

Városi klíma és bioklimatikus indexek

Az éghajlat a légkör fizikai tulajdonságainak és folyamatainak egy adott helyen hosszabb időszak során a többi geoszférával és egymással is kölcsönhatásban álló rendszere. Az éghajlati jelenségeket az érintett légterek mérete alapján lehet osztályozni:

* egy-egy kontinens, nagyobb földrajzi terület esetében (zonális, regionális klíma – makroklíma),

* 10-100 négyzetkilométeres területek (medencék, tavak, erdők, városok) – lokális (helyi) vagy mezoklíma.

* kisebb területeken (lejtők, vízpartok, völgyek, városrészek) időlegesen uralkodik a topo-vagy terepklíma.

*A felszínközeli rétegeknek és a zárt helységeknek is van igen kis, alig néhány köbméternyi területen érvényesülő éghajlata, a mikroklíma, mely jelentősen eltérhet a nagyobb légtér éghajlatától. A mikroklíma igen változékony, rövid élettartamú, illetve létrejöttét egy adott időjárási szituáció határozza meg. A nagyvárosokban a helyi éghajlat vonásaira épülve különböző mikroklímák mozaikszerűen alakulnak ki: saját jellegzetességű klíma alakul ki egy parkban, egy téren, egy utcán, a vízparti töltéseken stb.

A város földrajzi elhelyezkedése az éghajlati övezetben, mérete, szerkezete, gazdaságának milyensége – hatnak a városi klíma kialakulására. A természetföldrajzi adottságok erősíthetik vagy gyengíthetik az antropogén okok hatására bekövetkező változások intenzitását.

A városklíma kialakulásában két légköri szint játszik szerepet. Ezek: a *városi határréteg* (600-1000) és a városi *tetőszintréteg*. Az előbbi az érdeességtől függ, és tetőszint alatti és tetőszint feletti részre oszlik. Gyakran burokként veszi körbe a várost, takarja azt be, s függőleges kiterjedése meghaladja a vidéki határréteg magasságát. Az átlagos tetőszint szintjén alakul ki a tetőszintréteg, melynek tulajdonságait a mikroskálájú folyamatok határozzák meg.

Története

- Hippokrátesz i.e. V. sz.
- Deuer – 1783 Mannheim (6^oC a külváros és botanikus kert között)
- Luke Howard 1811 – London
- Adalbert Stifter 1843 /városklíma
- Wilhelm Schmidt 1927 (Bécs)

A városi változások okai:

1. a felszín térbeli rendellenességei
2. az anyag fizikai tulajdonságai (nagyobb hővezetés és hőkapacitás)
3. mesterséges hő
4. idegen anyagok (aeroszol)

A városi légkör összetétele

Aeroszolak – lassan leülepedő szén, ólom, szilikát és alumínium összetételű anyagi részecskék. Általában természetes eredetűek (vulkánok, sivatagok porfelhői – Bali szigete 1963 – Eurázsia területén is érződött, El Alamein tankcsata – a Karibi térségbe is eljutott).

Szemcsenagyság szerint

- – 0,01-0,1 μm átmérőjű részecskék, vidéken 150 ezer/cm³, míg a városban eléri a 4 millió/cm³ értéket.
- – 0,5-10 μm átmérőjű részecskék, 1-2, illetve a városban 25-30 db/cm³ (Lipce). Minél nagyobb egy város, annál magasabb a nagyobb átmérőjű szemcsék mennyisége a levegőben.

Gázok – szén-dioxid, szén-monoxid, kén-dioxid, aldehidek, oxidánsok, kloridok és fotokémiai szmog (London a Clean Air Act előtt, Los Angeles-i medence, Athén, Bhopal, Odessa–Texas/benzen).

A városi területek klímaparamétereinek változása a környezethez képest (Horbert et al, 1982 alapján változtatva)

Éghajlati elem	Paraméter	Környezethez képest	Okok
Sugárzás	globálsugárzás	20%-al kevesebb	felhőzet, köd
	UV télen	30-45%-al kevesebb	
	UV nyáron	10-20%-al kevesebb	
	albedo	12-14%-al alacsonyabb	
	napfénytartam	5-15%-al kevesebb	
Légszennyezés	kicsapódási részecskék száma	10-szer több	emisszió, imisszió
	gázkeverékek	5-20-szor több	
Hőmérséklet	évi középhőmérséklet	1,5-2 fokkal magasabb	üvegházhatás
	téli középhőmérséklet	3 fokkal magasabb	antropogén hatás
	a téli fagy gyakorisága	25%-al kisebb	
	fűtési fokszám	10-12%-al alacsonyabb	
	fűtési napok száma	10-el kisebb	
Relatív nedvesség	télen	2%-al kisebb	nedvesség
	nyáron	8%-al kisebb	
Csapadék	évi középérték	10%-al több	felhőzet,
	hó gyakorisága	5%-al kisebb	hősziget
	hóréteg megmaradásának ideje	15%-al kisebb	
	5 mm-nél kevesebb csapadékú napok száma	10%-al több	
	harmat	50%-al kevesebb	alacsonyabb nedvesség
Szél	évi középérték	25%-al alacsonyabb	épületek
	szélcsend	5-20%-al gyakoribb	
Felhők	borultság	5-10%-al magasabb	antropogén hatás
	téli köd	100%-al gyakoribb	
	nyári köd	30%-al gyakoribb	
Párolgás		50%-al alacsonyabb	

A városi területek energiaegyenlete

Természetes felszín esetében

$$R=Q(1-a)-Q_e$$

$$Q=S+D \text{ (globális egyenlő szórt és direkt)}$$

A városi energiaháztartás módosulásainak okai:

1. a beépített anyagtömeg növekvő hőkapacitása
2. a párologtató felszínek csökkenése
3. a felszíni lefolyás arányának növekedése
4. a növényzettel borított területek csökkenése
5. növekvő légszennyezés
6. a fűtés okozta energiatöbblet

Városi felszín esetében

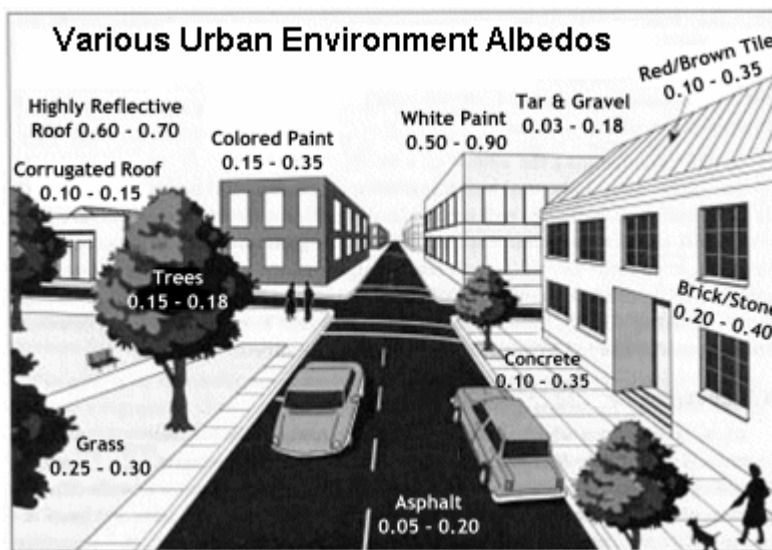
$$R+Q_a=Q_h+Q_l+\Delta Q_s$$

Q_a – antropogén hő

Q_h – függőleges szállítású hő

Q_l – látens hő

ΔQ_s – energiatárolási tényező



Városi felszínek albedója

• – Az Q_a tényezőt ki lehet következtetni, ha a fűtőanyag-felhasználás térbeli és időbeli mennyisége rendelkezésre áll, közvetlenül, terepi mérések alapján nem lehet megállapítani. Az északi városokban nagyobb a jelentősége.

A beérkező és a felszínről visszaverődő rövidhullámú sugárzás a külterületekhez képest erősebben gyengül a szennyezett városi légkörben. A felszín bevétele – direkt és szórt és visszavert sugárzásból áll –, s általában 2-10%-al kevesebb a városban (Budapesten például 8%-os a besugárzás csökkenése). Nyáron a turbulencia növekedése, a fűtés hiánya és az erősebb feláramlások miatt csökkenés értéke alacsonyabb. Ugyanakkor, mivel a reggeli és a koraesti órákban alacsonyabb a napmagasság, a sugarak hosszabb utat tesznek meg a szennyezett légkörben, ezért ilyenkor nagyobb a

sugárvesztés. Ami a városi albedó értékét illeti, az valamivel alacsonyabb a természetes területekénél – ezért a rövidhullámú sugárzás értéke lényegesen nem változik.

Hasonló, egymást kioltó hatások lépnek fel a hosszúhullámú sugárzás estén is: a szennyezett levegő és a városi felszín kisebb emisszivitását ellensúlyozza a hősziget (a magasabb hőmérsékletű felszín egy megnövelt kisugárzást eredményez). Ennek egy jelentős része elnyelődik a szennyezett légkörben, és visszasugárzódik a földfelszínre az égboltsugárzással, míg a hősziget feletti meleg levegő is bocsát ki többletsugárzást. Éjjel az egyesített hosszúhullámú bevétel nagyobb a városban mint a természetes felületű térségekben, illetve nappal nagyobb maradhat a napsugárzás által felmelegített szennyezőanyagok miatt.

A hosszúhullámú sugárzási egyenleg értéke általában negatív és kicsi ha a felszín és a levegő hőmérséklete között nincs nagy különbség; ha a felszín lényegesen melegebb a levegőnél, akkor az értéke is nagyobb, de negatív irányban.

Tehát megnő mind a ki, mind a besugárzás értéke a városban, s a teljes sugárzási egyenlegnek (R) a város és a külterület közötti különbsége nem jelentős, kb. 5%-al kevesebb.

- – A belvárosban a látens hő (Q_{la}) értéke kisebb mint a külvárosban, illetve a környező természetes térségek felett, de szerepe nem elhanyagolható.
- – Ami a függőleges szállítású hőt illeti, ennek csökkentése a délutáni órákban a teljes sugárzás értékét is csökkenti, de az éjszakai órákban pozitív maradhat.
- – A város hőtárolása (ΔQ_s) általában jóval nagyobb a külterületekénél, ami az építkezési anyagok nagyobb hővezetésével és hőkapacitásával magyarázható. Ennek nagy a jelentősége a későesti és éjszakai órákban.

A sugárzási mérleg tényezői és az antropogén hőtermelés (W/m²) a nap különböző időpontjában Cincinnatiban nyáron

SUGÁRZÁS TÍPUSA	VÁROS			VIDÉK		
	08	13	20	08	13	20
Bejövő rövidhullámú sugárzás	288	763	–	306	813	–
Visszavert rövidhullámú sugárzás	42	120	–	80	159	–
Hosszúhullámú sugárzási egyenleg	-61	-100	-98	-61	-67	-67
Teljes sugárzási egyenleg	14	543	-98	165	587	-67
Antropogén hőtermelés	36	29	26	–	–	–

A városi hősziget (UHI)

A városban a természetes környezettől eltérő szerkezet és anyag, a szennyezett légkör, valamint a mesterséges hő- és vízkibocsátás következtében hőszigetek alakulnak ki. Az erősen kifejlődött hősziget általában tiszta időben, vagy nagyon alacsony felhőborítás feltételei (maximum 3 okta) között jelenik meg.

Jellemzői:

- 10-200/300 m vastag
- télen, kora ősszel erős
- 3-5 óra eltolódás a max. T és max. hősziget között.
- Berlin 9°C, London 5-7°C, Budapest átlag 1,5°C, Bp. 2003 tele max. 6°C
- Fenofázis eltolódás

A belváros és a külterület közötti hősziget maximális intenzitását (T_m) egy a város lélekszámát is felhasználó (P) empirikus képlet segítségével lehet kiszámítani:

$$\Delta T_m = 2,01 \log P - 4,06 \text{ és}$$

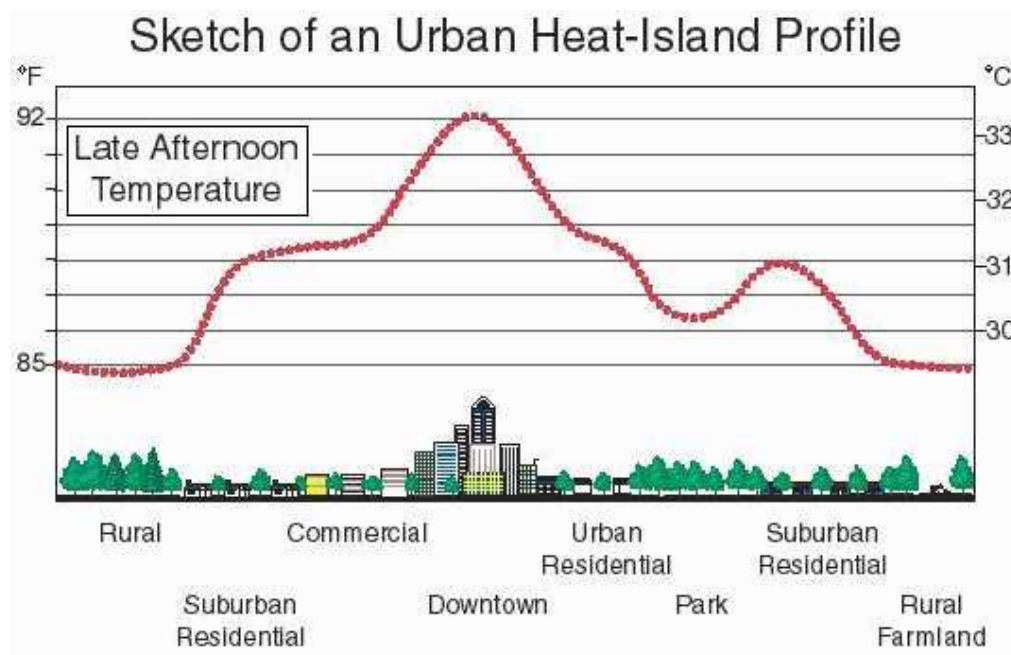
$$\Delta T_m = 1,92 \log P - 3,46$$

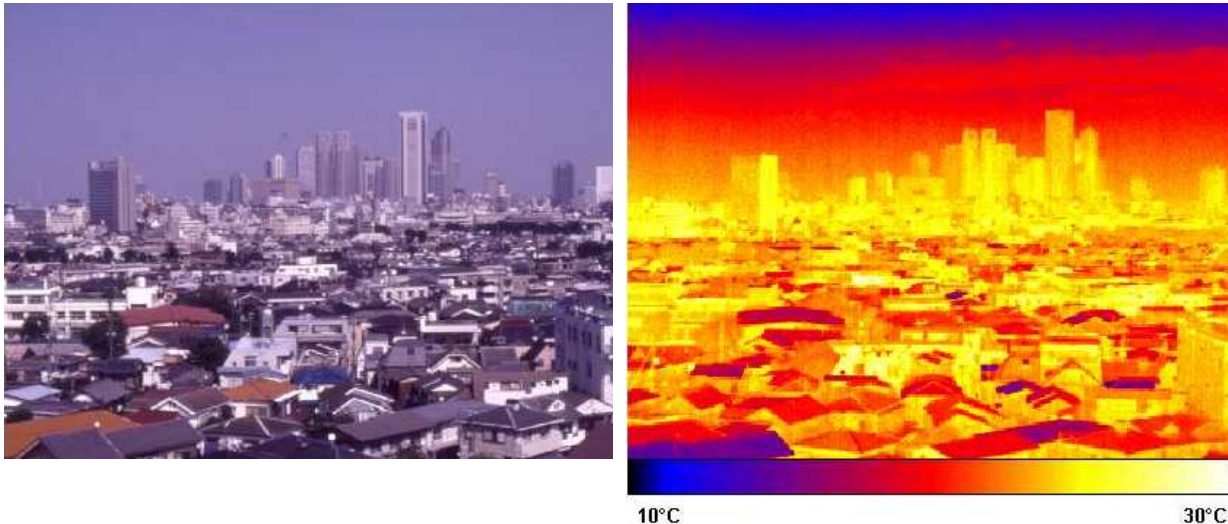
Felhasználva H – az épületek átlagos magassága és W – az utcák átlagos szélessége értékeit szintén kiszámítható a ΔT_m

$$\Delta T_m = 7,54 + 3,94 \log(H/W)$$

A hősziget stabilitását hívatott kimutatni az empirikus képlet, mely a hőmérsékletkülönbség megszűntetéséhez szükséges szélesség (V) minimális értékét fejezi ki a városi lakosság (P) függvényében (Szeged esetében ez az érték 6,2 m/sec):

$$V = 3,41 \log P - 11,6$$





Tokio Shinjuku negyedének fényképe és hőfényképe

A következő mutató a fűtési napok száma egyrészt a komfortérzetet jelzi, ugyanakkor területi megoszlásának megfelelően tükrözi a hősziget erősségét, valamint kiszámíthatóvá teszi a fűtésre használandó hőmennyiséget. Fűtési napnak tekinthető az a nap, amikor a külső levegő napi középhőmérséklete nem emelkedik 12°C fölé. A városi hősziget jelenléte miatt a külterület és a belváros között jelentősen eltérhet a fűtési napok száma és azáltal a fűtésre használt energia mennyisége is. A 12°C -os napi középhőmérsékleti érték alatti külső hőmérséklet esetében szükségessé válhat a zárt terek, illetve a lakások melegítése. Minél alacsonyabb a külső hőmérséklet, annál nagyobb mennyiségű hőre van szükség. A fűtési napok számának kiszámítása a külső levegő napi középhőmérsékletének (t) és a helységben megkívánt hőmérséklet alapján (ez a belső helységek ideális hőmérsékletét jelenti, értéke 20°C) az alábbi képlet alapján lehetséges.

$$F_f = \sum (20 - t)$$

A fűtési napok, valamint a fűtési fókusz adatainak birtokában könnyen kiszámítható az éves energiaszükséglet mennyisége. A külterület és a belváros fűtési fókuszának aránya egyazon időszakon belül reális képet nyújt a két térség fűtési energiaigényének és felhasználásának összehasonlítására.

Szintén a hősziget intenzitásának mértékét érzékeltetik a város különböző területén mért nyári, kánikulai, téli és fagyos napok számának gyakorisága.

Emberi komfort és bioklimatikus indexek

A város levegőkörnyezetének fizikai állapotát az ember komfortérzetét meghatározó meteorológiai paraméterek jellemzik. A számszerűsítés érdekében több olyan mérőszámot, indexet dolgoztak ki, amelyek értéke tükrözi ezt a komfortérzetet. Egyszerű bioklimatikus indexként a napi középhőmérséklet menete, a nyári, a kánikulai, a téli és a fagyos napok száma, a levegő nedvességének és a vízgőz feszültségének napi és havi menete, a besugárzás értéke fogadható el.

–1. A bioklimatikus indexek tárgyalását a pulmonáris stressz index (PSI) bemutatásával kezdem, mérőszám mely a tüdő nyálkahártyájával közvetlen kapcsolatba lépő nedvesség reális értékét tükrözi. A tüdő számára az ideális működési állapotot egy 7,5 és 11,6 hPa értékek közötti nyomás biztosítja. A tüdő párologtatása ekkor optimális. A légnyomás csökkenése következtében nő a párologtatás, ami dehidratációs folyamatokat indít el, míg a túlzott nyomásnövekedés a párologtatás gyors csökkenésével, a vér hidratálódásával jár együtt. Ezek a szervezet homeosztázisát kilendítő hatások egy készenléti, védekezési állapotot (stressz) generálnak a tüdőben, amelyre a szervezet bizonyos

határok között tud reagálni. A PSI két szélső értéke +2 (0–4 hPa) és -4 (26,6–31,2 hPa) azt a két szélső állapotot adja meg, mely között a szervezet képes a homeosztázis fenntartására.

A hét kategóriába osztott skálán a 0 értékű PSI jelenti a tüdő számára a kiegyensúlyozott típust, míg a +2 és a -4 azt az értéket, amelyen túl a szervezet nem képes alkalmazkodni; előbbi esetben a vér kondenzációja, utóbbiban a plazma feloldódása következik be.

Közép-európai városokban: a PSI

kiegyensúlyozott április-május és szept-okt-november közepén

< télen (jan-febr-márc és nov közepétől-dec)

> 12 nyáron (jun-jul-aug-szept. eleje)

–2. Az ember hőterhelésének fontos mutatója az effektív hőmérséklet, ami a telített és a nyugalomban levő levegőnek a hőmérséklete. Ennek a legmegfelelőbb mutatója Thom-féle termo-higrometrikus index (THI), mely a nedves és a száraz hőmérsékletek összegéből számítható ki, Fahrenheit fokban.

$$THI = (t_n + t_{sz}) + 15 \quad (^\circ F)$$

Thom a termohigrometrikus indexet a hőterhelés miatt fellépő díszkomfort mértékének a kifejezésére használta.

A Thom-féle indexnek az alkalmazhatóságát utólag Beçancenot a meteorológiai feltételek szélesebb skálájára is kiterjesztette. A mutató a relatív nedvességtartalom (RH) és a Celsius fokban mért hőmérséklet (t) alapján számítható ki:

$$THI = t - (0,55 - 0,0055RH)(t - 58) \quad (^\circ C)$$

Szerinte az emberi test számára az optimum 15 és 20^oC értékek között helyezkedik el, ez a sáv képezi az ún. komfortos típust. Díszkomfortos típust a 15^oC alatti hűvös (13–14,9^oC), hideg (-1,7–12,9^oC) és nagyon hideg (-9,9–1,8^oC), illetve a 20^oC feletti meleg (20–26,4^oC), nagyon meleg (26,5–29,9^oC) és forró ($\geq 30^{\circ}C$) értékek képezik. 15^oC THI érték alatt a bőr felületéről történő párolgás bizonyos mennyiségű hőt von el a lehűlés ellen védelemre készített testtől. A komfortérték felső határát meghaladó THI érték esetében a test hűtése aktivizálódik. A THI érték növekedésével párhuzamosan a hűtési tevékenység eredményessége egyre jobban csökken.

$$^{\circ}F \rightarrow ^{\circ}C \quad (-32 \times 5/9)$$

$$^{\circ}C \rightarrow ^{\circ}F \quad (\times 9/5 + 32)$$

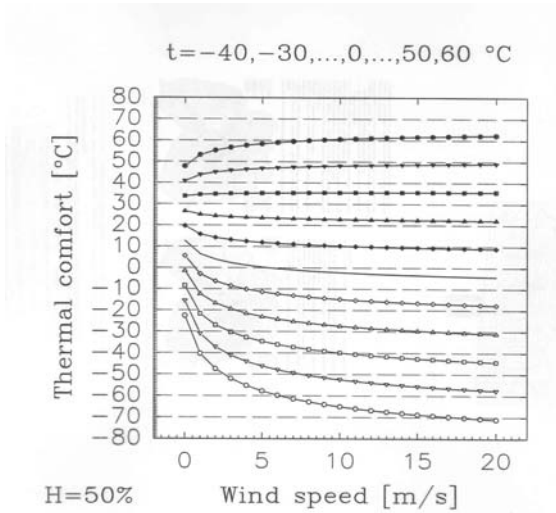
–3. A következő összetett bioklimatikus index a termális komfort mutatója (ET). Ezt az értéket a relatív nedvesség (f) és a levegő hőmérsékletének esetében (t) Celsius fokot használva Missenard képlete alapján lehet kiszámítani:

$$ET = t - 0,4(t - 10) [(1 - f)/100]$$

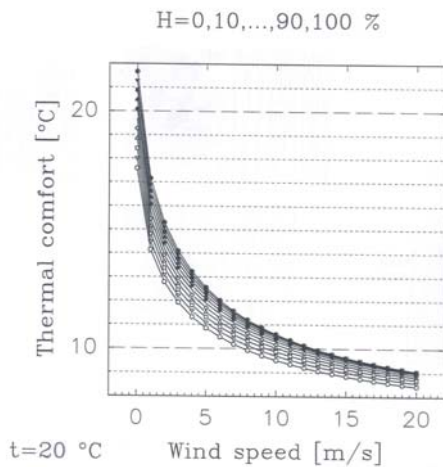
A termális komfort értéke gyakorlatilag az ember teste által érzékelt effektív hőmérsékletet jelenti. Az emberi szervezet számára a legmegfelelőbb a 15 és 20^oC közötti ET érték, ami megfelel egy könnyen öltözött passzív szervezet szükségletének, amikor a test nem nyer és nem veszít hőt. Krawczyk (1975) a szélesség (w) adatainak bevonásával tovább fejlesztette Missenard képletét:

$$TEE = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014H + \frac{1}{1,76 + 1,4w^{0,75}}} - 0,29t \left(1 - \frac{H}{100} \right)$$

Ezt a képletet azonban csak az év nagyon hideg és nagyon meleg időszakára lehet alkalmazni. Miután kiszámítottam három megfigyelési pontnak a hideg évszakokra vonatkozó a Missenard- (ET) és a Krawczyk-féle (TEE) termális komfort indexét, az összehasonlításból az következett, hogy az eredmények között alig 0,3–0,9°C eltérés van. Ugyanakkor a Krawczyk által kidolgozott skálán a komfortos periódus egy kicsit eltolódik 16,8 és 20,8°C közé.



Krawczyk-féle (TEE) termális komfort index módosulása a hőmérséklet és a szél sebességének függvényében, állandó nedvesség körülményei között.



A Krawczyk-féle (TEE) termális komfort index módosulása a nedvesség és a szél sebességének függvényében, állandó hőmérséklet körülményei között.

–4. Szintén hőmérsékleti terhelést hívatott tükrözni a relatív terhelési index (RSI), mely a nedvesség és a hőmérséklet együttes terhelési értékeit mutatja (Kyle, 1992). Az RSI a száraz léghőmérséklet (t) és a párányomás (e) adatainak felhasználásával számítható ki az alábbi képlet alapján:

$$RSI=(t-21)/(58-e)$$

Az index osztályozási típusai zárt, levegőmozgástól mentes fedett helyen, öltönyös, egészséges, ülő fiatal férfire vonatkoznak. Általában a meleg és magasabb páratartalmú övezetekben szokásos használni (Hong Kong, Singapore).

–5. A város hőszigetként való funkcionálásával kapcsolatos, és az enyhe estek kellemességére utaló bioklimatikai index a sörkerti napok száma. Sörkerti napnak minősülnek azok a napok, amikor a hőmérséklet még 21 órakor meghaladja a 20°C-t. Ezekben a napokban a késő esték is kényelmes, komfortos érzést biztosítanak a szabadban lévők számára.

–6. A 20°C fölötti hőmérsékleti értékek esetében használható mutató a humidex (Höppe, 1984). Értéke a nyári hónapok emberi komfortérzetet tükrözi. A hőmérséklet (T) °C-ban és a párányomás (e) hPa-ban mért adatait felhasználva a következő képlet segítségével számítható ki:

$$H=T+5(e-10)/9$$

Négy kategóriája van: 20–29 közötti érték esetében teljes komfortérzet (1), 30–39 között enyhe díszkomfort lép fel (2), a 40–45 közötti sávban a díszkomfort hangsúlyozottá válik (3), míg a 46 feletti értékek erős stresszhatást váltanak ki.

–7. A németnyelvű szakirodalomban gyakran használják az emberi szervezet tűrőképességét és a szennyeződés fokát is „tesztelő” a levegő minőségének terhelési indexét (AQSI). Alakulását a hőmérséklet, a szél és a légköri víz jellemzői határozzák meg, s részben az emberi komfortérzetet tükrözi. Kiszámításánál az SO₂, az ülepedő por (TDS) és NO₂ adatait kell felhasználni a következő képlet szerint:

$$AQSI=1/3 (N(SO_2))/50+(N(NO_2))/50+(N(TDS))/50$$

A képletben az N az illető szennyezőanyag koncentrációjának összességét jelenti µg/m³-ben megadva. Az AQSI értékeit három kategóriába lehet csoportosítani: a 0,5 µg/m³-nél kisebb értékek esetében a terhelés elhanyagolható (I. kategória), a 0,5-1,0 µg/m³ közötti adatok közepes terhelési szintet jelentenek (II. kategória), míg ha a képlet alapján nyert mutatók meghaladják az 1µg/m³-t, akkor nagyon magas a terhelési index (III. kategória). A lakóterületek esetében az ajánlott AQSI értékek a I. és a II. kategóriába kellene tartozzanak (Mayer, 1995). Ha bármelyik szennyezőanyag koncentrációja meghaladja a TA Luft, vagyis a Németországi Környezeti Minisztériuma Levegőcsoportja által megállapított küszöbértékeket, akkor az aktuális AQSI értékektől függetlenül a szennyezés intenzitása nagyon magas (IV. kategória), vagyis káros az emberi szervezetre.

A sugárzási mérleg tényezői és az antropogén hőtermelés (W/m²) a nap különböző időpontjában Cincinnatiban nyáron

SUGÁRZÁS TÍPUSA	VÁROS			VIDÉK		
	08	13	20	08	13	20
Bejövő rövidhullámú sugárzás	288	763	–	306	813	–
Visszavert rövidhullámú sugárzás	42	120	–	80	159	–
Hosszúhullámú sugárzási egyenleg	-61	-100	-98	-61	-67	-67
Teljes sugárzási egyenleg	14	543	-98	165	587	-67
Antropogén hőtermelés	36	29	26	–	–	–

Bibliográfia

- Beçancenot, J.P., 1974: Premières données sur les bioclimatiques en France. *Annales géogr.*, 459, Paris.
- Höppe, P. 1992: Ein neues Verfahren zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur im Freien. In: Sonderdruck aus *Wetter und Leben*, 44 Jahrgang, Heft 1-3, pp. 147-151, München.
- Jin, M., R. E. Dickinson, D-L. Zhang, 2005: The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS. *J. Climate*
- Jin, M. and J. M. Shepherd, 2005: On including urban landscape in land surface model – How can satellite data help? *Bull. Am. Met. Soc.*
- Krawczyk, Barbara, 1975: Bioklimat uzdrowiska Iwonicza. *Probl. bioklim. uzdrów.*, Praca zbiorowa, 3-4, Warszawa.
- Kuttler, W., 1993: Stadtklima. In H. Sukopp & R. Wittig (Eds.), *Stadtökologie* (pp. 113-153). Stuttgart: Fischer Verlag.
- Mayer, H. 1995: Human biometeorological assessment of climate and air quality for use in urban and regional planning: a new VDI guideline. In *Prospects for climate-oriented planning in European cities*, pp 75-81, European Academy of the Urban Environment, Berlin.
- Sümeghy, Z. and Unger, J., 2003: Classification of the urban heat island patterns. *Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis* 36-37, 37-45.
- Probáld, F., 1974: Budapest városklímája. Budapest.
- Unger, J., 1997: *Városklimatológia – Szeged városklímája*. *Acta Climatologica* tomus XXXI-B, Szeged
- Unger, J., 1999a: Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *Int. J. Biometeorol.* 43, 139-144.
- Unger, J., 1999b: Urban-rural air humidity differences in Szeged, Hungary. *Int. J. Climatol.* 19, 1509-1515.
- Unger, J., Sümeghy, Z., Gulyás, A., Bottyán, Z. and Mucsi, L., 2001: Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Meteorol. Applications* 8, 189-194.

http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban_heat_island.html