljon. A napon azonban a felszínborítás hatása számottevő, s mivel ezzel a RayMan nem képes kalkulálni, a mért és modellezett eredmények sokkal távolabb kerültek egymástól. Abban az esetben tehát, ha a RayMan jó közelítést tudna adni a terepi objektumok mellett a felszínborítások termikus viselkedésére is, akkor feltehetőleg kielégítő eredményekkel tudna szolgálni a tér teljes területére vonatkozóan.

Tekintettel a kutatási eredményeimre, valamint a felmérések során szerzett tapasztalataimra, a legsürgetőbb feladatnak a közterületekkel kapcsolatban a nyári hőterhelés mérséklése bizonyul, olyan módon, hogy a beavatkozások ne érintsék hátrányosan a látogatók komfortérzetét az átmeneti évszakok hűvösebb napjain sem. Végezetül tehát – a városklimatológia, valamint a városi humán-bioklimatológia területén szerzett ismereteimre alapozva – összefoglaltam a hőstressz mérséklésére irányuló legfontosabb megoldási alternatívákat, hangsúlyozva például a természetes és mesterséges árnyékolás kedvező hatását, valamint a megfelelő felszínborítás és az utcabútorok ésszerű megválasztását.

7. SUMMARY

In the frame of my research project, local public areas (such as parks, playgrounds, walking streets) with different surface morphology and function were investigated as part of a complex human-bioclimatological research, then a detailed evaluation of the investigated areas was provided. The on-site data collections followed two main methodologies. During the *environmental monitoring*, micro-meteorological parameters determining the thermal comfort were measured on-site, while in the frame of the *human monitoring*, the characteristics of the area usage of the visitors, their subjective reactions and opinions were collected through surveys. To introduce another objective methodology, the on-site measurements were later accompanied by the *simulation of the micro-bioclimatological* parameters by means of the models RayMan and ENVI-met. The simulation-related findings will be discussed in the frame of a case study (one of the two investigated playgrounds, 'Retek utca'). Data from the database of the Hungarian Meteorological Service (HMS) describing the *background meteorological conditions* were also used for the evaluations. Here the results and the main consequences of the aforementioned research project will be summarised.

Measurements showed that the characteristics of the surface design (such as shading, surface coverage, ventilation) have more significant influence on the course of the physiologically equivalent temperature (PET) than the air temperature (T_a). Based on the difference between the micro-bioclimatological parameters measured at various positions and the corresponding (suburban) meteorological background parameters provided by the HMS, the differences between the T_a values and the corresponding background air temperature values were only rarely found to exceed 3 °C (in absolute value) over the different seasons for each investigational area. The similar differences in PET values however frequently went beyond the range of ±10 °C. Micro-bioclimatological simulations by ENVI-met (playground 'Retek utca') revealed that the PET differences between the variously shaded and covered positions of the investigated area on a sunny day exceeded 15 °C (independently of the season), meanwhile the corresponding differences in the T_a values for the same times remained below 1 °C. Similar results were found when comparing the time courses of the data measured on cloudless days: the PET differences between the sun-exposed and shaded positions often exceeded 15 °C, whilst the average difference in the corresponding T_a values was not greater than 1.5 °C.

Based on the data measured in the investigated public areas and the results of the simulations it was shown that certain area designs can modify the bioclimate systematically. Measurements proved the human-bioclimatological loading effect of the red pavement in summer, compared to that of the near natural grassy surface coverage. This was confirmed by the fact that PET values belonging to the category of extreme heat stress occurred by 9.5% greater frequency for the red-paved area, meanwhile slight thermal load was registered there by 2.1% less frequency. The model results by ENVI-met (as run on the investigated playground 'Retek utca') also supported the unfavourable effects of the artificial coverage, since PET values belonging to the extreme heat stress dominated for the cobblestone concrete covered (paved) area in summer.

Measurements revealed that shading may play a more significant role in reducing the summer heat load than the near-natural surface coverage. It was shown that the shading by buildings and/or vegetation may result in by up to 9 °C less warm thermal conditions on aver-

age, as compared to the reference data. Beside this observation, measurement results (for the playground 'Retek utca') confirmed that the thermal conditions expressed in the levels of physiological loading were often by 2 to 3 categories less warm in the shaded areas, than at the sun-exposed locations. Measurements revealed that in all the three investigated seasons, the closed surface design surrounded by buildings and/or vegetation and the surface coverage by light gravel with high-albedo together lead to average PET values in the directly sun-exposed areas by 6 to 8 °C greater than the suburban background data provided by the HMS.

It was proven that the meteorological background significantly influences the extend of the spatial micro-bioclimatological differences. Measurements and model results for early spring days revealed that an intensive airflow not only has a cooling effect on the thermal conditions, but also acts as a micro-climate balancing factor. This observation was mainly reflected by the relatively small differences between the (measured or modelled) air temperature values for different positions of the site. The greatest spatial variability in both the measured and the modelled thermal conditions occurred on sunny (and windless) days.

The radiation parameters was found to be that determining factor out of the thermal parameters, whose variation is obviously responsible for the most pronounced (temporal and spatial) differences in the PET values. Simultaneous investigations on the PET values obtained from the on-site measurements and on the diurnal course of the global radiation proved that the diurnal pattern of the PET values on days with unsteady cloud coverage markedly followed the change of the global radiation above the sunny measurement point. At the same time the output maps of the ENVI-met model suggested that the thermal conditions on the investigated site had a significant spatial variability throughout the three investigated seasons, mostly in connection with the spatial pattern of the T_{mrt} values. The spatial distribution of the T_{mrt} values was in accordance with the locations and the shapes of the areas with various shading conditions or different surface coverage. In addition, the T_{mrt} values on the sites exposed to direct sunlight significantly exceeded the corresponding values in the shade.

On-site measurements and simulation results both supported that the modifying effects of the area design on the micro-bioclimatic conditions may be considered to be pleasant or unpleasant depending on the season and the meteorological background conditions. The on-site measurement based evaluations of the investigated areas revealed that the shading, which aims the reduction of the T_{mrt} values and thereby the PET values on warm and hot summer (or autumn) days, has an unquestionably positive effect by significantly reducing the heat load by direct sunlight. In the cooler transitional seasons however it may have an unfavourable effect, since in these periods it may enhance the level of cold stress. The analysis of the frequency distribution of the PET categories for different positions supported that in spring, the frequency of cold stress occasionally exceeded 80% in the shaded areas, while in summer (or in autumn) neutral and nearly neutral categories prevailed under such shading conditions. ENVI-met model results revealed that the enhanced warming and heat emission of the cobblestone concrete covered (paved) areas under warm or hot summer conditions cause strong or extreme thermal stress on the visitors. The thermal stress under cooler meteorological conditions (in spring) is here however practically negligible.

The observations on the attendance of the playground 'Retek utca' suggested that beside the thermal conditions, other subjective factors also affect the temporal and spatial patterns of the public area usage. Beside the thermal conditions, the diurnal cycle (such as lunch break or the end of business hours) of the visitors' activity had a significant effect on the temporal vis-

itation pattern. On days with strong heat load (such as on cloudless ‘heat days’), a drastic reduction characterised the diurnal course of attendance around midday, and the usage of the shaded areas was more pronounced at these times. The increase in attendance after 4 p.m. could mainly be attributed to the end of the working time of the parents, who brought their children to the playground. On days with calmer meteorological conditions (such as on summer days with changing cloud coverage), both the number of visitors and the attendance of the sun-exposed areas were significantly greater. On cooler spring days, the visitors again rather preferred the sun-exposed parts of the area. The comparison of the area usage maps with the thermal stress maps obtained by RayMan revealed that beside the spatial variety of the thermal conditions, the different preference of the various items of the playground equipment also significantly affected the spatial pattern of the area usage. Thereby the children at the playground utilised the investigated area not necessarily according to the logical human reactions, i.e. they often stayed in such parts of the area, where their body was exposed to an extreme thermal load.

Based on the survey results, more than 70% of the visitors considered the playground ‘Retek utca’ definitely pleasant. The visitors mostly acknowledged the quality of the playground equipment and the safety of the playground due to the fences. Around 60% of the people asked mentioned no negative experience in connection with the playground. 17% of the interviewees considered it as a general problem that the shading is not satisfactory, and some of them emphasised their negative experiences regarding the surface coverage. As a suggested change, most of the interviewees mentioned that trees should be planted and artificial sun shields should be installed. These suggestions were in harmony with the facts they mentioned among the shortcomings of the playground.

The results in connection with the practical applications of the human bio-climatological investigations are the following.

A methodology was elaborated through which the human-bioclimatological investigations (including the environmental monitoring and the human monitoring) could be integrated into the sub processes of the urban area development. The steps of the provided guide will hopefully help fulfilling the needs of the inhabitants during the public area design in the future.

In order to help the practical application of the micro-bioclimatic modelling software products, a new utilization was elaborated for the RayMan model, which normally provides point-like output. Running the model on the grid points of a grid of arbitrary resolution allowed simulating the T_{mrt} and PET values over a whole area.

In order to promote the integration of the models in the practice of the urban area development, the outputs of the RayMan and ENVI-met simulations were compared, their reliability was evaluated, and the main advantages and disadvantages of the two models were summarised in form of a practical guide, which highlights the potentials of the individual software products for the practical applications. The comparison of the heat stress maps by ENVI-met and RayMan supported that both models are capable to illustrate the diurnal changes in the spatial pattern of the thermal conditions, as well as the modifying effect of the buildings and the vegetation on the PET values. It was however observed that while RayMan predicted differences of 2 stress category levels between the differently shaded or covered points of the area, this difference was 3 to 5 levels in case of ENVI-met. Thereby the heat stress maps by ENVI-met were relatively uneven, as compared to the more homogeneous maps by RayMan.

This could be explained by the facts that different spatial resolutions were used for the two types of simulations, and the same input meteorological data were applied to all the model points of the RayMan simulations, while the input data for ENVI-met simulations were position dependent. Beside these two reasons, out of the two models only ENVI-met is capable to take into account the thermal effect of the surface coverage.

The analysis of the reliability of the models proved a statistically significant difference between the pairs of measured and modelled PET values for both simulation software products. ENVI-met was found to significantly underestimate the T_{mrt} and thereby the PET values both for the shaded and the sun-exposed areas. The average underestimation for the positions in the shade and exposed to the sun was 9 °C and 11 °C (in PET), respectively. This pronounced deviation can be attributed to the fact that ENVI-met simulates all the fundamental parameters used for calculating the PET values. Contrary to the ENVI-met simulation results, RayMan predicted PET values for the positions in the shade and exposed to the sun only by 1.2 °C and 9 °C less than the corresponding measured values, respectively. The significant difference between the accuracy of the RayMan based estimations for the shaded and sun-exposed positions can be reasoned by the following. Due to the lack of the direct sunshine, the reflected short-wave radiation and the warming up of the surface is not enough to notably affect the T_{mrt} and PET values in the shade. However in the areas exposed to the sun, the effect of the surface coverage is much more pronounced, and since RayMan is not able to take this factor into account, the difference between the measured and the modelled values will be greater here. As a conclusion, if RayMan could provide a satisfying estimation for the thermal behavior of not only the field objects but also of the surface coverage, then probably acceptable results could be obtained by this model for the whole investigated area.

According to the investigation results and experiences, the most urgent task in connection with public area design proved to be the reduction of the summer heat stress by such solutions, which do not impair the thermal comfort of the visitors even on the cooler days of the transitional seasons. Based on the practice of the urban climatology and urban human-bioclimatology, a summary of the most relevant actions for heat stress reduction was provided with the emphasis on the favourable effect of natural and artificial shading and the importance of the reasonable choice of the surface coverage and the street equipment.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani DR. UNGER JÁNOS tanszékvezető egyetemi tanárnak a kutatásomhoz és vizsgálataimhoz szükséges technikai feltételek és erőforrások megteremtéséért. Hálával tartozom önzetlen segítségéért, a szakmai beszélgetésekért, a dolgozatomhoz hozzáadott szakértelméért. Ugyancsak köszönet illeti DR. KÁNTOR NOÉMI tanszéki munkatársat, aki mindvégig figyelemmel kísérte kutatásaim menetét, szakmai tanácsokkal lendítette előre munkámat, s időt és energiát nem kímélve segítséget nyújtott disszertációm elkészítésében.

Külön köszönöm DR. ZÖLD ANDRÁS nyugalmazott egyetemi tanárnak, hogy előadásaiból és a vele való beszélgetésekből mind szakmailag, mind pedig emberileg meríthettem, s ezek által közelebb kerülhettem a mérnökök és várostervezők szemléletmódjához.

Köszönet illeti DR. GÁL TAMÁS egyetemi adjunktust és TAKÁCS ÁGNES PhD-hallgatót az adatok felvételezésében és a mikroklíma-modellezésekben nyújtott segítségükért, valamint a modellek gyorsabb lefutását támogató scriptek elkészítéséért.

Továbbá szeretnék köszönetet mondani az SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM ÉGHAJLATTANI ÉS TÁJFÖLDRAJZI TANSZÉK VALAMENNYI MUNKATÁRSÁNAK, valamint volt és jelenlegi PHD-HALLGATÓJÁNAK, hogy szakmai és lelki támogatásukkal hozzájárultak ahhoz, hogy ez az értekezés megszülethessen. Külön ki kell emelnem KOVÁCS ATTILA PhD-hallgatót, aki az utóbbi években sokat segített publikációim szakmai és nyelvi lektorálásában.

Hálával tartozom Bátyámnak, DR. ÉGERHÁZI LÁSZLÓ egyetemi adjunktusnak tanácsaiért, ötleteiért, s az angol nyelvű publikációim elkészítésében nyújtott segítségéért. Végezetül köszönöm SZERETTEIMNEK, hogy az utolsó mondatok megszületéséig támogattak és bíztattak.

IRODALOMJEGYZÉK

Ali-Toudert F (2005): Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate. *Ber Meteor Inst Albert-Ludwigs-Univ Freiburg 15*, 224 p

Ali-Toudert F, Djenane M, Bensalem R, Mayer H (2005): Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Clim Res 28*, 243−256

Ali-Toudert F, Mayer H (2006): Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Build Environ 41*, 94−108

Ali-Toudert F, Mayer H (2007): Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Sol Energy 81*, 742−754

Asaeda T, Ca VT, Wake A (1996): Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmos Envir 30*, 413−427

Asawa T, Hoyano A, Nakaohkubo K (2008): Thermal design tool for outdoor spaces based on heat balance simulation using a 3D-CAD system. *Build Environ 43*, 2112−2123

ASHRAE (2001): Chapter 14 – Measurement and instruments. In: *ASHRAE Handbook: Fundamentals.* American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 14.28-14.29

ASHRAE (2003): *ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. BSR/ASHRAE Standard 55P, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 52 p

Azar S (2013): TownScope honlapja. http://www.townscope.com [2013. szeptember]

Bartholy J, Pongrácz R, Pieczka I (2014): How the climate will change in this century? *Hung Geogr Bull 63*, 55−67

Bánhidi L (1976): *Zárt terek hőérzeti méretezése.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 274 p

Berkovic S, Yezioro A, Bitan A (2012): Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Sol Energy 86*, 1173−1186

Bruse M, Fleer H (1998): Simulating surface−plant−air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environ Modell Softw 13*, 373−384

Bruse M (2004): ENVI-met honlapja. http://www.envimet. com [2013. szeptember]

Bruse M (2009): Analysing human outdoor thermal comfort and open space usage with the Multi-Agent System BOTworld. *The 7th Int Conf on Urban Climate*, 29 June − 3 July 2009, Yokohama, Japan, 4 p

Büttner K (1938): *Physikalische Bioklimatologie*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 155 p

Carnielo E, Zinzi M (2013): Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand. *Build Environ 60*, 56−65

Charalampopoulos I, Tsiros I, Chronopoulou-Sereli A, Matzarakis A (2013): Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece. *Urban Ecosyst 16*, 217−233

Chen L, Ng E (2012): Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decase. *Cities 29*, 118−125

Chow WTL, Pope RL, Martin CA, Brazel AJ (2011): Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts. *Theor Appl Climatol 103*, 197−211

Cohen P, Potchter O, Matzarakis A (2012): Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. *Build Environ 51*, 285−295

Craul PJ (1994): Soil compaction on heavily used sites. *J Arboriculture 20*, 69−74

d'Ambrosio Alfano FR, Dell'Isola M, Palella BI, Riccio G, Russi A (2013): On the measurement of the mean radiant temperature and its influence on the indoor thermal environment assessment. *Build Environ 63*, 79−88

Dixon JC, Prior MJ (1987): Wind-chill indices − a review. *Meteorol Mag 116*, 1−17

Doichinova V, Zhiyanski M, Hursthouse A (2006): Impact of urbanisation on soil characteristics. *Environ Chem Lett 3*, 160−163

Dostal P, Katzschner A, Bruse M, Huttner S (2009): Quantifying the human thermal-heat-stress in Central European cities with BOTworld and on site-interviews as analysing tool to estimate the thermal sensation of pedestrians. *The 7th Int Conf on Urban Climate*, 29 June − 3 July 2009, Yokohama, Japan, 4 p

Eliasson I, Holmer B (1990): Urban heat island circulation in Göteborg, Sweden. *Theor Appl Climatol 42*, 187−196

Eliasson I (2000): The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape Urban Plan 48*, 31–44

Eliasson I, Upmanis H (2000): Nocturnal airflow from urban parks − implications for city ventilation. *Theor Appl Climatol 66*, 95−107

Eliasson I, Knez I, Westerberg U, Thorsson S, Lindberg F (2007): Climate and behavior in a Nordic city. *Landscape Urban Plan 82*, 72−84

Emmanuel R, Johansson E (2006): Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka. *Clim Res 30*, 189−200

Epstein Y, Moran DS (2006): Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Ind Health 44*, 388−398

Erell E, Pearlmutter D, Williamson T (2011): *Urban microclimate: Designing the Spaces Between Buildings*. Earthscan, London, 266 p

Égerházi LA, Gál T (2012): Assessment of the bioclimatic conditions of a popular playground by the microclimate model ENVI-met. *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis 46*, 107−114

Égerházi LA, Kántor N, Takács Á, Unger J (2012a): Patterns of attendance and thermal conditions on a pedestrian street. *In: Proceed 8th Int Conf on Urban Climate*, 6–10 August 2012, Dublin, Ireland, Paper 170

Égerházi LA, Kántor N, Takács Á, Gál T, Unger J (2012b): Thermal stress maps validation with on-site measurements in a playground. *In: Proceed 8th Int Conf on Urban Climate*, 6–10 August 2012, Dublin, Ireland, Paper 169

Égerházi LA, Kántor N, Gál T (2013a): Evaluation and modelling the micro-bioclimatological conditions of a popular playground in Szeged, Hungary. *Int Review of Applied Sciences and Engineering 4*, 57−61

Égerházi LA, Kovács A, Kántor N, Unger J (2013b): Examination of the simulated thermal conditions in a popular playground related to the human reactions and the judgment of the area design. *In: Pandi G, Moldovan F (eds): Proceed of the Air and Water Components of the Environment*, 22–23 March 2013, Cluj-Napoca, Romania, 277−284

Égerházi LA, Kovács A, Unger J (2013c): Application of microclimate modelling and onsite survey in planning practice related to an urban micro environment. *Adv Meteorol*, Article ID: 251586

Égerházi LA, Kovács A, Takács Á, Égerházi L (2014): Comparison of the results of two micrometeorological models and measurements. *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis 47−48* (in press)

Fanger PO (1972): *Thermal Comfort.* McGraw-Hill Book Co., New York, 244 p

Farsang A, Puskás I (2007): Városi és ipari területek talajai: Talajok nehézfémtartalmának vizsgálata háttérszennyezettség kimutatására Szegeden. *In: Mezősi G (ed): Városökológia*. JATEPress, Szeged, 99−117

Fiala D, Lomas KJ, Stohrer M (2001): Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int J Biometeorol 45*, 143–159

Fiala D, Havenith G, Bröde P, Kampmann B, Jendritzky G (2012): UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *Int J Biometeorol 56*, 429−441

Fintikakis N, Gaitani N, Santamouris M, Assimakopoulos M, Assimakopoulos DN, Fintikaki M, Albanis G, Papadimitriou K, Chryssochoides E, Katopodi K, Doumas P (2011): Bioclimatic design of open public spaces in the historic centre of Tirana, Albania. *Sustain Cities Soc 1*, 54−62

Fonyó A (1998): *Élettan gyógyszerészhallgatók részére.* Medicina, Budapest, 538 p

Fröhlich D, Matzarakis A (2013): Modeling of changes in thermal bioclimate: examples based on urban spaces in Freiburg, Germany. *Theor Appl Climatol 111*, 547−558

Gagge AP, Stolwijk JAJ, Nishi Y (1971): An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Tran 77*, 247−262

Gagge AP, Fobelets AP, Berglund LG (1986): A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Tran 92*, 709−731

Gál T, Unger J (2009): Detection of ventilation paths using high-resolution roughness parameter mapping in a large urban area. *Build Environ 44*, 198−206

Goličnik B, Thompson CW (2010): Emerging relationships between design and use of urban park spaces. *Landscape Urban Plan 94*, 38−53

Gulyás Á, Unger J, Balázs B, Matzarakis A (2003): Analysis of the bioclimatic conditions within different surface structures in a medium-sized city (Szeged, Hungary). *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis 36−37,* 37−44

Gulyás Á, Unger J, Matzarakis A (2006): Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. *Build Environ 41*, 1713−1722

Gulyás Á (2009): *Humán bioklimatológiai értékelések különböző léptékű megközelítésben*. Doktori (PhD) értekezés, SZTE Földtudományok Doktori Iskola, 109 p http://www.fft-geo.hu/data/fft/content/161-1-2009-GulyasA-ertekezes.pdf

Hamdi M, Lachiver G, Michaud F (1999): A new predictive thermal sensation index of human response. *Energy Buildings 29*, 167−178

Havenith G (2005): Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress. *In: Kirch W, Menne B, Bertollini R (eds): Extreme Weather Events and Public Health Responses. Springer-Verlag, Berlin,* 69−80

He J, Hoyano A, Asawa T (2009): A numerical simulation tool for predicting the impact of outdoor thermal environment on building energy performance. *Appl Energ 86*, 1596−1605

Höppe P (1984): Die Energiebilanz des Menschen. *Wiss Mitt Meteor Inst Univ München 49,* 171 p

Höppe P (1985): Anwendungsmöglichkeiten eines instationären Energiebilanzmodells zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit. *Ann Meteorol 22*, 17−18

Höppe P (1992): Ein neues Verfahren zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur im 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, present and future. *Int J Biometeorol 40*, 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

Höppe P (2002): Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy Buildings 34*, 661−665

Huizenga C, Zhang H, Arens E (2001): A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. *Build Environ 36*, 691−699

Huttner S, Bruse M, Dostal P (2008): Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. *Ber Meteor Inst Albert-Ludwigs-Univ Freiburg 18*, 307−312

Huttner S, Bruse M, Dostal P, Katzschner A (2009): Strategies for mitigating thermal heat stress in Central European cities: The project KLIMES. *The 7th Int Conf on Urban Climate*, 29 June − 3 July 2009, Yokohama, Japan, 5 p

Hwang RL, Lin TP, Matzarakis A (2011): Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. *Build Environ 46*, 863−870

IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [*Stocker TF et al. (eds)*]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 1535 p

ISO (2005): Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. *ISO 7730:2005(E)*

Jámbor I (1982): *Zöldfelületrendezés*. Kertészeti Egyetem, Budapest, 181 p

Jendritzky G, Sönning W, Swantes HJ (1979): Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung (Klima-Michel-Modell). *ARL Beitrage 28*, 85 p

Jendritzky G (1993): The atmospheric environment − an introduction. *Experientia 49,* 733−740

Johansson E, Yahia MV (2012): Improving outdoor thermal comfort in warm-humid Guayaquil, Ecuador through urban design. *The 8th Int Conf on Urban Climate,* 6−10 August 2012, Dublin, Ireland, 4 p

Johansson E, Thorsson S, Emmanuel R, Krüger E (2014): Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. *Urban Climate*, http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2013.12.002

Jonsson P (2004): Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *Int J Climatol 24*, 1307−1322

Kántor N, Gulyás Á, Égerházi LA, Unger J (2009): Objective and subjective aspects of an urban square's human comfort – case study in Szeged (Hungary). *Ber Meteor Inst Albert-Ludwigs-Univ Freiburg 18*, 241−246

Kántor N, Unger J (2010): Benefits and opportunities of adopting GIS in thermal comfort studies in resting places: An urban park as an example. *Landscape Urban Plan 98*, 36−46

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, Gulyás Á, Égerházi LA, Unger J (2011a): Assessments of the Outdoor Thermal Conditions in Szeged, Hungary: Thermal Sensation Ranges for Local Residents. *In: Gerdes A, Kottmeier C, Wagner A (eds): Climate and Constructions*, 24−25 October 2011, Karlsruhe, Germany, 181−190

Kántor N, Égerházi LA, Gulyás Á (2011b): Assessments of the Outdoor Thermal Conditions in Szeged, Hungary: Perceptions and Preferences of Local Individuals. In *Gerdes A, Kottmeier C, Wagner A (eds)*: *Climate and Construction*, 24−25 October 2011, Karlsruhe, Germany, 307−314

Kántor N (2012): *Városi közterületek termikus komfortviszonyainak értékelése Szeged példáján különös tekintettel a látogatók szubjektív reakcióira*. Doktori (PhD) értekezés, SZTE Környezettudományi Doktori Iskola, 124 p
http://doktori.bibl.u-szeged.hu/1450/1/PhD_Dolgozat_Kantor_Noemi_2012_RGB.pdf

Kántor N, Égerházi LA, Unger J (2012a): Subjective estimation of thermal environment in recreational urban spaces − Part 1: investigations in Szeged, Hungary. *Int J Biometeorol 56*, 1075−1088

Kántor N, Unger J, Gulyás Á (2012b): Subjective estimations of thermal environment in recreational urban spaces − Part 2: international comparison. *Int J Biometeorol 56*, 1089−1101

Kántor N, Kovács A, Lin TP (2014): Looking for simple correction functions between the mean radiant temperature from the 'standard black globe' and the 'six-directional' techniques in Taiwan. *Theor Appl Climatol* (in press)

Kis-Kovács G (2008): Emberi hőérzet, hőhatás, hőstressz. *In: Holicska Sz* (ed): *Embertpróbáló időjárás: orvosmeteorolóógiáról mindenkinek*. Athenaeum 2000, 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

Knez I, Thorsson S (2008): Thermal, emotional and perceptual evaluations of a park: Cross-cultural and environmental attitude comparisons. *Build Environ 43*, 1483−1490

Kovács A, Unger J (2014): A modification of Tourism Climatic Index to Central European climatic conditions – examples. *Időjárás 119* (in press)

Krüger EL, Minella FO, Rasia F (2011): Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Build Environ 46*, 621−634

Landsberg HE (1981*): The Urban Climate*. Academic Press, New York, 275 p

Lányi P (1990): *Vigyázat! Frontbetörés*. Medicina, Budapest, 206 p

Lenzholzer S (2010): Engrained experience – a comparison of microclimate perception schemata and microclimate measurements in Dutch urban squares. *Int J Biometeorol 54*, 141−150

Lenzholzer S, Koh J (2010): Immersed in microclimatic space: Microclimate experience and perception of spatial configurations in Dutch squares. *Landscape Urban Plan 95*, 1−15

Lenzholzer S (2012): Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resour Conserv Recy 64*, 39−48

Lin TP, Matzarakis A (2008): Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *Int J Biometeorol 52*, 281−290

Lin TP (2009): Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Build Environ 44*, 2017−2026

Lin TP, Matzarakis A, Hwang RL (2010): Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Build Environ 45*, 213−221

Lin TP, Lien HC, Shi-Q Yang (2012): User behavior patterns and adaptations related to thermal comfort in urban open spaces in hothumid regions. *In: Proceed 8th Int Conf on Urban Climate*, 6–10 August 2012, Dublin, Ireland, Paper 77

Lindberg F, Holmer B, Thorsson S (2008): SOLWEIG 1.0 – Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *Int J Biometeorol 52*, 697−713

Lindberg F, Grimmond CSB (2011): The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation. *Theor Appl Climatol 105*, 311−323

Mahmoud AHA (2011): Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. *Build Environ 46*, 2641−2656

Manou-Andreadis N, Milona M (2013): Water designing for Sustainability, Purity and Comfort. *J Sustainable Architecture and Civil Engineering 4*, 51−56

Matuschek O, Matzarakis A (2010): Estimation of sky view factor in complex environment as a tool for applied climatological studies. *In: Matzarakis A, Mayer H, Chmieliewski FM (eds)*: *Proceed 7th Conf on Biometeorology*. *Ber Meteorol Inst Albert-Ludwigs-Univ Freiburg 20*, 534−539

Matzarakis A, Mayer H (1996): Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO Newsletter 18*, 7−10

Matzarakis A, Mayer H (1997): Heat stress in Greece. *Int J Biometeorol 41*, 34−39

Matzarakis A, Karatarakis N, Sarantopoulos A (2005): Tourism climatology and tourism potential for Crete, Greece. *Ann Meteorol 41*, 616−619

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

Matzarakis A, Rutz F, Mayer H (2010): Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *Int J Biometeorol 54*, 131−139

Matzarakis A, Matuschek O (2011) Sky view factor as a parameter in applied climatology – rapid estimation by the SkyHelios model. *Meteorol Z 20*, 39−45

Matzarakis A, Nastos PT (2011): Human-biometeorological assessment of heat waves in Athens. *Theor Appl Climatol 105*, 99−106

Mayer H, Höppe P (1987): Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor Appl Climatol 38*, 43−49

Mayer H (1993): Urban bioclimatology. *Experientia 49*, 957−963

Mayer H, Matzarakis A (1998): Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. *In: Proceed Int Symposium on Monitoring and Management of Urban Heat Island Fujisawa, Japan*, 155−168

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 Z 17*, 241−250

McPherson EG, Nowak D, Heisler G, Grimmond S, Souch C, Grant R, Rowntree R (1997): Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project. *Urban Ecosyst 1*, 49−61

Németh Á (2011): Changing thermal bioclimate in some Hungarian cities. *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis 44−45*, 93−101

Ng E, Chen L, Wang Y, Yuan C (2012): A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Build Environ 47*, 256−271

Nikolopoulou M, Baker N, Steemers K (2001): Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Sol Energy 70*, 227−235

Nikolopoulou M, Steemers K (2003): Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy Buildings 35*, 95−101

Nikolopoulou M, Lykoudis S (2006): Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Build Environ 41*, 1455−1470

Nikolopoulou M, Lykoudis S (2007): Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. *Build Environ 42*, 3691−3707

Nishimura N, Nomura T, Iyota H, Kimoto S (1998): Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology. *Sol Energy 64,* 177−207

Nunez M, Oke TR (1977): The energy balance of an urban canyon. *J Appl Meteorol 16,* 11−19

Oke TR (1974): *Review of urban climatology 1968-1973*. WMO Tech. Note No. 134, 152 p

Oke TR, Maxwell GB (1975): Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmos Environ 9,* 191–200

Oke TR (1981): Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *J Climatol 1,* 237–254

Oke TR (1987)*: Boundary Layer Climates.* Routledge, London−New York, 435 p

Oke TR (1988): The urban energy balance. *Prog Phys Geogr 12,* 471−508

Oliveira S, Andrade H (2007): An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public space in Lisbon. *Int J Biometeorol 52,* 69−84

OMSZ – Országos Meteorológiai Szolgálat (2008): Éghajlati adatsorok 1901-2000, Szeged, CD-ROM

Peng LLH, Jim CY (2013): Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. *Energies 6,* 598−618

Peterson JT, Stoffel TL (1980): Analysis of urban-rural solar radiation data from St. Louis, Missouri. *J Appl Meteorol 19,* 275−283

Péczely Gy (1979): *Éghajlattan*. Tankönyvkiadó, Budapest, 336 p

Polónyi I, Timár J (2006): *Oktatáspolitika és demográfia (Educational policy and demographics)*. Kutatás közben No 274., Felsőoktatási Kutatóintézet, Budapest, 60 p

Probáld F (1975): A városklimatológia időszerű feladatai. *Időjárás 79,* 69−76

RUROS (2011): Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces – RUROS projekt honlapja. http://alpha.cres.gr/ruros/ [2013. szeptember]

Schuh A (2009): *Bioklíma – Az időjárás hatása az ember egészségére*. Corvina Kiadó, Budapest, 140 p

Shahidan MF, Shariff MKM, Jones P, Salleh E, Abdullah AM (2010): A comparison of *Mesua ferrea L.* and *Hura crepitans L.* for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort. *Landscape Urban Plan 97,* 168−181

Shashua-Bar L, Hoffman ME (2000): Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy Buildings 31,* 221−235

Shashua-Bar L, Hoffman ME, Tzamir Y (2006): Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate. *Build Environ 41,* 343−354

Shashua-Bar L, Pearlmutter D, Erell E (2009): The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape Urban Plan 92,* 179−186

Shashua-Bar L, Tsiros IX, Hoffman ME (2010): A modeling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece. *Build Environ 45,* 2798−2807

Shashua-Bar L, Pearlmutter D, Erell E (2011): The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *Int J Climatol 31,* 1498−1506

Spagnolo J, de Dear R (2003)*:* A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Build Environ 38,* 721−738

Stathopoulos T, Wu H, Zacharias J (2004): Outdoor human comfort in an urban climate. *Build Environ 39,* 297−305

Steadman RG (1971): Indices of windchill of clothed persons. *J Appl Meteorol 10,* 674−683

Stolwijk JAJ, Hardy JD (1966): Temperature regulation in man – A theoretical study. *Pflügers Archiv 291,* 129−162

Szabó Gy (1996): Nehézfémek a talajban. *Földrajzi Közlemények 120 (44),* 253−266

Szűcs Á (2013): Wind comfort in a public urban space − Case study within Dublin Docklands. *Frontiers of Architectural Res 2,* 50−66

Tan CL, Wong NH, Jusuf SK (2013): Outdoor mean radiant temperature estimation in the tropical urban environment. *Build Environ 64,* 118−129

Teller J, Azar S (2001) Townscope II − A computer system to support solar access decison-making. *Sol Energy 70,* 187−200

Thorsson S, Lindqvist M, Lindqvist S (2004): Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *Int J Biometeorol 48*, 149−156

Thorsson S, Honjo T, Lindberg F, Eliasson I, Lim EM (2007a): Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public spaces. *Environ Behav 39*, 660−684

Thorsson S, Lindberg F, Eliasson I, Holmer B (2007b): Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *Int J Climatol 27*, 1983−1993

UCS (2012): Urban Climate Space – UCS projekt honlapja. http://www.gvc.gu.se/Forskning/klimat/stadsklimat/gucg/concluded-projects/urban-climate-space/ [2013. szeptember]

UNFPA (2011): *The State of World Population 2011*. Report of the United Nations Population Fund. 124 p (www.unfpa.org [2014. január])

Unger J (1992): Diurnal and annual variation of the urban temperature surplus in Szeged, Hungary. *Időjárás 96*, 235−244

Unger J (1995): Szeged városklímájának bioklimatológiai értékelése. *Légkör 40*, 29−33

Unger J (1996): Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary. *Theor Appl Climatol 54*, 147−151

Unger J (1997): Városklimatológia – Szeged városklímája. *Acta Clim Univ Szegediensis 31/B*, 69 p

Unger J, Gulyás Á (2000): A városi vízmérleg jellemzői. *Légkör 45*, 19−23

Unger J, Sümeghy Z (2002): *Környezeti klimatológia*. JATEPress, Szeged, 202 p

Unger J, Sümeghy Z, Kántor N, Gulyás Á (2012): *Kisléptékű környezeti klimatológia*. JATEPress, Szeged, 221 p

VDI 3789 (1994): Environmental meteorology, interactions between atmosphere and surface; calculation of short- and long wave radiation. *Part I: Climate. VDI 3789*, Part 2. Beuth, Berlin, 52 p

VDI 3787 (1998): Methods for the human-biometeorological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. *Part I: Climate. VDI 3787, Part 2.* Beuth, Berlin, 29 p

WHO (2004): *Heat-waves: risks and responses*. Health and Global Environmental Change Series, No 2, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 124 p

WMO (1992): Climatic impacts and applications. *No 726, Chapter 6*, 72−80

Wong NH, Jusuf SK (2008): GIS-based greenery evaluation on campus master plan. *Landscape Urban Plan 84*, 166−182

Wyoming Weather Web (2013): Weather information from the University of Wyoming, Department of Atmospheric Science. http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html (WMO állomás száma: 12982) [2013. május]

Yang X, Zhao L, Bruse M, Meng Q (2013): Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Build Environ 60*, 93−104

A felhasznált képek internetes hivatkozásai

[1] fekete színűre festett gömbhőmérő (2.4.3.a ábra): http://novalynx.com/products/210-4417-globe-thermometer/?search=globe%20thermometer

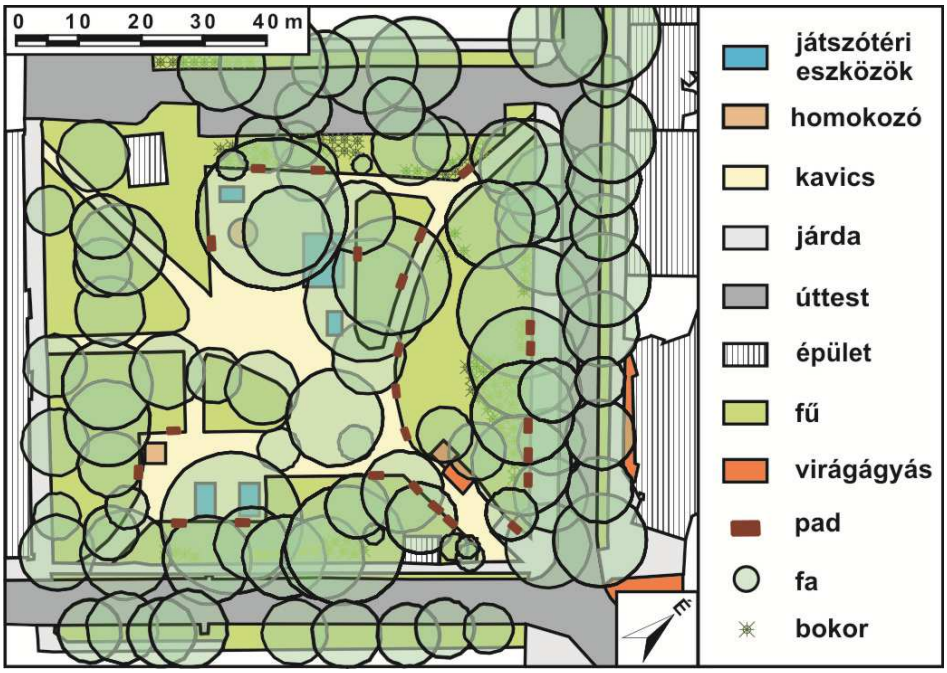
[2] napvitorla (5.2.1. ábra): http://gardensopron.eu/index.php?page=Mire_jo_a_napvitorla_HU

[3] vízfal (5.2.4. ábra): http://whateverslovely.com/wp-content/uploads/2011/10/Water-Wall-2.jpg

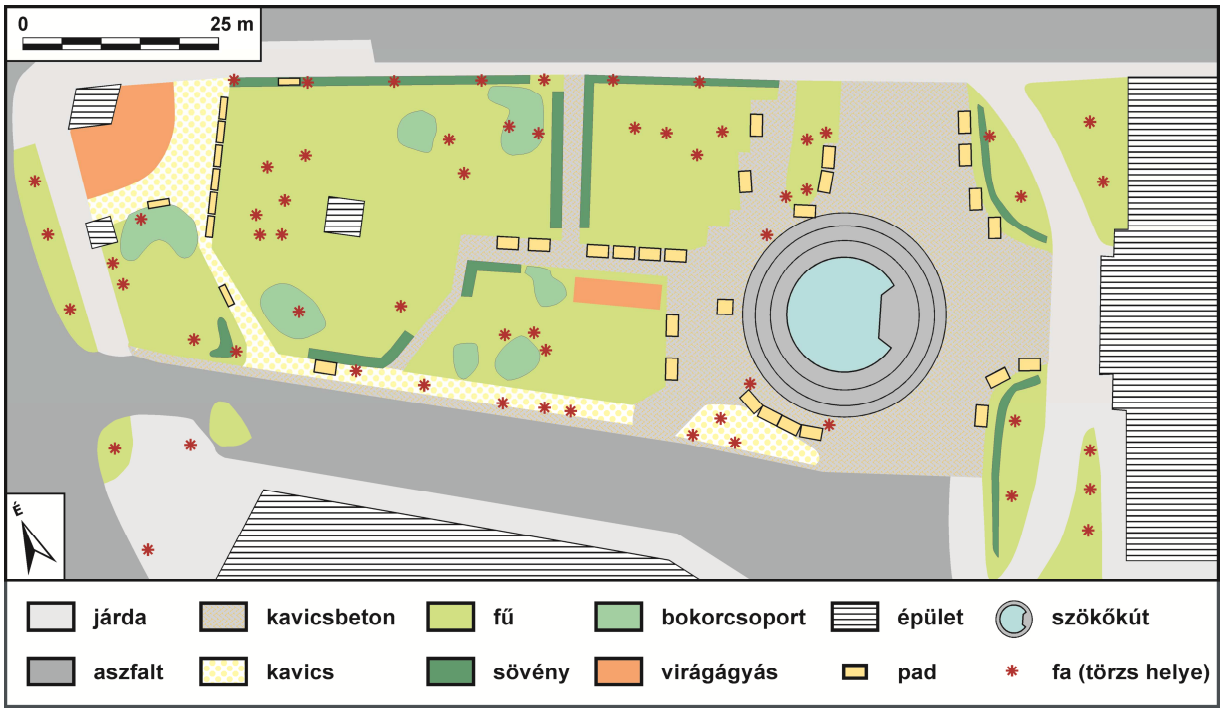
[4] szökőkút (5.2.4. ábra): http://www.discoverczech.com/apictures/z_karlovyvary/marianske-lazne/sights/singing-fountain/singing-fountain_v.jpg

MELLÉKLETEK
A DOLGOZAT MÓDSZERTANI ÁTTEKINTÉSÉHEZ
(3. FEJEZET)

1.1. melléklet A Honvéd téri játszótér térképe

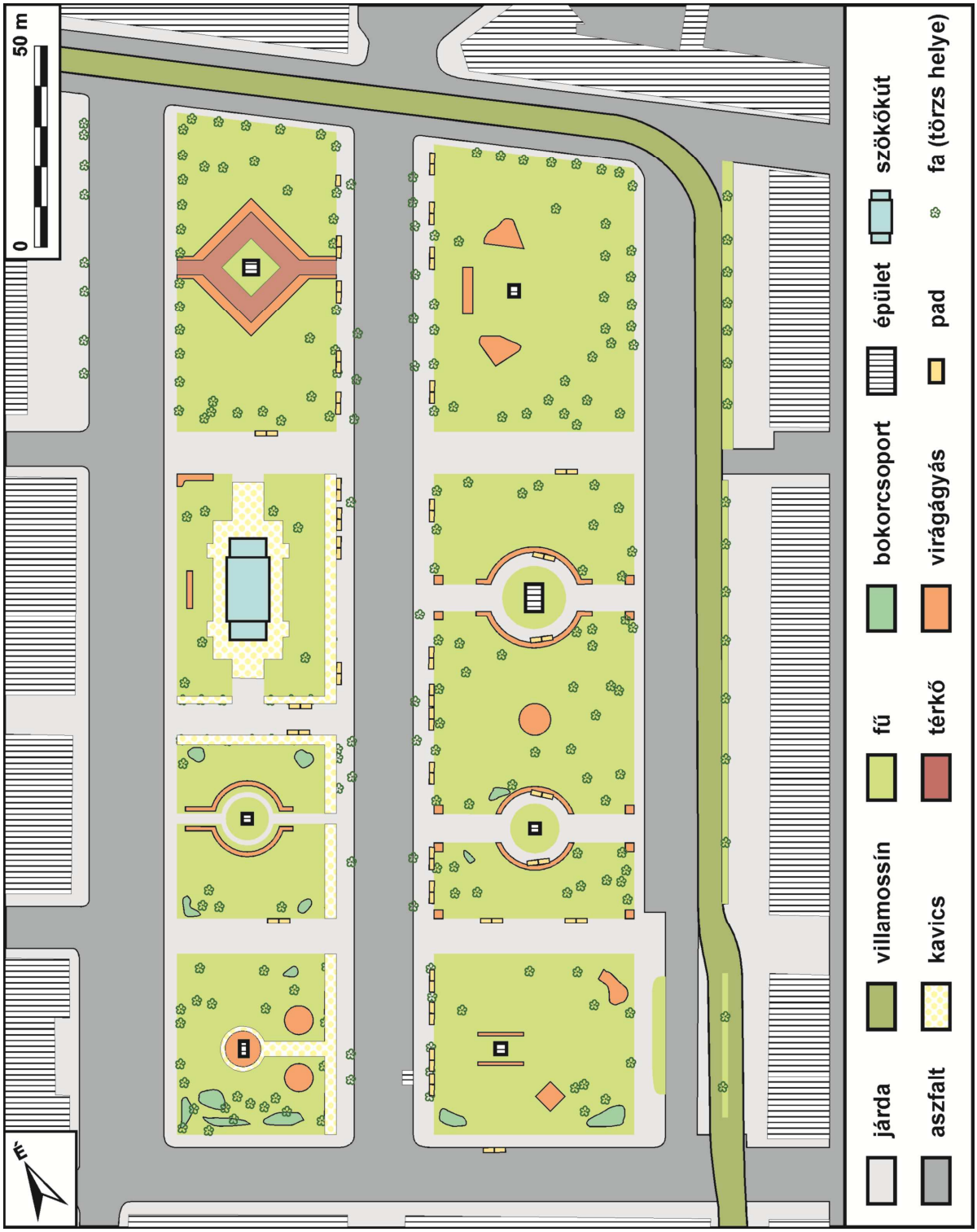


1.2. melléklet A Dugonics téri mintaterület térképe

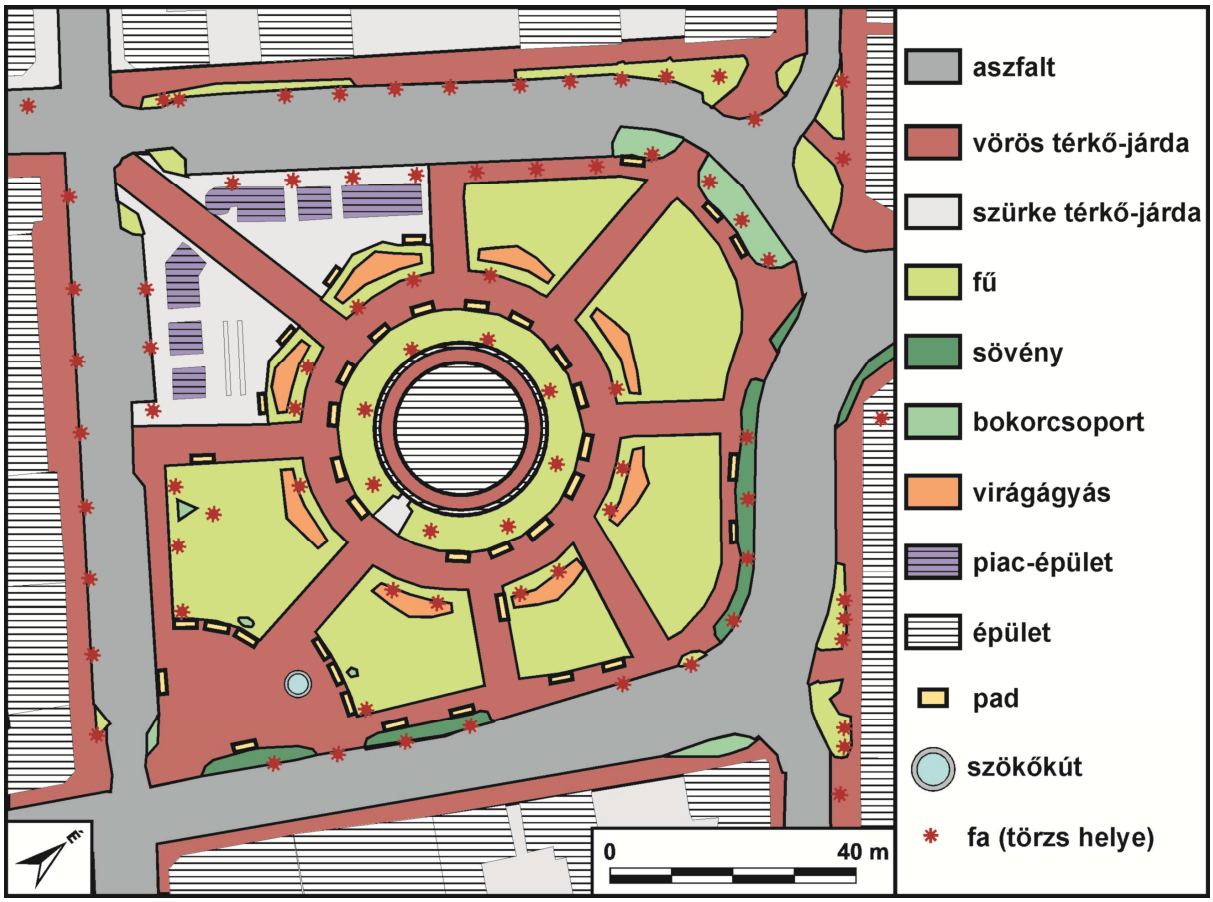


1.3. melléklet A Kárász utcai mintaterület térképe

1.4. melléklet A Széchenyi tér térképe



1.5. melléklet A Szt. István tér térképe



Nap:

SZABADTÉRI HŐÉRZET - KOMFORTÉRZET KÉRDŐÍV

ID:

Dátum: ..... Időpont: ..... Helyszín: ..... Égbolt viszonyok:

Nem: férfi / nő Kor (év): ..... Magasság (cm): ..... Testsúly (kg): .....

Pozíció: nap / félárnyék / árnyék Testhelyzet: álló / ülő / fekvő Aktivitás: játszik / sétál / pihen Ruházat: világos / tarka / sötét

Ruházat felsőtesten: ..... alsótesten: ..... lábbeli: ..... egyéb: .....

Dohányzás: nem / heti 1-2 / napi 1-2 / napi 10-20 szál Alkohol: nem / alkalmanként / hetente / hetente többször

Koffeintartalmú ital: nem / alkalomszerűen / naponta Sport: nem / alkalmanként / hetente / hetente többször

Cukorbetegség: nincs / I-es típusú / II-es típusú

Vérnyomás: normális / alacsony / magas

Keringési megbetegedés: nincs / van

Légzőszervi megbetegedés: nincs / van

Virágporallergia: nincs / van jelenleg: nincs / van

Frontérzékenység: nincs / hidegfront / melegfront

Milyen az egészségi állapota az általánoshoz képest ?

ROSSZ ← → JÓ

Pillanatnyilag hogyan érzi magát az általánoshoz képest ?

FÁRADT ← → KIPIHENT

SZOMORÚ ← → BOLDOG

IDEGES ← → NYUGODT

Milyen környezetben tölti legszívesebben a szabadidejét ? VÁROSI KÖRNYEZETBEN ← → VIDÉKEN, TERMÉSZETBEN

Mi az oka, amiért a területen tartózkodik ? (max 3 válasz)

óra vagy munka közti szünet / ebéd / találkozás másokkal / jó idő / kutyasétáltatás / gyerek kísérése / játék / tetszik a terület

egyéb: .....

Az úticélja a térre való érkezés volt vagy egyéb tevékenység közben döntött úgy, hogy elidőzik itt ? térre érkezés / egyéb

Honnan érkezett a területre? lakóhely / munkahely / iskola / egyéb

Szeged mely utcájából érkezett a térre? .....

Ha nem Szegedről, akkor mely településről ? .....

Milyen közlekedési eszközzel érkezett a területre ? személygépkocsi / tömegközlekedés / kerékpár / gyalog

Kb. mennyi időbe telt, míg a területre érkezett ? .....

Kb. mennyi időt tölt el ezen a területen ? .....

Milyen gyakran látogatja a területet ? naponta többször / naponta / hetente többször / hetente / havonta / először

Jellemezze a hőérzetét az alábbi skála segítségével !

NAGYON HIDEG ← → HIDEG ← → HŰVÖS ← → ENYHÉN HŰVÖS ← → SEMLEGES ← → ENYHÉN MELEG ← → MELEG ← → FORRÓ ← → NAGYON FORRÓ

Kellemesen érzi magát jelen pillanatban? EGYÁLTALÁN NEM ← → TELJES MÉRTÉKBEN

Milyennek érzi a következő paramétereket ? Szeretné, hogy változzanak ezek a paraméterek ?

ALACSONY ← → MAGAS	Hőmérséklet	csökkenjen / ne változzon / emelkedjen
GYENGE ← → ERŐS	Szélsebesség	gyengüljön / ne változzon / erősödjön
ALACSONY ← → MAGAS	Légnedvesség	csökkenjen / ne változzon / emelkedjen
GYENGE ← → ERŐS	Napsugárzás adott helyen	gyengüljön / ne változzon / erősödjön

Ön szerint hány °C van jelen pillanatban ? .....°C

Mit tenne, hogy kellemesebben érezze magát hőérzet szempontjából ? (max 3 válasz)

Ha túl meleg van: fa árnyékába húzódás / épület árnyékába húzódás / hideg ital fogyasztása / ruházat változtatása / terület elhagyása / egyéb: .....

Ha túl hideg van: kimegy a napra / meleg ital fogyasztása / mozgás / ruházat változtatása / terület elhagyása / egyéb: .....

Mennyire találja kellemesnek a területet ? EGYÁLTALÁN NEM ← → TELJES MÉRTÉKBEN

Mit tart a terület fő pozitívumának ? .....

Mit tart a terület fő hiányosságának ? .....

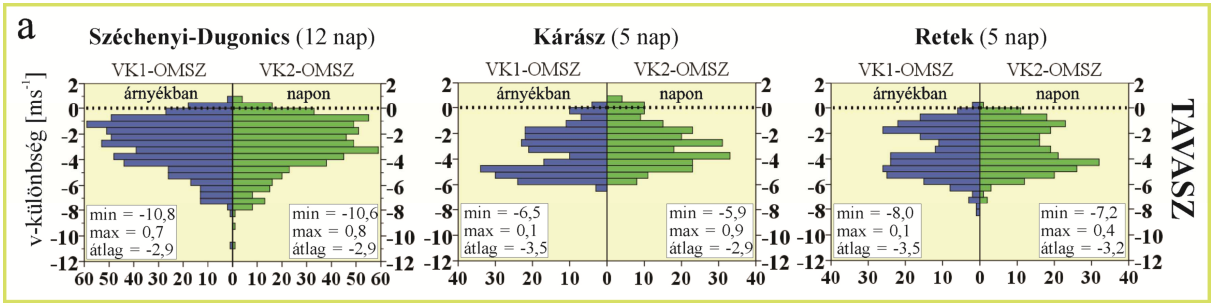
Változtatna-e a terület kialakításán ? igen, jelentős mértékben / igen, kis mértékben / nem, minden megfelelő

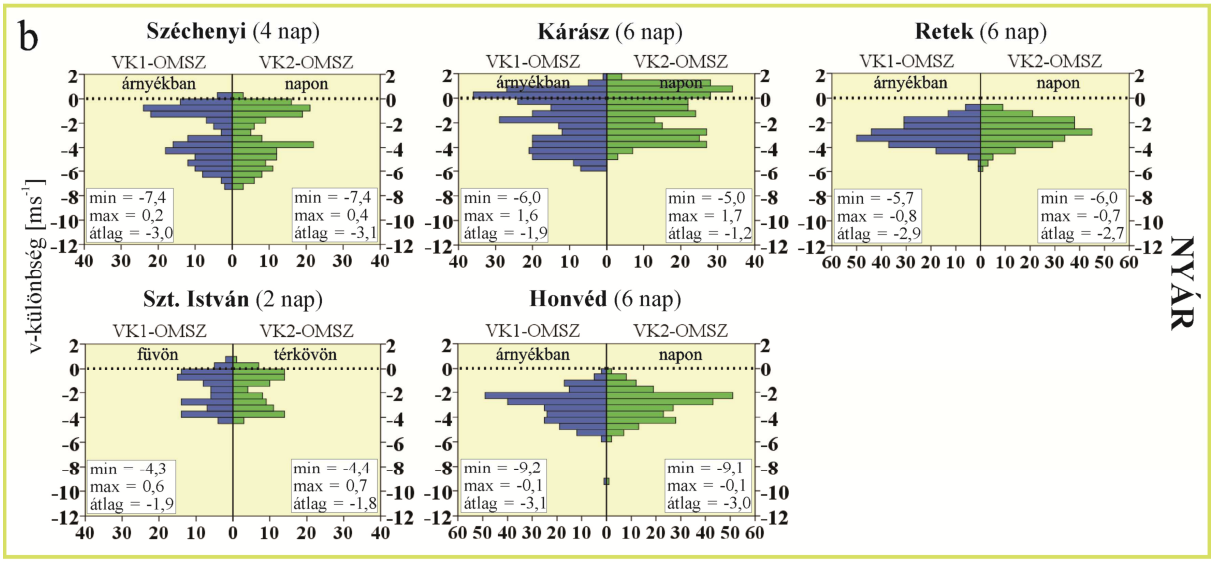
Az alábbiak közül milyen változtatásnak örülne ?

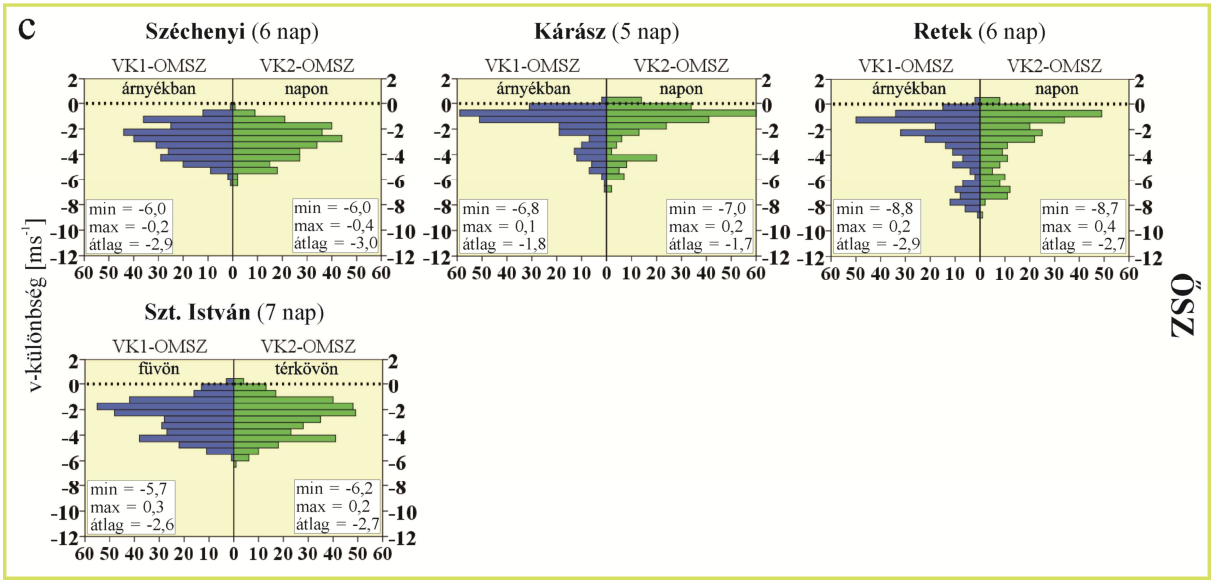
fák ültetése / árnyékoló szerkezetek létesítése / padok számának növelése / padok elhelyezésének változtatása / szökőkút létesítése / burkolat változtatása / egyéb: .....

MELLÉKLETEK
A DOLGOZAT EREDMÉNYEIHEZ KAPCSOLÓDÓAN
(4. FEJEZET)

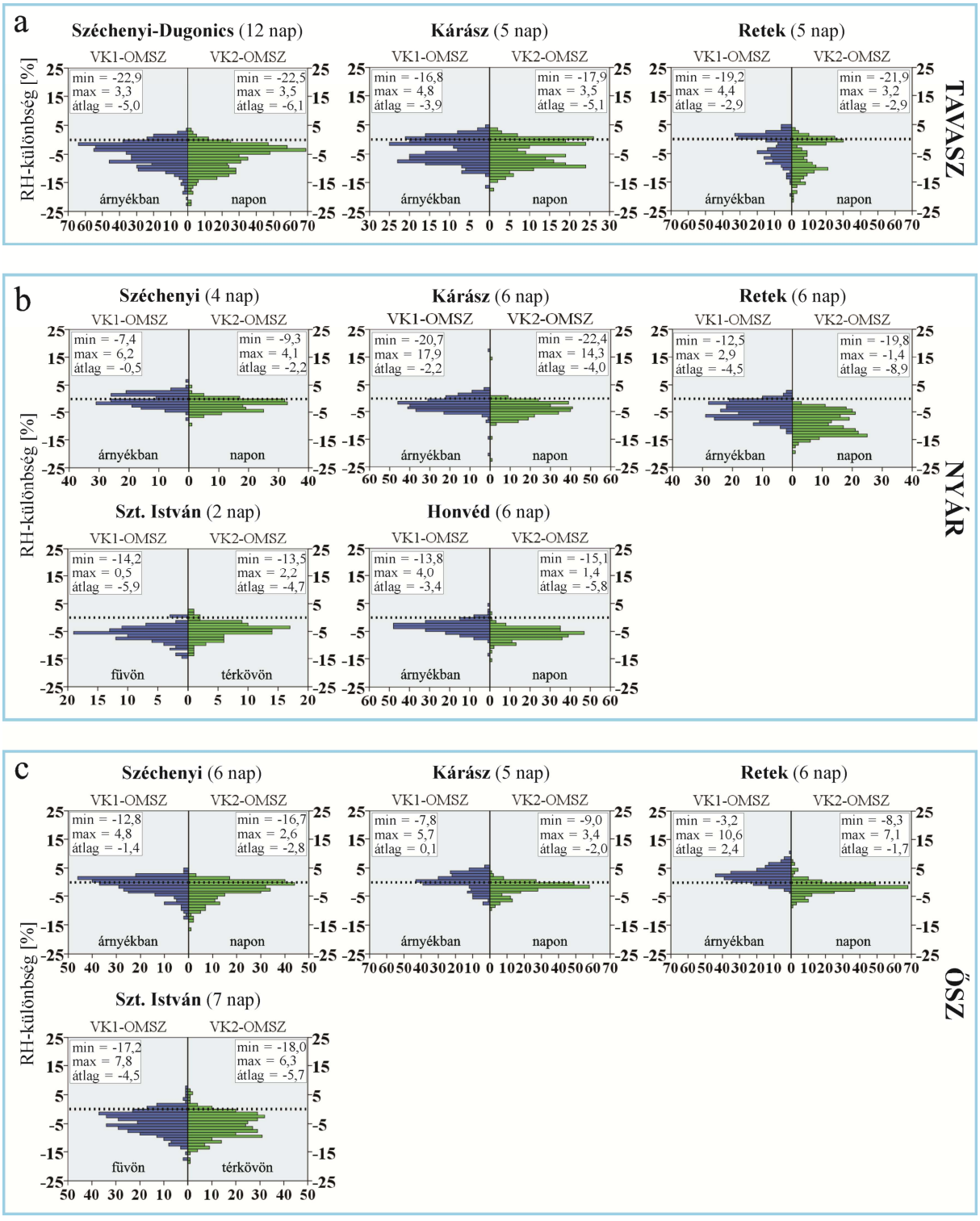
2.1. melléklet A helyszínen (VK1 és VK2) és az OMSZ állomáson mért szélsebességértékek különbségeinek gyakorisági eloszlása tavasszal (a), nyáron (b) és ősszel (c)



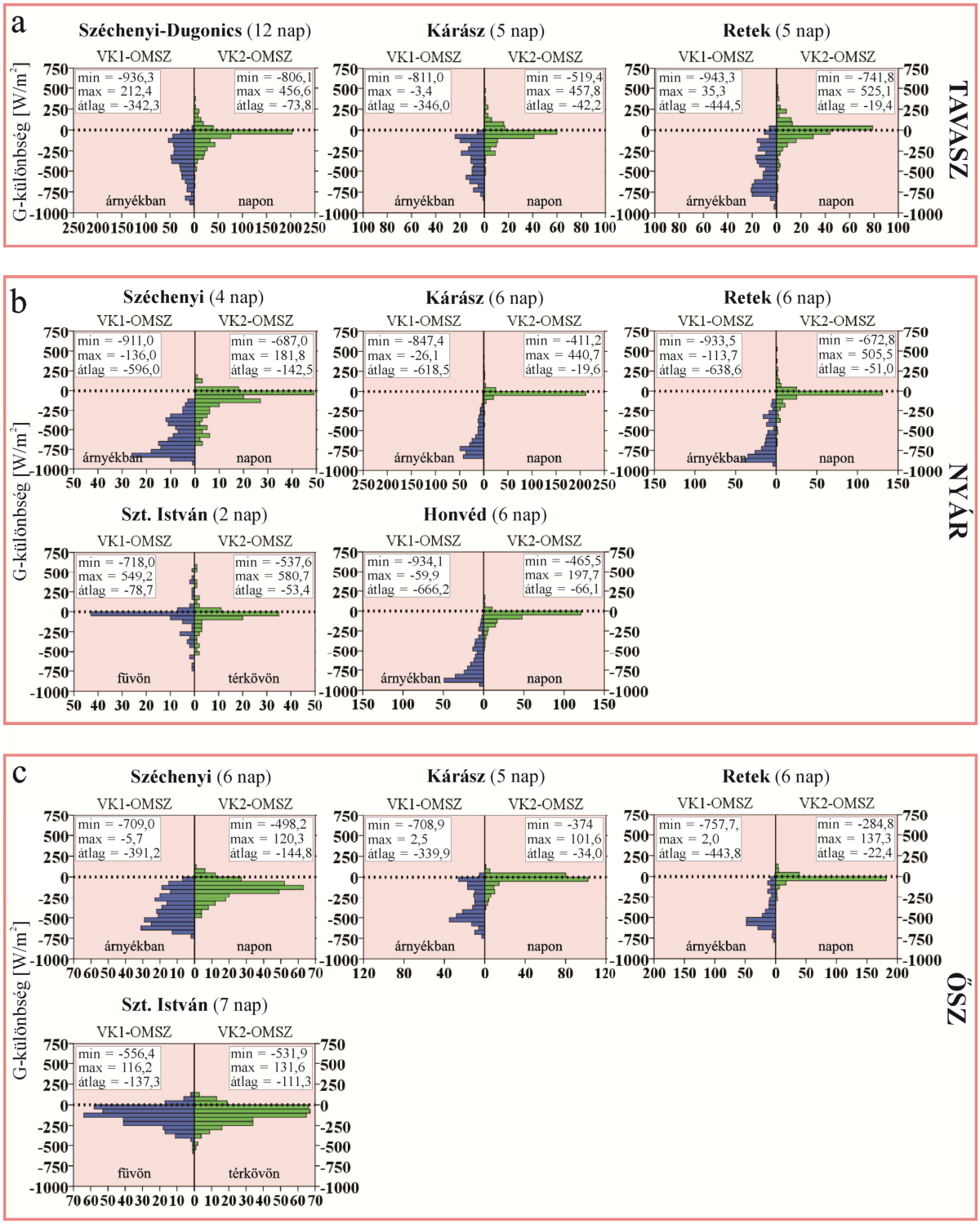




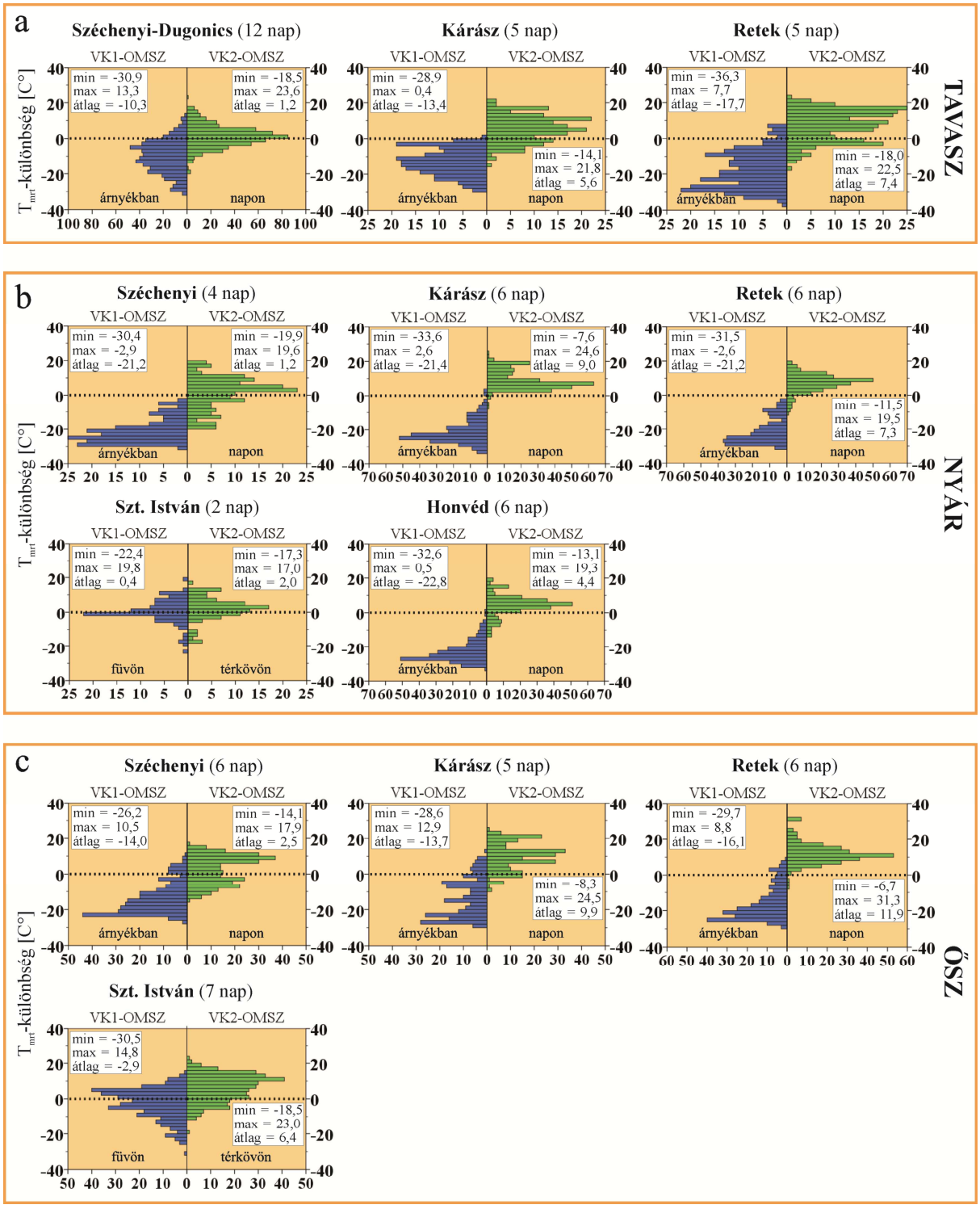
2.2. melléklet A helyszínen (VK1 és VK2) és az OMSZ állomáson mért relatív nedvességértékek különbségeinek gyakorisági eloszlása tavasszal (a), nyáron (b) és ősszel (c)



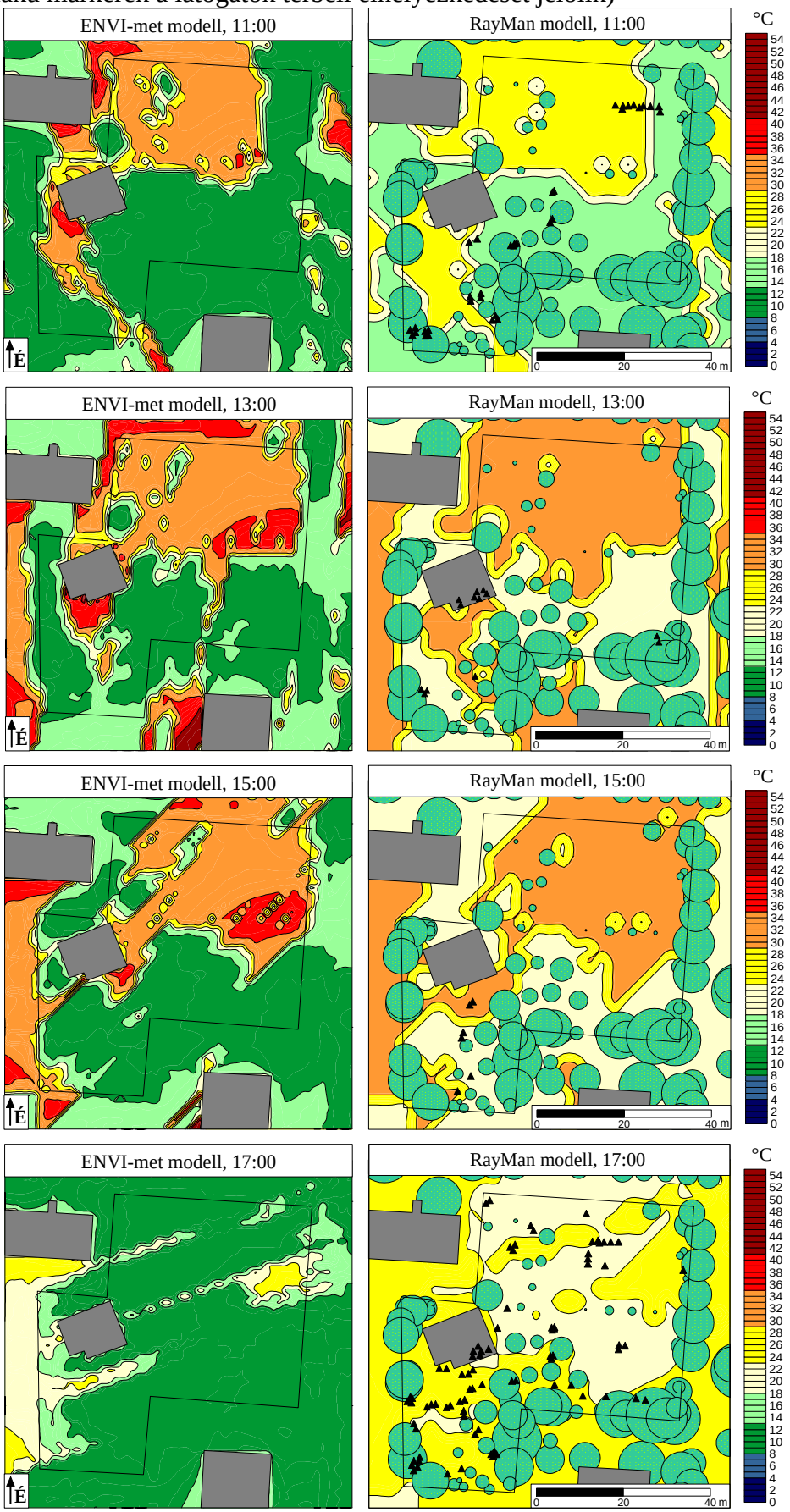
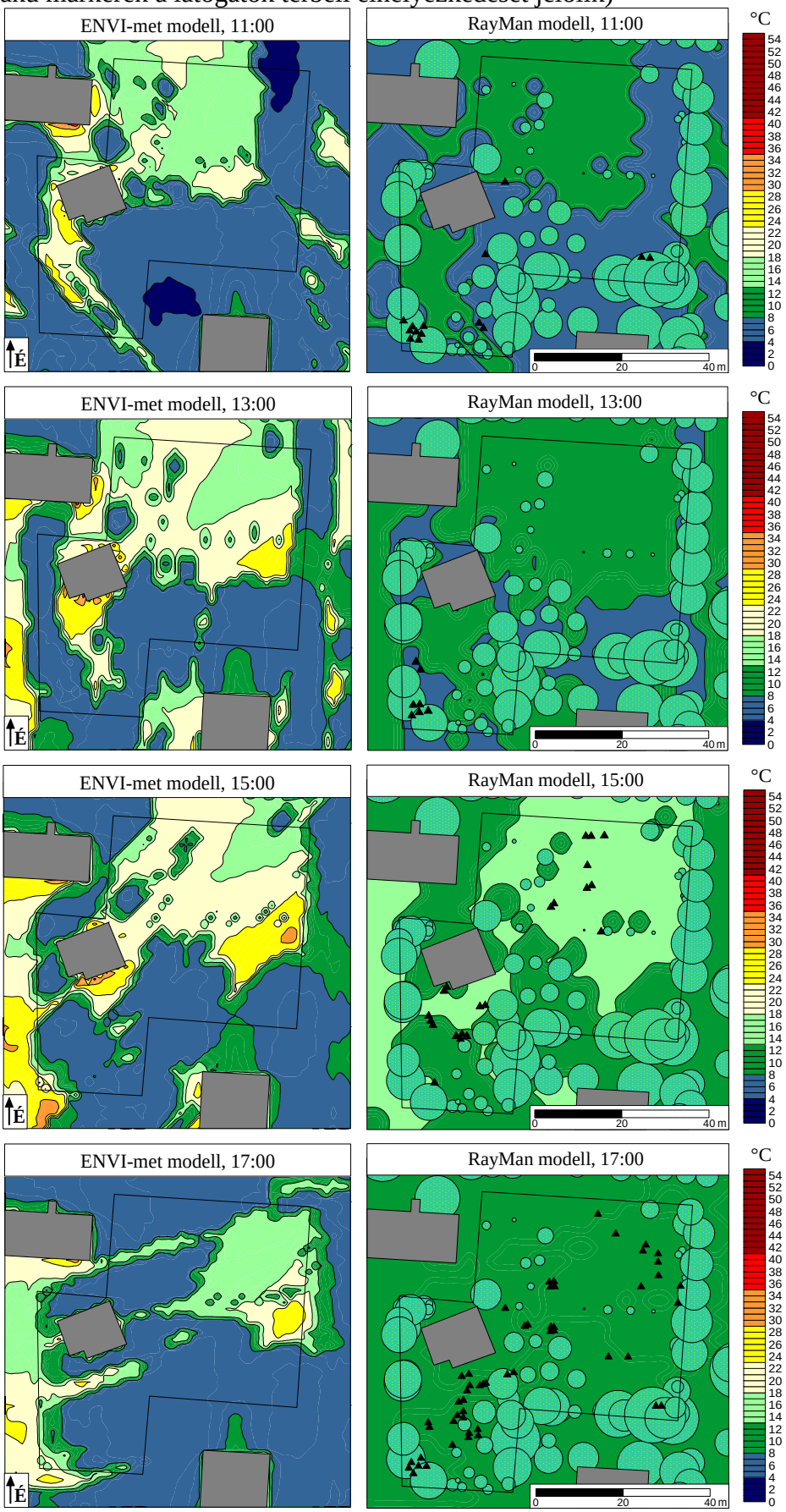
2.3. melléklet A helyszínen (VK1 és VK2) és az OMSZ állomáson mért globálsugárzás-értékek különbségeinek gyakorisági eloszlása tavasszal (a), nyáron (b) és ősszel (c)



2.4. melléklet A helyszínen (VK1 és VK2) és az OMSZ állomáson mért T_{mrt}-értékek különbségeinek gyakorisági eloszlása tavasszal (a), nyáron (b) és ősszel (c)



2.5. melléklet A PET-értékek térbeli mintázata ősszel (2011.10.03.) 11:00, 13:00, 15:00 és 17:00 órakor az ENVI-met és RayMan modell eredményei szerint (a RayMan térképein a háromszög alakú markerek a látogatók térbeli elhelyezkedését jelölik)



2.6. melléklet A PET-értékek térbeli mintázata tavasszal (2012.03.26.) 11:00, 13:00, 15:00 és 17:00 órakor az ENVI-met és RayMan modell eredményei szerint (a RayMan térképein a háromszög alakú markerek a látogatók térbeli elhelyezkedését jelölik)