

**EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
METEOROLÓGIAI TANSZÉK**

Különböző bioklíma indexek összehasonlító vizsgálata

DIPLOMAMUNKA



Készítette:

KOVÁCS TAMÁS

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

Témavezető:

NÉMETH ÁKOS

Országos Meteorológiai Szolgálat

Tanszéki konzulens:

DR. PONGRÁCZ RITA

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2010.

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	3
2.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
3.	AZ EMBERI SZERVEZET HŐHÁZTARTÁSA	10
3.1.	ÁLTALÁNOS JELLEMZÉS	10
3.2.	AZ ENERGIA-EGYENLEG ALAPÚ MEGKÖZELÍTÉS	13
4.	BIOKLÍMA INDEXEK	16
4.1.	EMPIRIKUS INDEXEK	16
4.1.1.	<i>ET</i> (<i>Effective Temperature – Effektív hőmérséklet</i>)	16
4.1.2.	<i>WBGT</i> (<i>Wet Bulb Globe Temperature – Nedves gömb hőmérséklet</i>)	17
4.1.3.	<i>THI</i> (<i>Thermohigrometric Index – Termohigrometrikus index</i>)	18
4.1.4.	<i>AT</i> (<i>Apparent Temperature – Látszólagos hőmérséklet</i>)	18
4.1.5.	<i>HI</i> (<i>Heat Index – Hőség index</i>)	19
4.1.6.	<i>Humidex – Nedvesség-index</i>	20
4.1.7.	<i>WCI</i> (<i>Wind Chill Index – Szélhűtési index</i>)	20
4.2.	RACIONÁLIS INDEXEK	21
4.2.1.	T_{mrt} (<i>Mean Radiant Temperature – Átlagos sugárzási hőmérséklet</i>)	21
4.2.2.	ET^* (<i>New Effective Temperature – Új effektív hőmérséklet</i>)	22
4.2.3.	SET^* (<i>Standard Effective Temperature – Standard effektív hőmérséklet</i>)	23
4.2.4.	<i>PMV</i> (<i>Predicted Mean Vote – Jóérzés-index</i>)	23
4.2.5.	<i>PPD</i> (<i>Predicted Percent Dissatisfied – Elégedetlenségi arány</i>)	24
4.2.6.	<i>PET</i> (<i>Physiologically Equivalent Temperature – Fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet</i>)	24
4.2.7.	A <i>MENEX</i> -modellre (<i>Man-ENvironment heat EXchange model</i>) épülő indexek	26
4.2.8.	<i>UTCI</i> (<i>Universal Thermal Climate Index – Univerzális termikus klímaindex</i>)	26
5.	ADATOK, SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK	28
5.1.	AZ ADATOK FORRÁSA, ELŐKÉSZÍTÉS	28
5.2.	A <i>RAYMAN</i> -, ÉS A <i>MEMI</i> -MODELL	29
5.3.	PROGRAM	33
5.4.	BIOKLÍMA DIAGRAMOK	34
6.	EREDMÉNYEK	35
6.1.	T_{mrt} – ÁTLAGOS SUGÁRZÁSI HŐMÉRSÉKLET	35
6.2.	<i>WBGT</i> – NEDVES GÖMB HŐMÉRSÉKLET	38
6.3.	<i>PMV</i> – JÓÉRZÉS-INDEX	41
6.4.	<i>HI</i> – HŐSÉG INDEX	44
6.5.	<i>PET</i> – FIZIOLÓGIAILAG EKVIVALENS HŐMÉRSÉKLET	46
6.6.	<i>UTCI</i> – UNIVERZÁLIS TERMIKUS KLÍMAINDEX	49
6.7.	ÖSSZEHASONLÍTÁS	52
7.	ÖSSZEFOGLALÁS	54
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	56
	IRODALOMJEGYZÉK	57
	FÜGGELÉK	63

1. Bevezetés

Az időjárás emberi szervezetre gyakorolt hatása a komfortérzet egyik fő meghatározója. Legyen szó akár beltéri, vagy kültéri munkavégzésről, szabadidős tevékenységről, a hőháztartást alapvetően befolyásolja az őt körülvevő környezet termikus állapota. Az emberi test energia-egyensúlyát igen komplex belső folyamatok határozzák meg, és a klimatikus hatásokkal való kapcsolata is nagyon összetett. Ennek a bonyolult viszonyrendszernek a tanulmányozása a bioklimatológia tárgykörébe tartozik. Ez a tudományterület napjainkban egyre ismertebbé válik, köszönhetően többek között széleskörű alkalmazhatóságának.

A turizmus folyamatos fejlődésével egyre nagyobb az igény arra, hogy minél pontosabb ismereteket kapjunk a turisztikailag fontos területek éghajlatáról, különösképp annak az emberi szervezetre gyakorolt hatásáról. Az utóbbi években ezért számottevően megszorodtak az ilyen jellegű vizsgálatok mind világszerte, mind a Kárpát-medencében.

A folyamatosan fejlődő, növekvő városokban egyre több ember van kitéve a megváltozott bioklimatikus viszonyoknak. A nagyvárosokban létrejövő sajátos sugárzási és időjárási helyzeteket (pl. megváltozott nedvesség- és szélviszonyok, városi hősziget) is egyre több tanulmány vizsgálja.

Akár természetes okok, akár antropogén hatások vezérlik, a klímaváltozás vitán felül létező jelenség. Ennek a folyamatnak a keretében várható, hogy az emberi szervezetet ért klimatikus terhelés is változik. A szélsőséges jelenségek valószínűleg gyakrabban fordulnak majd elő, kiváltképp a szokatlan hosszúságú és erősségű hőhullámok. Ezek a körülmények is maguk után vonják a bioklimatológiai kutatások gyarapodását.

Ezen tudományos munkák jelentős részének célja, hogy a vizsgálatok eredménye valamilyen könnyen értelmezhető módon közreadható legyen. Már a XX. század elején fennállt az igény, hogy az időjárás emberi testre gyakorolt hatását közérthetően szemléltetni lehessen. Ennek érdekében kezdtek megszületni az ún. bioklíma indexek, melyek egyszerű formában, számszerűsítve próbálják minél pontosabban leírni e hatásokat. Az évek során számos ilyen mérőszám látott napvilágot, többnek közülük az alkalmazására is van példa. A hazai gyakorlatban tudomásunk szerint operatíván nem alkalmaznak ilyen indexeket, konkrét vizsgálatok azonban az utóbbi években rendszeresen használnak közülük többet is. Egyetértés azonban sem nemzetközileg, de még a magyarországi viszonyokat illetőleg sincs abban, melyik indexet alkalmazzák elsősorban, így az összehasonlítás esetenként igen nehézkes

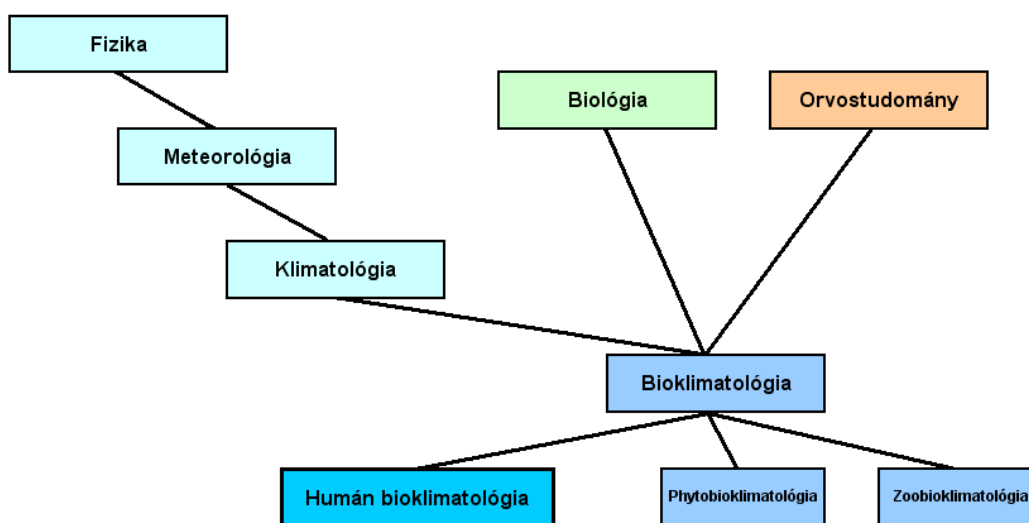
lehet. A helyzetet jellemzi, hogy hazánkban például a munkavédelmi előírásokban szereplő index természettudományi ihletésű vizsgálatokban tudomásunk szerint nem fordul elő.

Ezért merült fel, hogy érdemes volna egy összehasonlító vizsgálatot elkészíteni, melyben az elterjedt, gyakrabban használt indexek közül többet is felhasználunk ugyanannak az adatsornak a feldolgozásához, és bemutatjuk a köztük lévő jelentősebb eltéréseket és hasonlóságokat. Kiemeljük, hogy munkánkban nem kívántunk állást foglalni egyetlen ilyen mutatószám mellett sem. Célunk az volt, hogy információt nyújtsunk arról, különböző indexeket felhasználva mennyiben kapunk eltérő képet egy adott hely bioklimájának bemutatásakor.

A következő fejezetben bemutatjuk a bioklimatológia tudományterületét, múltbeli fejlődését és jelenlegi állapotát, a nemzetközi és hazai szakirodalom ismertetésén keresztül. Ezt követően az emberi szervezet hőháztartásáról lesz szó először általánosságban, majd energetikai nézőpontból. A negyedik fejezetben a gyakrabban alkalmazott bioklíma indexek közül mutatunk be néhányat. Ezután kerül sor az alkalmazott módszerek, különös tekintettel a RayMan-, és a MEMI-modellek leírására. Eredményeinket a hatodik fejezetben részletezzük, először a vizsgált indexeket egyenként, majd azokat összehasonlítva ismertetjük. Az irodalomjegyzék és a függelék előtt az összefoglalásban tekintjük át a dolgozat legfontosabb részeit.

2. Szakirodalmi áttekintés

Az élő szervezetek működése szoros kapcsolatban áll az őket körülvevő légkör állapotával. Ezt a kapcsolatot korábban hagyományos klimatológiai vizsgálatok keretében tanulmányozták. Később azonban felmerült, hogy a meteorológia tudományterülete önmagában nem nyújt elegendő információt az összefüggések feltérképezéséhez. A klimatológia csak a környezet jellemzőit írja le, azoknak az élő szervezetekre gyakorolt hatását nem elemzi. Erről pontosabb ismereteket a biológia (növény- és állatélettan), valamint az orvostudomány (környezetegészségügy, fiziológia) nyújthat. A klimatológiával együtt ezen tudományterületek összekapcsolásából jött létre a bioklimatológia. Ahogy azt az 1. ábrán is láthatjuk, ez az interdiszciplináris tudományág három alrészre bontható. A phytobioklimatológia a növények, a zoobioklimatológia az állatok, a humán bioklimatológia pedig az ember atmoszférával való kapcsolatával foglalkozik (Höppe, 2000).



1. ábra - A humán bioklimatológia elhelyezkedése a tudományterületeken belül (Höppe, 1997 nyomán)

A humán bioklimatológia Bártfai megfogalmazása szerint tehát olyan tudomány, amely a meteorológia (pl. környezeti klimatológia, mikroklimatológia), az orvostudományok, a biológia, a fizika és a kémia stb. eszközeivel az ember és a légkör kölcsönhatását vizsgálja, az eredményeket pedig a gyakorlatban alkalmazza (Bártfai, 1986).

Annak érdekében, hogy a bioklimatológiával foglalkozó kutatók könnyebben megismerhessék egymás munkáit, és hogy akár összehangoltan is dolgozhassanak, 1956-ban Párizsban megalakult a Nemzetközi Biometeorológiai Társaság (International Society of

Biometeorology). A társaság lapja az International Journal of Biometeorology (Nemzetközi Biometeorológiai Folyóirat), mely 1957. után évente egyszer, napjainkban azonban már kéthavonta jelenik meg. Ez is jelzi, hogy egyre több munka foglalkozik ezzel a tudományterülettel, egyre több a publikáció, és az újabb eredmények megjelenése folyamatos.

Az ember légköri környezetét időjárásnak, vagy klímának nevezzük. Az időjárás Jendritzky szerint az atmoszféra aktuális fizikai állapotát jelenti, melyet a klasszikus meteorológiai mérőszámokkal (légnomás, léghőmérséklet, légnedvesség, felhőzet, csapadék, stb.) írhatunk le. E fogalom alatt jellemzően pár óra, vagy pár nap történéseit értjük (Jendritzky, 1993). Az éghajlat adott helyre vagy területre vonatkozóan az időjárás paraméterek együttes várható értékeit jelenti, vagyis a levegő pillanatnyi fizikai állapotának hosszabb idő alatt realizálódott összességét (Rákóczi et al., 2002).

Az emberi szervezet és a légkör kölcsönhatásait kezdetben jellemzően a kockázatok tekintetében vizsgálták. Elsősorban a különböző időjárás tényezők és az elhalálozások, az egyes megbetegedések kapcsolatát tanulmányozták. Elterjedté vált olyan jelenségek vizsgálata, mint például a frontérzékenység, vagy különböző időjárás események okozta tünetek. Höppe tudománytörténeti összefoglalása szerint a „klasszikus” orvosmeteorológia tudományát jellemzően német nyelvterületen művelték (pl. Sauberer, 1948; de Rudder, 1952; Assmann, 1963;). Mivel az időjárás-érzékenység tüneteit nem tudták megmagyarázni kizárólag egyetlen meteorológiai paraméter segítségével, különböző időjárás sémákat határoztak meg. Felismerték, hogy bizonyos időjárás helyzetek tipikus érzékenységi tünetek megjelenésével járnak. Statisztikai módszerekkel összefüggéseket állapítottak meg egyes szinoptikus helyzetek, valamint az egészségi állapot romlása és egyes betegségek megjelenése, vagy súlyosbodása között. A mai napig ez a fajta megközelítés adja a napi rendszerességű orvosmeteorológiai jelentések alapját. A különbség csak annyi, hogy a régebbi sémák helyett objektívebb osztályozást használnak (Höppe, 1997).

Az 1930-as évekre ugyanakkor az orvosmeteorológiai kutatások mellett megjelent egy másik megközelítési mód is. Ennek keretében az emberi szervezet hőháztartását kezdték vizsgálni, a termikus paraméterek hatásaira koncentrálva. A kérdés energetikai megközelítésének jelentős alakja volt Konrad Büttner. Sokszor idézik alapvető gondolatát: „Ha az éghajlatnak az emberi szervezetre gyakorolt hatását akarjuk meghatározni, nemcsak egyetlen paramétert, hanem az összes termikus komponenst együtt kell vizsgálni. Ez azt jelenti, hogy az emberi hő-egyensúlyt szükséges modellezni” (Büttner, 1938). Nem sokkal később megjelentek az első empirikus indexek, melyekről a 4.2. fejezetben lesz szó

részletesebben. Jellemzőjük, hogy a fontosabb meteorológiai paraméterek közül csak néhányat használnak fel, így a fenti idézet értelmében nem tekinthetők kellően megalapozottnak. Némelyikük azonban még ma is népszerű, hiszen igen könnyen kiszámíthatók.

Büttner felismerése a modern számítógépek megjelenéséig nem hozott igazi áttörést, tekintettel egy energia-egyensúlyi modell óriási számítási igényére. Az 1960-as évektől kezdve azonban újabb és újabb összetevők hatását írták le. A modellekbe fokozatosan egyre bonyolultabb folyamatokat építettek be, például a sugárzási viszonyokat, a különböző hőáramokat, a fizikai munkavégzés, vagy az izzadás hatását.

Az 1970-es és 1980-as évekre a humán bioklimatológia fő irányvonala az emberi szervezet energia-egyensúlyi modelljeinek fejlesztése, és alkalmazása lett. Ennek az irányvonalnak az egyik kiemelkedő úttörője Poul Ole Fanger volt, aki leírta az emberi test első, könnyen programozható hőegyensúlyi modelljét. Munkájával jelentős mértékben járult hozzá a bioklimatológia tudományterületéhez. Felismerése meghatározó a légkörnek az emberi szervezetre gyakorolt hatásainak modellezése szempontjából: „A hőkomfort inkább a test fizikai állapotának kifejezése, mint a környezeté, vagyis amit mi valójában érzékelünk az a bőr hőmérséklete, nem pedig a levegőé” (Fanger, 1970). Fanger beltéri viszonyokat leíró komfort-egyenlete alapján számolható az egyik legelterjedtebb index, a PMV (Predicted Mean Vote, 4.2.4. fejezet). Ennek a modellnek a továbbfejlesztett változatát készítette el Jendritzky: a Német Meteorológiai Szolgálat, a Deutscher Wetterdienst ún. „Klima-Michel” modellje kültéri vizsgálatokra is alkalmazható, köszönhetően annak, hogy sugárzási folyamatok leírását is tartalmazza (Jendritzky, 1993).

Az évek során további energia-egyenleg alapú modellek láttak napvilágot, melyekből újabb indexek származtathatók. Az ezredforduló környékén felmerült az igény egy olyan indexre, amely minden időjárási helyzetben használható, részletesen értelmezi az emberi testben végbemenő folyamatokat, és megfelelően alkalmazható a bioklimatológia minden területén. A Nemzetközi Biometeorológiai Társaság külön bizottságot állított fel, hogy előkészítse egy ilyen univerzális index létrehozását. A fejlesztés 2005-ben gyorsult fel, amikor az európai COST (Cooperation in Science and Technical Development – Tudományos és Technikai Fejlesztési Együttműködés) szervezete a 730. akcióprojekt keretében támogatásáról biztosította a törekvést. Ennek keretén belül számos kutató, s intézet rendszeres találkozók során folyamatos egyeztetést végzett e témakörben. A munka mára a végéhez közeledik, eredménye az UTCI (Universal Thermal Climate Index), amely mögött egy nagyon

összetett energetikai modell áll (Jendritzky et al., 2009, Blazejczyk et al., 2010, Jendritzky et al., 2010).

Napjainkban a bioklimatológia művelői jellemzően különféle indexeket felhasználva végzik vizsgálataikat, kutatásaikat, melyek világszerte egyre gyakoribbak.

Európában meghatározó szerepe van a Németországban lévő freiburgi Albert-Ludwigs Egyetemen végzett munkának. Itt főleg a PET (4.2.6. fejezet) indexet használják különböző kutatásokban olyan kiemelkedő szakemberek, mint például Helmut Mayer, Andreas Matzarakis, vagy Gerd Jendritzky. Vizsgálják többek között a klímaváltozás hatását (Neumann and Matzarakis, 2010), a városok bioklimatológiáját (Mayer, 1993) és a turisztikai klimatológiát is (Enderler and Matzarakis, 2010). A freiburgi iskola irányvonalát számos országban követik, például Görögországban is (Nastos et al., 2010). Lengyelországban több saját készítésű indexet operatíván is alkalmaznak, melyek a Varsói Egyetemen dolgozó Krzysztof Blazejczyk energia-egyensúlyi modelljéből származnak (Blazejczyk, 2005). A PET indexet turisztikai klimatológiai vizsgálatokra Oroszországban is alkalmazzák, például az ország keleti, szélsőségesen hideg tájaira vonatkozóan (Grigorieva, 2007). Törökországban a klimatikus gyógyhelyek hatásaival foglalkoznak például az Isztambuli Egyetem Orvosi Karán (Karagülle et al., 2004).

Európán kívül is több helyen végeznek hasonló kutatásokat. Új-Zélandon, az Aucklandi Egyetemen főleg a turisztikai klimatológiával foglalkoznak (de Freitas, 2003). Tajvanon városi bioklimatológiai munkákban alkalmazzák a PET indexet (Lin et al., 2010). Kanadában jellemzően egyszerűbb, empirikus indexeket használnak, illetve különböző kérdőívvel mérik fel az emberi szervezetet ért hőstressz mértékét. A Waterloo-i Egyetemen Daniel Scott vizsgálja a klímának a turizmussal és rekreációval való kapcsolatát. Az Egyesült Államokban operatíván is alkalmaznak bioklíma indexeket, főleg a Heat Indexet (4.1.5. fejezet) és a Wind Chill Indexet (4.1.7. fejezet).

A környező országokban is folynak bioklimatológiai kutatások, például Szlovéniában és Horvátországban, ahol a Júliai Alpok, illetve a Dinári-hegység sítterepeinek turisztikai klimatológiájával foglalkoznak (Zaninovic et al., 2006), a PET index alkalmazásával. Hasonló vizsgálatokat végeznek Ausztriában is. A ZAMG (ZentralAnstalt für Meteorologie und Geodynamik – Meteorológiai és Geodinamikai Központi Intézet) az ország klimatikus gyógyhelyeinek felmérését készítette el az Active project keretén belül.

Ilyen célú vizsgálatok hazánkban is történtek. A Balaton bioklimáját a '70-es években részletesen tanulmányozták (Béll és Takács, 1974). Napjainkban két területen folyik a kutatás. Turisztikai klimatológiai vizsgálatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat Éghajlati Elemző

Osztályán végeznek, főleg a Balaton térségére koncentrálva (Németh et al., 2008), a Szegedi Tudományegyetemen pedig városi bioklimatológiával foglalkoznak. Itt Unger János vezetésével korábban empirikus indexeket is használtak (Unger, 1999), az elmúlt években pedig több alkalommal modellezték a humán komfort körülményeit összetett, városi környezetben a RayMan modell segítségével (pl. Gulyás et al., 2006).

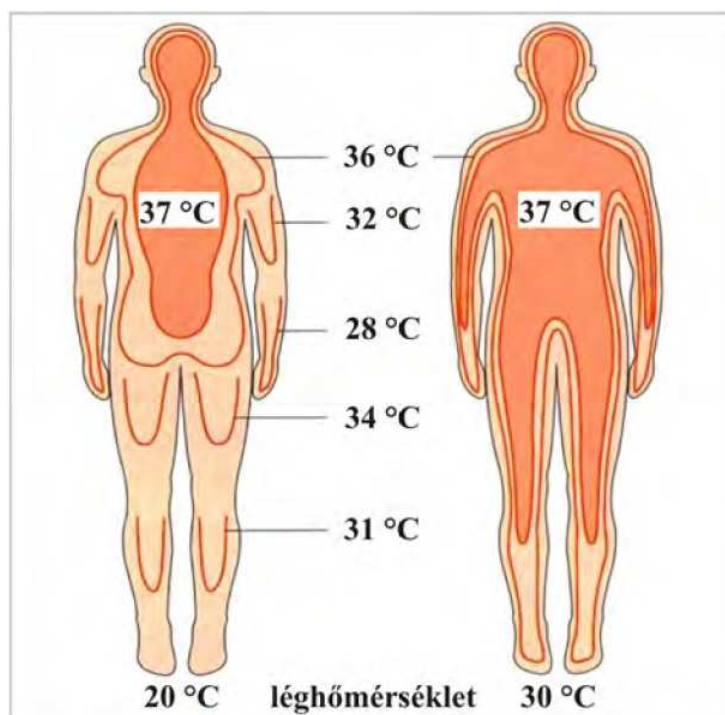
Ezek mellett a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen is tanulmányozzák a termikus környezet élettani hatásait. Elsősorban a fizikai terhelés alatt álló szervezet reakcióit vizsgálják, bioklíma indexeket is felhasználva (pl. Hullám, 2005; Kohut, 2008; Kállai, 2010).

Magyarországon operatíván tudomásunk szerint jelenleg nem alkalmaznak bioklíma indexeket, azokat csak kutatásokban használják. Tervek azonban léteznek az OMSZ-nál rendszeres előrejelzésekre is, a PMV index használatával.

3. Az emberi szervezet hőháztartása

3.1. Általános jellemzés

Az emberi szervezet működőképességének alapvető kritériuma a test belső részének, a testmagnak állandó hőmérséklete. Ez csak a 37 °C-os érték igen szűk környezetében mozoghat, ez biztosítja a létfontosságú belső szervek zavartalan működését. Ez az érték a bőrfelület felé közeledve ugyanakkor egyre szélesebb tartományban változhat, a végtagokban pedig olyan hőmérséklet sem feltétlenül okoz kárt, ami a testmagra nézve már rövid idő alatt is halált eredményezne. Ahogy az a 2. ábrán is látható, az egészséges emberi szervezet perifériás részeit magába foglaló ún. testköpeny hőmérséklete környezete állapotának függvényében változhat, a testmag hőmérséklete ellenben közel állandónak tekinthető.



2. ábra - A testmag és a testköpeny hőmérséklete hűvös, és meleg környezetben (Gulyás, 2009; Höpfe, 1993)

Ennek az állapotnak a fenntartása azonban nagyon sok energiát igényel, melynek forrásai a szervezetben az emésztés során végbemenő kémiai folyamatok. A testmag állandó hőmérsékleten tartására használandó fel az előállított energia döntő része. Különleges esetekben (pl. nagyon hideg, erős szél) ez akár 90%-ot is jelenthet. Természetesen ennél kisebb arány érvényes ideális esetben – ezt termoneutrális zónának nevezzük, ilyenkor van

szükség a legkevesebb energia befektetésére a maghőmérséklet fenntartásához. Ez egy egyhelyben ülő, ruhát nem viselő ember esetén nagyjából 27 °C-os léghőmérséklet mellett áll fenn. Ez az érték persze ruházat, vagy az izommunka eredményeképpen termelődő hő hatására jóval alacsonyabb is lehet.

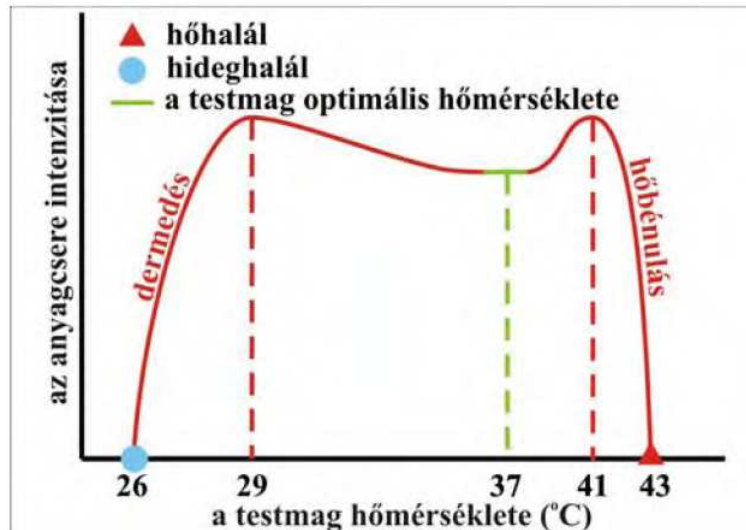
A testmag hőmérsékletét ugyanakkor a termoneutrális zónán kívül is fontos ugyanazon a szinten tartani. A szervezetnek megvannak a válaszreakciói arra az esetre, ha környezetének hőmérséklete ezen a tartományon kívül esik.

Ha ez a termoneutrális zóna alá csökken, a testnek több reakciója is megóvhatja a testmagot. Egyrészt az anyagcsere intenzitásának fokozásával növelhető a hőtermelés, másrészt a bőrfelszínhez közeli vérerek összehúzódásával csökkenthető a környezetnek leadott hő mennyisége. Különösen hatékony ez a módszer a végtagok esetében, amelyek jóval kevésbé érzékenyek a változékonyságra. Hő állítható elő még az izommozgások eredményeképpen is: az akaratlan reszketéssel szintén a testmagot védi a szervezet.

Amennyiben a maghőmérséklet a külső körülmények miatt emelkedni kezd, az előzőekkel ellentétes célú folyamatok indulnak be. A verejtékmirigyek aktivizálódnak, megindul az izzadás. Ennek során a nedvesség párolgása közben hőt von el a bőrfelülettől. Az így hűtött területekre jut ki a kitágult vérerek segítségével a test belsejéből a felesleges hő.

Ezekon kívül természetesen akaratlagos reakciók is léteznek. Nagy melegben kerülhetjük a mozgást, fokozhatjuk a folyadékbevitelt, hidegben pedig végezhetünk testmozgást, további ruhadarabokat ölthetünk fel.

A hideggel, vagy a meleggel szembeni ellenálló képesség egyénenként változhat. Befolyásoló tényező többek közt a testalkat, és az erőnléti állapot is. Egy egészséges, edzett ember szervezete aktívabb hőtermelést képes végezni, és a jó keringési rendszere miatt megfelelően tud gazdálkodni azzal. A keringés teljesítménye a korrallal összefüggésben áll, ahogy az izomműködés hatékonysága is. Számos egyéb összetevő létezik még, többek közt a nem, az izzadási hajlam, személyiségi jellemzők, továbbá mindezeket befolyásolhatja még az akklimatizáció jelensége is (Havenith, 2001). Az ember ugyanis képes az időjárás hosszú távú (évszakos) változékonyságához bizonyos mértékben alkalmazkodni. Ugyanannak az időjárási helyzetnek a szervezetre gyakorolt hatása nem állandó. A megfigyelések szerint mind a hideg, mind a meleg környezetekhez való adaptáció nagyjából két hét után történik meg. A hideghez való alkalmazkodás része például a kezek vérellátottságának növekedése, a bőrfelszín hőmérsékletének emelkedése. A meleg környezethez alkalmazkodott személyek esetében az izzadás könnyebben megindul, és hatékonyabb is, ezáltal a testmag hőmérséklete stabilabb marad (Jendritzky, 2009).

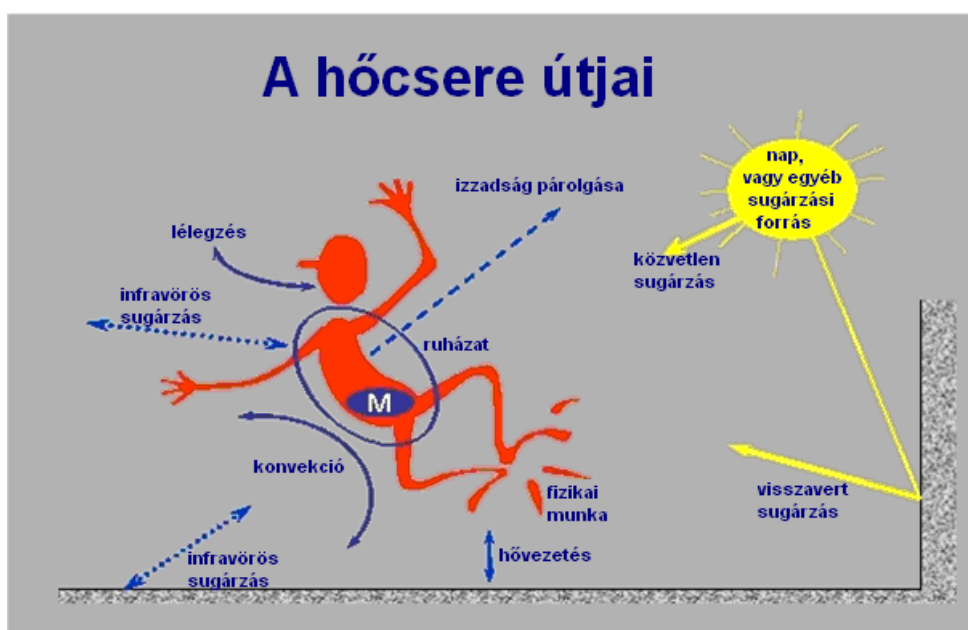


3. ábra - Az emberi szervezet anyagcséréjének intenzitása a testmag hőmérsékletének függvényében (Gulyás, 2009; Ganong, 1990)

Az ember akaratlan és szándékolt reakcióinak a hatásfoka azonban véges. Egy bizonyos szinten túl az ideális testhőmérséklet már nem tartható fenn. A 3. ábra az emberi test anyagcséréjének intenzitását mutatja a testmag hőmérsékletének függvényében. Látható, hogy annak emelkedése már 4 °C után drasztikusan csökkenti a szervezet működőképességét, az ideálisnál 6 °C-kal magasabb érték pedig már meg is szüntetheti azt. A maghőmérséklet csökkenése csak mintegy 8 °C-os csökkenés után veszélyezteti az életet, ám ekkorra már a kevésbé létfontosságú, a hidegnek jobban kitett testrészek (pl. orr, fül, lábujjak) visszafordíthatatlan fagyási sérüléseket szenvedhetnek. Ennél nagyobb mértékű lehűlés már csökkenti az anyagcsere intenzitását, 11 °C-ot meghaladó csökkenés pedig általában halált okoz.

3.2. Az energia-egyenleg alapú megközelítés

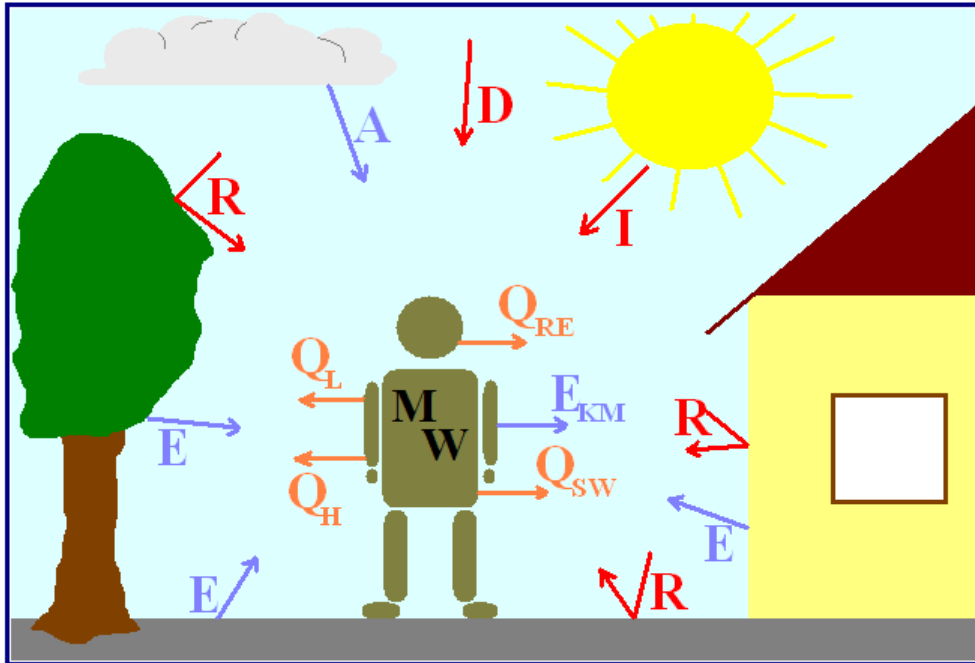
Ahhoz, hogy az emberi szervezet hőháztartását modellezni tudjuk, ismernünk kell a folyamatokat, melyek a környezetével való kapcsolatát jellemzik. A legfontosabb összetevők a testet érő és a test által kibocsátott sugárzások, hőáramok. Ezeket a 4. ábrán láthatjuk.



4. ábra - A hőcsere útjai (Havenith, 2001 nyomán)

Az emberi testet többféle sugárzás is érheti. A Napból érkező rövidhullámú sugárzás mind közvetlenül, mind különböző tereptárgyokról visszaverődve kifejti hatását. Bármilyen, 0 kelvinnél magasabb hőmérsékletű objektum saját sugárzással rendelkezik, melyet annak hőmérséklete határoz meg. Ezek hosszúhullámú sugárzást bocsátanak ki, ami szintén növeli a testet érő energiamennyiséget. A belső hőmérséklet csak akkor maradhat hosszú távon állandó, ha a felvett és a leadott energia értéke megegyezik. A leadás egy része hosszúhullámú sugárzás formájában történik. Hőt veszítünk a légzés folyamata során is, hiszen általában (a nagy hőséget leszámítva) a levegőt felmelegítve fűjjük ki. Az izzadás során a bőrfelszínről elpárolgó víz pedig látens hővesztést okoz, melyet a konvekció segít. A hővezetés jelenthet felvett, illetve leadott energiát is, attól függően, hogy a szóban forgó felület hőmérséklete magasabb-e, mint a testé.

Ha már ismerjük az energia-egyenleg legfontosabb folyamatait, és azok irányát, felállíthatjuk az emberi testre vonatkozó hőegyensúly-egyenletet. Ennek tagjait az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra - Az ember test és annak környezete közötti folyamatok (Jendritzky, 1993 nyomán)

A képen a hőáramok narancssárga színnel vannak jelölve. A hosszuhullámú sugárzást kék, a rövidhullámú sugárzást piros színnel ábrázoltuk. Az M a test belső energiatermelését, azaz a metabolikus arányt jelöli, W az izmok működése során felhasznált energia. A Q_H a turbulens szenzibilis hőáram. A Q_L a vízgőz diffúziója, Q_{SW} pedig az izzadság párolgása miatt keletkező turbulens látens hőáram. A lélegzés keltette látens és szenzibilis hőáram a Q_{RE} . A test hosszuhullámú hőszugárzása az E_{KM} , a környező felületeké pedig az E . Az A jelenti a légkör hőszugárzását. A direkt szoláris rövidhullámú sugárzás az I , amelynek a különböző felszínekről visszavert része az R . A szoláris sugárzás diffúz részét pedig a D jelöli (Jendritzky, 1993).

Ezek a tagok alkotják a következő egyenletet, amely napjaink bioklimatológiai modelljeinek alapvető kiindulópontja:

$$M + W + Q^* + Q_H + Q_L + Q_{SW} + Q_{RE} = \Delta S \quad (1)$$

Az (1) egyenletben szerepel még a ΔS , amely a testben lévő hőmennyiség változása, valamint a Q^* , ami a következő formában írható fel:

$$Q^* = I + D + R + A + E + E_{KM} \quad (2)$$

A képletekben szereplő egyes tagok előjele pozitív, ha a test számára energiabevételt jelentenek, és negatív, ha energiaveszteséget. Az M mindig pozitív, a W , Q_H , Q_L és Q_{SW} mindig negatívak. Az egyes meteorológiai paraméterek nagymértékben befolyásolják a különböző hőáramokat (Höppe, 1999):

- Léghőmérséklet: a Q_{RE} -t
- Légnedvesség: a Q_H -t, Q_L -t, Q_{RE} -t és Q_{SW} -t
- Szélsebesség: a Q_{SW} -t
- Átlagos sugárzási hőmérséklet: az E -t.

A kölcsönhatás összetettségét az adja, hogy ezek a paraméterek nem állandó arányban járulnak hozzá a hőérzet kialakításához. Az átlagos sugárzási hőmérséklet például általában nagyjából ugyanannyira meghatározó, mint a léghőmérséklet. Ha a légmozgás erősebb, akkor viszont a levegő hőmérséklete sokkal fontosabb lesz, hiszen a konvektív hőcsere során a sugárzás kisebb hangsúlyt kap (Höppe, 1999). Ezeknek a paramétereknek a kombinálásaként születtek meg az első bioklíma indexek.

4. Bioklíma indexek

A bioklimatológia egyik elsődleges célja leírni az emberi komfortérzetet befolyásoló hatásokat. Ahhoz, hogy könnyen értelmezhető formában lehessen jellemezni a termikus környezetet, célszerű annak hatásait számszerűsíteni. Ehhez eredetileg a léghőmérsékletet használták, azonban hamar kiderült, hogy az nem nyújt elegendő információt. A hőérzet nem feltétlenül lesz ugyanolyan, ha csak a léghőmérséklet marad változatlan. Első pillantásra is számottevőnek tűnik mellette a szél sebességének befolyásoló hatása, és fontos összetevő a páratartalom is. A külső hatások egyik legjelentősebb faktora még az emberi testet érő sugárzás, ezek mellett pedig természetesen egyéb tényezők is vannak. Ezért már igen korán megállapították, hogy önmagában egyik meteorológiai paraméter sem ad megfelelő képet a komfortérzet állapotáról. Felismerték, hogy ezek a paraméterek együttesen alakítják ki a hőérzetet, környezetünk hatásainak számszerűsítéséhez tehát az összes lényeges elemet fel kell használni (Büttner, 1938).

Ezt a célkitűzést eleinte az alacsony számítási kapacitás miatt elérni ugyan nem tudták, de kifejlesztettek számos egyszerűbb mérőszámot, melyek jellemzően csak néhány meteorológiai paramétert dolgoznak fel. Ezeket empirikus indexeknek nevezzük. Közülük többet még napjainkban is használnak, köszönhetően annak, hogy könnyen előállíthatóak. Később, a számítógépek megjelenése után már megnyílt a lehetősége annak, hogy jóval bonyolultabb számításokat lehessen végezni, így megszülettek az energia-egyenleg alapú modellek. Az ezekből származtatott indexek alkotják a másik fő csoportot, az ún. racionális indexeket. A következőkben a két csoport néhány ismertebb tagját mutatjuk be, a teljesség igénye nélkül.

4.1. *Empirikus indexek*

4.1.1. ET (Effective Temperature – Effektív hőmérséklet)

Ez a Houghton és Yaglou (1923) által kifejlesztett index a léghőmérséklet és a nedvesség hatását írja le egy változóban. Értéke annak a telített levegőnek a hőmérsékletét jelenti, amely mellett az emberi szervezet ugyanolyan termikus állapotban van, mint a leírni kívánt környezetben. Ezt az indexet később többször is továbbfejlesztették, például a

léghőmérsékletet a sugárzási hőmérséklettel helyettesítve, hogy a sugárzás hatását is magába foglalja (Vernon and Warner, 1932).

4.1.2. WBGT (Wet Bulb Globe Temperature – Nedves gömb hőmérséklet)

A WBGT az egyik legjobban elterjedt index, napjainkban is igen széleskörűen alkalmazzák különböző kutatásokban. Kidolgozása az Egyesült Államok Haditengerészetéhez köthető, ahol a hőséggel kapcsolatba hozható sérüléseket vizsgálták (Yaglou and Minard, 1957), ezért a meleg stressz mértékének megállapítására használható. Kiszámítására a következő képletet alkalmazzák:

$$WBGT = 0,7 \cdot T_w + 0,1 \cdot T_a + 0,2 \cdot T_g \quad (3)$$

ahol T_w a nedves hőmérséklet, T_a a léghőmérséklet és T_g a gömb hőmérséklete. Beltéri vizsgálat esetén a sugárzási és a hőmérsékleti tag megegyezik, ilyenkor az egyenlet módosult formában áll elő:

$$WBGT = 0,7 \cdot T_w + 0,3 \cdot T_a \quad (4)$$

Az index nem különböztet meg eltérő mértékű munkavégzést, ahogy egyéb élettani összetevői sincsenek. Ennek ellenére katonai felhasználásra a WBGT a legelterjedtebb, csakúgy, mint a munkaegészségügy területén (ISO 7243, 1989). Alkalmazása a hazai munkavédelmi gyakorlatban is általános, a Magyar Szabványügyi Testület is a WBGT-t ajánlja a dolgozókra ható hőterhelés becslésére (MSZ EN 27243, 1998). Ennek a terhelésnek a mértékét úgy állapítják meg, hogy a WBGT értékeit kategóriákba sorolják a hőstressz okozta kockázat nagysága szerint. Az egyes kategóriákat az 1. táblázat mutatja.

WBGT	Kockázat
< 18 °C	alacsony
18 °C – 23 °C	közepes
23 °C – 28 °C	magas
28 °C <	extrém

1. Táblázat - A WBGT értékeinek tartományai (Armstrong et al., 1996)

Több olyan index is létezik, melyek kiszámítása nagyon hasonló a (3) egyenlethez. Ezek lényegében csak a léghőmérsékleti és nedves hőmérsékleti értékek súlyozásában

különböznek, ennek megfelelően erősen korrelálnak egymással és a WBGT-vel (Epstein and Moran, 2006).

4.1.3. THI (Thermohigrometric Index – Termohigrometrikus index)

A Thom (1959) által létrehozott index az ET (Effective Temperature, 4.1.1. fejezet) továbbfejlesztése. A levegő hőmérséklete és nedvességtartalma ismeretében a következő módon számolható:

$$THI = 0,4(T + T_w) + 15 \quad (5)$$

ahol T a léghőmérséklet, T_w pedig a nedves hőmérséklet. Mindkét érték, így a THI is Fahrenheit-fokban értendő. Ennél a klasszikus képletnél könnyebben használható az alábbi egyenlet:

$$THI = T - (0,55 - 0,0055 \cdot Rh) \cdot (T - 14,5) \quad (6)$$

ahol T a Celsius-fokban mért léghőmérséklet, Rh pedig a levegő relatív páratartalma. Ennek a számolásnak az eredményeképpen a THI -t is Celsius-fokban kapjuk (Unger, 1999).

A termohigrometrikus értékeit a hőérzet alakulása szerint különböző kategóriákba sorolhatjuk (Kyle, 1994).

4.1.4. AT (Apparent Temperature – Látszólagos hőmérséklet)

Az AT bioklíma index Steadman (1979) nevéhez köthető. Azt a hőmérsékletet jelenti, amely egy referenciaszinten lévő páratartalom mellett ugyanazt a hőterhelést jelentené a szervezet számára, mint az aktuális környezet. Ez a referenciaszint az a légnedvesség, amely 14 °C-os harmatpontot eredményez. Ennél nagyobb nedvességtartalom hatására az AT értéke magasabb lesz, mint a léghőmérséklet, ennél kisebb esetben pedig fordítva. Alacsony léghőmérséklet esetén a szélhűtés folyamatát is értelmezi. Az AT-nek egy egyszerűsített változata a Heat Index (4.1.5. fejezet), melynek használata az Egyesült Államokban elterjedt. Az AT-t az Australian Bureau of Meteorology (Ausztráliai Meteorológiai Szolgálat) két képlettel számolja. Az első magába foglalja a sugárzás hatását is:

$$AT = T_a + 0,348 \cdot e - 0,7 \cdot v + \frac{0,7 \cdot Q}{v + 10} - 4,25 \quad (7)$$

ahol T_a a léghőmérséklet, e a vízgőznyomás, v a szélesség, Q pedig a test egységnyi felülete által elnyelt sugárzás W/m^2 -ben. A másik egyenletben ezek közül csak az első három szerepel:

$$AT = T_a + 0,33 \cdot e - 0,7 \cdot v - 4 \quad (8)$$

4.1.5. HI (Heat Index – Hőség index)

Az Egyesült Államokban széleskörűen használt HI a léghőmérséklet és a relatív páratartalom értékéből összeállított változó. Azon az egyszerű tényen alapszik, hogy magasabb páratartalom esetén az izzadság lassabban párolog el a bőrfelszínről, így hűtőhatása kevésbé érvényesül. Ennek következtében a hőérzetünk is módosul – a levegőt melegebbnek érezzük, ha több nedvesség van benne. A HI a következő egyenlet alapján számolható:

$$\begin{aligned} HI = & -42,379 + 2,04901523 \cdot T + 10,14333127 \cdot Rh - 0,22475541 \cdot T \cdot Rh - \\ & - 6,83783 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 5,481717 \cdot 10^{-2} \cdot Rh^2 + 1,22874 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot Rh + \\ & + 8,5282 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot Rh^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \cdot Rh^2 \end{aligned} \quad (9)$$

ahol Rh a relatív páratartalom százalékban megadva, T pedig a léghőmérséklet Fahrenheit fokban (Rothfus, 1990). A HI értékeit aszerint osztják különböző tartományokba, hogy azok mekkora kockázatot jelentenek az ember számára:

Heat Index	Kategória	Kockázatok
< 27 °C	Veszélytelen	Hőség okozta kockázat nincsen
27 °C – 32 °C	Figyelmet igénylő	Hosszú, nehéz munka esetén kifáradás lehetséges
32 °C – 41 °C	Különös figyelmet igénylő	Hosszú idő, vagy nehéz munka esetén napszúrás, izomgörcsök, kimerülés léphetnek fel
41 °C – 54 °C	Veszélyes	Napszúrás, izomgörcsök, kimerülés valószínű, hosszú idő, vagy nehéz munka esetén hőségütés lehetséges
54 °C <	Különösen veszélyes	Napszúrás, vagy hőségütés valószínű

2. Táblázat - A HI értékeinek tartományai (NIOSH, 1986)

4.1.6. Humidex – Nedvesség-index

A Humidex-et Kanadában használják az időjárás-előrejelzés részeként. A léghőmérséklet és a nedvesség kombinációjaként azt a hőmérsékleti értéket adja, amit ezek együttes hatásaként érzékelünk. Kiszámítása a következő módon történik:

$$H = T + (0,555) \cdot (e - 10) \quad (10)$$

$$e = 6,11 \left(\frac{5417,753}{273,16} \left(\frac{1}{273,16 + T_d} \right) \right) \quad (11)$$

ahol T a léghőmérséklet, e a vízgőznyomás, T_d pedig a levegő harmatpontja (Masterton and Richardson, 1979).

4.1.7. WCI (Wind Chill Index – Szélhűtési index)

Az eredetileg Siple és Passel (1945) által felírt index már számos módosításon esett át. A különböző változatok azonban céljaikat tekintve hasonlóak: olyan mérőszámok, amelyek hideg környezetben a szél hőérzetet befolyásoló hatását számszerűsítik. Amennyiben a léghőmérséklet alacsonyabb, mint a test felszínének a hőmérséklete, úgy a test hőt ad le a környezetének. A levegő hővezetése korlátos, ezért ha az nem mozog, a test körül egy hőburok alakul ki, ami csökkenti a leadott hő mennyiségét. A szél azonban ezt „lefújja” a testről, így fokozza a hőveszteséget. A szél tehát nem hűti a levegőt, csak az ember érzi hidegebbnek tőle azt.

A WCI tehát annak a szélcsendes környezetnek a hőmérsékletét jelenti, amely ugyanolyan hőérzetet keltene, mint a vizsgált környezet, adott hőmérséklet és szélsébség mellett. Ezt a hőmérsékleti értéket rendszeresen használják, ám különböző módon számolják például az Egyesült Államokban és Kanadában (Osczevski and Bluestein, 2005), vagy Ausztráliában (Steadman, 1994). Mivel a WCI csak hideg környezetre érvényes, így általában változtatva alkalmazzák valamilyen hőséget leíró mérőszámmal (pl. Heat Index, 4.1.5. fejezet; Humidex, 4.1.6. fejezet), időjárási viszonyoktól függően.

4.2. Racionális indexek

4.2.1. T_{mrt} (Mean Radiant Temperature – Átlagos sugárzási hőmérséklet)

Az ember hőérzetét alapvetően befolyásolják a különböző sugárzási viszonyok (lásd az 5. ábrát). Napos időben, és különösen a nyári félévben az átlagos sugárzási hőmérséklet (mean radiant temperature – T_{mrt}) a humán energiaháztartás legfontosabb meteorológiai paramétere (Clark and Edholm, 1985). Ezért nagy hatása van a termofiziológiai szempontból megalapozott, racionális indexekre (Matzarakis et al., 2007). A T_{mrt} annak az emberi testet körülvevő, fekete testnek tekintett (emissziós együttható $\varepsilon = 1$) felületnek a hőmérsékletét adja meg Celsius fokban, amely az emberi testet olyan hőterhelésnek teszi ki, ami ugyanolyan hőérzetet kelt, mint a fennálló, komplex sugárzási összetevők (rövid- és hosszúhullámú) együttesen (ASHRAE, 2001). Az átlagos sugárzási hőmérsékletet előállíthatjuk mérések segítségével, és számolható modellezés útján is.

A T_{mrt} kísérleti módon történő meghatározása során piranométerrel mérjük a rövidhullámú sugárzás fluxusát, pirgeométerrel pedig a hosszúhullámú sugárzás fluxusát. Ezeket a méréseket elvégezzük a négy horizontális, valamint a két vertikális irányban. A kapott értékekből a következő számítással meghatározható az átlagos sugárzási fluxus sűrűség (Höppe, 1992):

$$S_{str} = a_k \sum_{i=1}^6 K_i F_i + a_l \sum_{i=1}^6 L_i F_i \quad (12)$$

ahol S_{str} a keresett átlagos sugárzási fluxus sűrűség, K_i a rövidhullámú (direkt), L_i pedig a hosszúhullámú (visszavert) sugárzási fluxus. F_i írja le a vizsgált felszín sugáriránnyal bezárt szögét, a_k és a_l rendre a rövid- és a hosszúhullámú sugárzásra vonatkozó abszorpciós együtthatók. Ezután a Stefan-Boltzmann törvényt alkalmazva kiszámolható a T_{mrt} :

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\frac{S_{str}}{a_l \sigma}} - 273,2 \quad (13)$$

ahol σ a Stefan-Boltzmann állandó ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$). Ennek a gyakorlati módszernek az előnye, hogy igen pontos eredményt ad, hátránya viszont, hogy meglehetősen időigényes és drága, hosszú távú vizsgálatokra pedig nem használható.

Az átlagos sugárzási hőmérséklet számítása más módon is történhet. Ehhez az emberi testet körülvevő környezetet n darab izotermikus (azonos hőmérsékletű) felszínre osztjuk,

melyeknek hőmérséklete rendre T_i (i értéke 1-től n -ig változhat). Minden egyes ilyen felszín rá jellemző emisszivitással (ε_i), rendelkezik, és hatással van a testre. Hosszúhullámú sugárzást ($E_i = \varepsilon_i \cdot \sigma \cdot T_i^4$), valamint diffúz rövidhullámú sugárzást (D_i) bocsátanak ki, melyeket a beesési szögüknek megfelelően súlyozunk (F_i). Ekkor a T_{mrt} -t a következő alakban kapjuk meg (Matzarakis et al., 1999):

$$T_{mrt} = \left[\frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n \left(E_i + a_k \frac{D_i}{\varepsilon_p} \right) F_i \right]^{0,25} \quad (14)$$

ahol σ a Stefan-Boltzmann állandó ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$). A test rövidhullámú sugárzásra vonatkozó elnyelési együtthatója a_k (értéke 0,7), emissziós együtthatója pedig ε_p (értéke 0,97). Amennyiben közvetlen sugárzás éri a testet, úgy a (14) egyenlet kiegészül egy további taggal (Matzarakis et al., 1999):

$$T_{mrt} = \left[\frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n \left(E_i + a_k \frac{D_i}{\varepsilon_p} \right) F_i + \frac{f_p a_k I^*}{\varepsilon_p} \right]^{0,25} \quad (15)$$

ahol a felszínre érő közvetlen sugárzás az I^* , melyet egy annak beesési szögének megfelelő taggal, f_p -vel súlyozunk. Ennek értéke a napmagasságtól, és a test pozíójától függ.

Az átlagos sugárzási hőmérséklet értékeinek különböző kategóriái a 3. táblázatban szerepelnek.

4.2.2. ET* (New Effective Temperature – Új effektív hőmérséklet)

A Gagge és munkatársai által kifejlesztett ET* (Gagge et al., 1971) a korábbi empirikus index, az ET (Effective Temperature, 4.1.1. fejezet) alapjain nyugszik. Annak az idealizált környezetnek a hőmérsékletét jelenti, amelyben a léghőmérséklet megegyezik az átlagos sugárzási hőmérséklettel, a relatív páratartalom 50%, és amelyben az emberi test, és környezete közt ugyanolyan irányú és mértékű hőcsere zajlik, mint az aktuális, vizsgált környezetben (Höppe, 1999).

4.2.3. SET* (Standard Effective Temperature – Standard effektív hőmérséklet)

A standard effektív hőmérséklet az ET* (New Effective Temperature, 4.2.2. fejezet) továbbgondolt változata. A SET* egy Gagge és munkatársai által kidolgozott kétszegmensű energia-egyensúlyi modellt használ (Gagge et al., 1971, 1986). Annak az idealizált környezetnek a hőmérsékletét jelenti, amelyben a léghőmérséklet megegyezik az átlagos sugárzási hőmérséklettel, a relatív páratartalom 50%, a szél sebessége pedig 0,15 m/s. Ezek mellett egy standard öltözetű, és munkát végző ember, és környezete közt ugyanolyan irányú és mértékű hőcsere zajlik, ugyanolyan bőrhőmérséklet és bőrnedvesség mellett, mint az aktuális, vizsgált környezetben.

Pickup és de Dear (1999) úgy egészítették ki a modellt, hogy kültéri sugárzási viszonyokat is leírjon. Az így számolt index az OUT-SET* (Standard Effective Temperature for outdoor – Kültéri standard effektív hőmérséklet) nevet kapta.

4.2.4. PMV (Predicted Mean Vote – Jóérzés-index)

A PMV egy tapasztalati index, mely az emberi hőérzet alakulását írja le a környezete hatásainak függvényében. Felállítása Fanger nevéhez fűződik, aki nagyon alapos kísérleteket végzett annak megállapítására, hogy egyes időjárási tényezők milyen módon befolyásolják az ember energia-egyensúlyát (Fanger, 1970).

A több mint 1000 alany közreműködésével zajlott vizsgálat során feljegyezték, hogy az egyes emberek milyenek értékelik a saját hőérzetüket különböző meteorológiai paraméterek meghatározott értékei mellett. A kísérlet kiterjedt a különböző ruházatok befolyásoló hatására is. Ennek eredményeképpen gyakorlatilag egy empirikus index jött létre, ahol a 0 jelenti a termikus komfortot, vagyis ahol a szervezetet sem meleg, sem hideg stressz nem éri. A PMV skálája egy eredetileg 7 fokozatú ASHRAE-komfort skála, mely mára 9 fokozatúvá bővült. A negatív értékek mutatják a hideg stressz tartományát, ahol a -4 már extrémnek mondható, a pozitív értékek pedig az ellenkezőjét, ahol a +4 jelöli az extrém meleg stresszt (lásd a 3. táblázatot). Fanger komfort-modellje a megfelelő paraméterek ismeretében meg tudta becsülni, hogy azokhoz milyen PMV-értékek tartoznak, az index kiszámítása tehát már a test energia-egyenlegén alapszik.

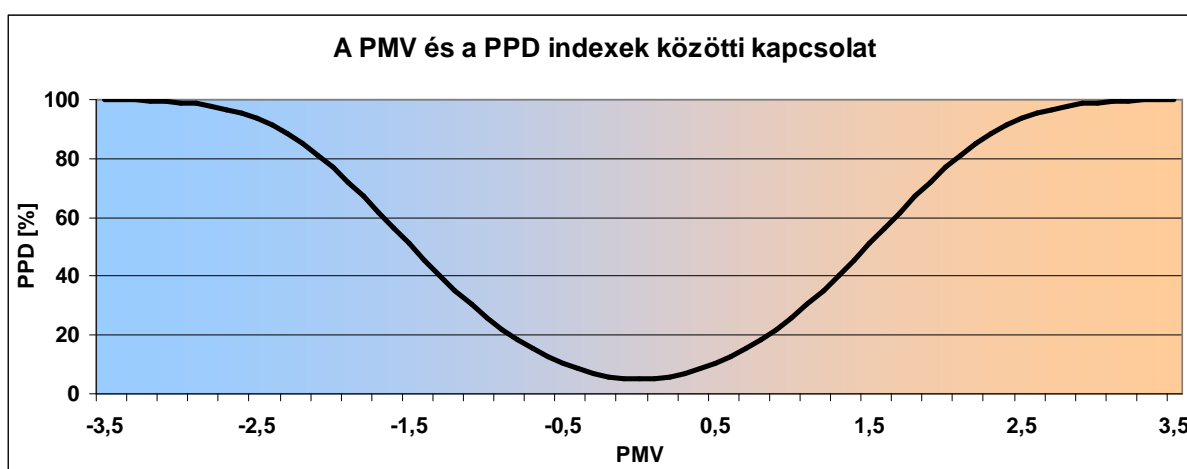
A PMV igen gyakran alkalmazott bioklíma index, különösen a városi klíma tanulmányozásának területén (pl. Mayer, 1993; McGregor et al., 2002; Gulyás et al., 2003).

4.2.5. PPD (Predicted Percent Dissatisfied – Elégedetlenségi arány)

A PMV (Predicted Mean Vote – 4.2.4. fejezet) indexhez kapcsolódó változó, alapja tehát szintén Fanger komfort-modellje (Fanger, 1970). A PMV-ből az alábbi módon számolható:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp\left[-\left(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2\right)\right] \quad (16)$$

Értéke megmutatja, hogy az emberek átlagosan hány százaléka elégedetlen az adott időjárási viszonyokkal. A PPD és a PMV egymással való kapcsolatát a 6. ábra mutatja.



6. ábra - A PMV és a PPD indexek közötti kapcsolat

4.2.6. PET (Physiologically Equivalent Temperature – Fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet)

A Mayer és Höppe (1987) által létrehozott PET napjaink egyik leggyakrabban használt bioklíma indexe, köszönhetően annak, hogy igen széleskörűen alkalmazható. Annak a zárt térnek a hőmérsékletét adja meg Celsius fokban, amely bizonyos klimatikus (gőznyomás, szélesség, stb.) és fiziológiai (pl. fizikai aktivitás, ruházat) standard paraméterek mellett ugyanazt a testmag- és bőrhőmérsékletet eredményezi, mint a testet éppen aktuálisan körülvevő (külső) környezet (Höppe, 1999). A PET tehát egy standardizált tér hőmérsékletét jelenti, amelyben a következő meteorológiai paraméterek rögzítve vannak:

- a T_{mrt} (Átlagos sugárzási hőmérséklet, 4.2.1. fejezet) megegyezik a léghőmérséklettel,
- a szél sebessége 0,1 m/s,

- a vízgőznyomás 12hPa (ez 20 °C mellett nagyjából 50%-os relatív páratartalomnak felel meg).

A fiziológiai standard paraméterek pedig a következők:

- a fizikai aktivitás mértéke 80 W,
- a ruházat hőszigetelése 0,9 clo.

A PET értékeihez különböző hőérzeti tartományokat rendelnek aszerint, hogy milyen fiziológiai hatást váltanak ki. Vizsgálatunkban a freiburgi iskola által kijelölt határokat használtuk, kiegészítve az extrém hideg stressz kategóriáját két további hőérzeti csoporttal, melyek segítségével a téli, alacsony értékek jobban értelmezhetők. Ezek a tartományok különböző klímaterületeken eltérőek lehetnek, más határértékek alkalmazására is van példa (Lin and Matzarakis, 2008).

T_{mrt} (°C)	PMV	PET (°C)	Hőérzet	Fiziológiai hatás
0		-10	Nagyon fagyos	Extrém hideg stressz
5		0	Fagyos	
10	-3,5	4	Nagyon hideg	
15	-2,5	8	Hideg	Erős hideg stressz
20	-1,5	13	Hűvös	Közepes hideg stressz
25	-0,5	18	Kissé hűvös	Enyhe hideg stressz
30	0,5	23	Komfort	Nincs stressz
35	1,5	29	Kissé meleg	Enyhe meleg stressz
40	2,5	35	Meleg	Közepes meleg stressz
45	3,5	41	Forró	Erős meleg stressz
			Nagyon forró	Extrém meleg stressz

3. Táblázat - A T_{mrt} , PMV és PET indexek tartományai (Matzarakis and Mayer, 1997)

A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet kiszámítása a MEMI (Munich Energy balance Model for Individuals) energia-egyensúlyi modell segítségével történik. A modellről bővebben az 5.2. fejezetben lesz szó.

4.2.7. A MENEX-modellre (Man-ENvironment heat EXchange model) épülő indexek

A Blazejczyk (1994) által felállított MENEX az emberi test és környezete közötti hőáramokat írja le. A modell egyaránt alkalmazható stacionárius, és változó hőcsere-folyamatok vizsgálatára. Ez előbbi esetben a bioklíma általános tanulmányozásában nyújt segítséget, utóbbi tulajdonsága miatt pedig egy vizsgált személy különféle időjárási helyzetekben, különböző mértékű munkavégzése során kialakuló hőterhelését modellezhetjük vele. A MENEX tesztelését kültéri kísérletek során végezték, egymástól eltérő klímájú területeken (Blazejczyk, 1992). Ebből a modelltől származtatják többek közt az alábbi indexeket (Jendritzky et al., 2009):

- STI (Subjective Temperature – Szubjektív hőmérséklet): Értéke az aktuális környezethez való alkalmazkodás előtt szubjektíven érzékelt hőmérséklet.
- PhS (Physiological Strain – Fiziológiai terhelés): Ez a 0-tól 8-ig terjedő, mértékegység nélküli index a hideg, vagy meleg környezethez való alkalmazkodási folyamatok intenzitását jelöli.
- PST (Physiological Subjective Temperature – Fiziológiailag szubjektív hőmérséklet): Az aktuális környezethez való 15-20 percnyi alkalmazkodás után a bőrfelszín környékén kialakuló hőmérséklet.
- OhR, OcR (Overheating Risk – Túlmelegedési kockázat, Overcooling Risk – Túlhűlési kockázat): Azt az időtartamot jelentik percben, amely alatt az adott körülmények hatására a test bizonyos határon túl melegegdedne, illetve hűlné.

A MENEX alapján számolható indexek közül a Lengyel Meteorológiai Intézetben többet is használnak különböző kutatásokban, néhányat operatíván is alkalmaznak.

4.2.8. UTCI (Universal Thermal Climate Index – Univerzális termikus klímaindex)

A közelmúltban elkészült UTCI egy nagyszabású nemzetközi munka eredménye. Az index kidolgozása a COST-730 akcióprojekt keretében történt, a bioklimatológia tudományterületének vezető alakjainak a közreműködésével (Jendritzky, 2009). Annak a referencia-környezetnek a hőmérsékletét adja meg, amely ugyanolyan élettani reakciókat vált ki, mint az aktuális környezet.

Az index alapja Fiala et al. (2001) 340 szegmensű energia-egyensúlyi modellje, mely az emberi testet két fő rendszerként kezeli. Az aktív rendszer egy kibernetikai modell, amely a központi idegrendszer hőháztartásra vonatkozó reakcióit írja le. Ez vezérli a passzív rendszert, ami a szervezet belsejében, és a felszínén történő hőcsere-folyamatokat szimulálja, és részletesen tartalmazza a test anatómiai és fiziológiai tulajdonságait is.

A modell külön kezeli a termofiziológiailag eltérő módon viselkedő testtájakat, így többek között az arcot és a kezeket is. Ennek köszönhetően értelmezni tud olyan folyamatokat is, melyek a testmag hőmérsékletét nem érintik számottevően, például a szélnek kitett, szabadon lévő bőrfelszín fagyási sérüléseit. A modell tehát rendkívül sok információt nyújt a test állapotáról: a maghőmérséklet értékét, különböző helyeken vett bőrfelszín-hőmérsékletet, az izzadásra vonatkozó értékeket, különböző hőáramok mértékét, stb. Ezek különböző értékeihez egy terhelési index értéket állapítottak meg. Az UTCI annak a környezetnek a hőmérséklete, amelyben a sugárzási hőmérséklet megegyezik a léghőmérséklettel, a relatív páratartalom 50% (ha a vízgőznyomás nem haladja meg a 20 hPa-t), a szélesebbég elhanyagolható, és ezek mellett ugyanakkora terhelési index értéket okoz, mint a modellezett, aktuális környezet (Jendritzky et al., 2010).

Az UTCI értékeit az okozott fiziológiai hatás alapján a 4. táblázatban foglaltak szerint soroljuk különböző kategóriákba:

UTCI	Fiziológiai hatás
-40 °C	Extrém hideg stressz
-27 °C	Nagyon erős hideg stressz
-13 °C	Erős hideg stressz
0 °C	Közepes hideg stressz
9 °C	Enyhe hideg stressz
26 °C	Nincs stressz
32 °C	Közepes meleg stressz
38 °C	Erős meleg stressz
46 °C	Nagyon erős meleg stressz
	Extrém meleg stressz

4. Táblázat - Az UTCI tartományai (Jendritzky, 2009)

5. Adatok, számítási módszerek

5.1. Az adatok forrása, előkészítés

A különböző indexek előállításához igen nagy mennyiségű adatra van szükség. Célszerű olyan adatsort vizsgálni, amely kellően hosszú ahhoz, hogy évtizedes trendek megállapítására alkalmas legyen, továbbá hogy a kisebb évközi ingadozások kiegyenlítsék egymást az évek alatt. Fontos, hogy az adatsor a lehető legnagyobb mértékben homogén legyen – nagyobb szünetek, hosszabb hiányosságok torzíthatják az eredményeket. Vizsgálatunkhoz az OMSZ (Országos Meteorológiai Szolgálat) bocsátotta rendelkezésünkre a síófoki szinoptikus állomás (É.sz. 46°54', K.h. 18°02', tszf.m.: 108 m) adatait. Ezek közé tartoztak a 2 méteren mért léghőmérséklet, a relatív páratartalom, a 10 méteren mért szélesség, valamint a felhőzet mennyiségének megfigyelt értékei az 1961-től 2008-ig tartó időszakra. Az adatsor minden tekintetben megfelelőnek bizonyult, hiszen az állomás több mint ötven éve működik változatlan helyen, és adatszolgáltatása kellően folyamatos. Az állomáson a mérés 1996. január 1. óta automatizált módon történik (kivéve a felhőzet mennyiségének észlelését). Az ezt megelőző években óránként történt észlelés.

Munkánk során az ún. főterminusok adatait dolgoztuk fel, vagyis a világidő (UTC) szerinti 0, 6, 12 és 18 órás értékeket. Ezekben a vizsgált 48 év alatt csak igen csekély hiányosság mutatkozott. A feldolgozáshoz elengedhetetlen volt a folytonos adatsor, így a hiányokat pótolni kellett. Ezek jellemzően csak egy-egy órát érintettek. Ilyenkor először számba vettük a szinoptikus helyzetet, és amennyiben a hibalehetőség csekély volt, a szomszédos órák adatai alapján rekonstruáltuk a kérdéses adatot. Abban az esetben, amikor több órányi összefüggő adathiány volt, illetve amikor az időjárási helyzet bonyolultabb volt (pl. konvektív események, frontátvonulás), a Meteorológiai Szolgálatnál gyakorolt módon jártunk el. Ilyen esetben figyelembe vettük a környező állomások adatait, valamint az elérhető meteorológiai produktumokat, és ezeket elemezve próbáltuk a hiányzó adatokat a lehető legpontosabban helyettesíteni. Az ilyen módon kiegészített részek az adatsor elhanyagolható részét képezték, így az évtizedekre összeállított eredményekben szignifikáns hibát nem okoztak.

A további feldolgozáshoz a különböző meteorológiai paramétereket csoportosítani kellett, így a négy főterminusra négy külön fájlt hoztunk létre. Ezek mindegyike soronként tartalmazta a dátumot, az időpontot és a négy paramétert. A fájlok 1961-től 2008-ig

tartalmazták az adatokat, vagyis összesen 17532 sorból álltak. Ezeknek a nagyméretű fájloknak a létrehozásához a Microsoft Excel programot használtuk.

5.2. A RayMan-, és a MEMI-modell

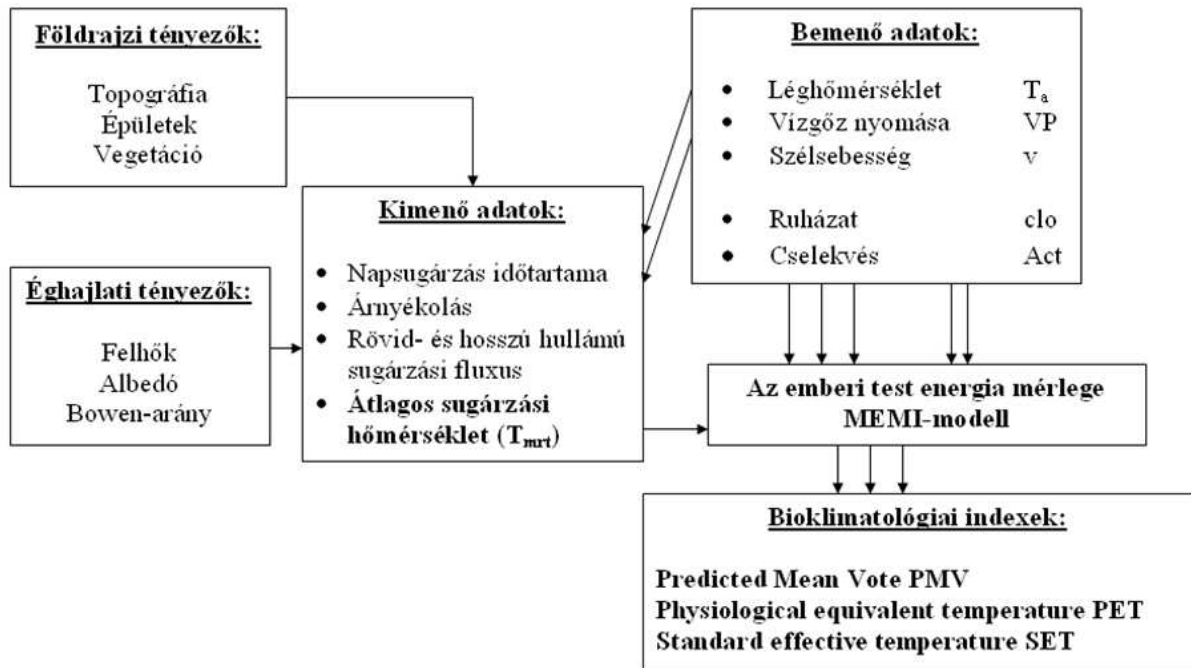
A bonyolultabb sugárzási folyamatokat figyelembe vevő indexek előállításához a RayMan Pro modellt használtuk. A modellt a németországi Freiburgban lévő Albert-Ludwigs Egyetem Meteorológia Tanszéke bocsátotta rendelkezésünkre. Itt fejlesztették ki elsősorban a városi környezet bioklimájának tanulmányozásra, de turisztikai klimatológiai célokra is alkalmazható. Elsősorban a sugárzási fluxus számításán alapul (Mayer és Höpfe, 1987).

A RayMan modellt a VDI, a Német Mérnökök Egyesületének 3787-es (környezeti meteorológia, módszerek a levegő minőségének és a klímának a humán-biometeorológiai értékelésére városi és regionális tervezéshez), és 3789-es (környezeti meteorológia, a légkör és a felszín közötti kölcsönhatások; rövid- és hosszuhullámú sugárzás számítása) irányelvei alapján folyamatosan fejlesztik.

Bár a felszíni geometria rendkívül komplex modellezését teszi lehetővé, a Microsoft Windows operációs rendszer alatt igen könnyen kezelhető. Az általunk használt bemenő paramétereket az alábbi módon csoportosíthatjuk:

- Általános adatok: - dátum
 - pontos idő
- Meteorológiai adatok - léghőmérséklet
 - vízgőznyomás, vagy relatív páratartalom
 - szélesebesség
 - felhőborítottság
- Földrajzi tényezők: - földrajzi szélesség
 - földrajzi hosszúság
 - tengerszint feletti magasság
 - időzóna
- Fiziológiai adatok: - testmagasság
 - testtömeg
 - kor
 - nem
 - ruházat mennyisége
 - fizikai aktivitás mértéke.

A modell működését leegyszerűsítve a 7. ábra szemlélteti:



7. ábra - A RayMan-modell felépítése

A számítás két lépcsőben történik. Először különböző földrajzi és éghajlati tényezők, valamint további bemenő adatok alapján sugárzással kapcsolatos kimenő adatokat kapunk, elsősorban a T_{mrt} -t.

Ez az alapvető paramétere a következő szakasznak. A második lépcsőben a beépített MEMI-modell segítségével számítja ki az indexeket.

A Müncheni Egyetemen kifejlesztett MEMI (Munich Energy balance Model for Individuals) egy hőegyensúly-modell, mely az emberi test energia-egyensúlyi egyenletén (lásd *(1) egyenlet*), valamint Gagge kétszintű modelljének (Gagge et al. 1971) néhány paraméterén alapszik. Az egyenlet néhány tagja függ az átlagos ruházat-felszíni hőmérséklettől (mean clothing surface temperature), az átlagos bőr-hőmérséklettől, vagy az izzadás mértékétől, melyek mindegyikét befolyásolják a környező körülmények – a fiziológiai izzadási ráta (az E_{sw} számításának alapja) függvénye a test belső-, ún. maghőmérsékletének, mely függ mind a környező körülményektől, mind az aktivitástól. Ezért az egyenlet megoldásához először meg kell határozni a három ismeretlen mennyiséget, vagyis a ruházat átlagos felszíni hőmérsékletét (T_{cl}), a bőr átlagos hőmérsékletét (T_{sk}), és a test maghőmérsékletét (T_c). Ezen ismeretlenek meghatározásához két további egyenletre van szükségünk. Ezek közül az első a test belsejéből a bőr felé irányuló hőáramot írja le:

$$F_{CS} = v_b \times \rho_b \times c_b \times (T_c - T_{sk}) \quad (17)$$

ahol v_b a test belsejéből a bőr felé eljutó véráramot ($\text{ls}^{-1}\text{m}^{-2}$) írja le, mely függ a bőr szintjétől és a maghőmérséklettől, ρ_b a vér sűrűségét (kg/l), c_b pedig a vér fajlagos hőkapacitását ($\text{WsK}^{-1}\text{kg}^{-1}$) jelöli.

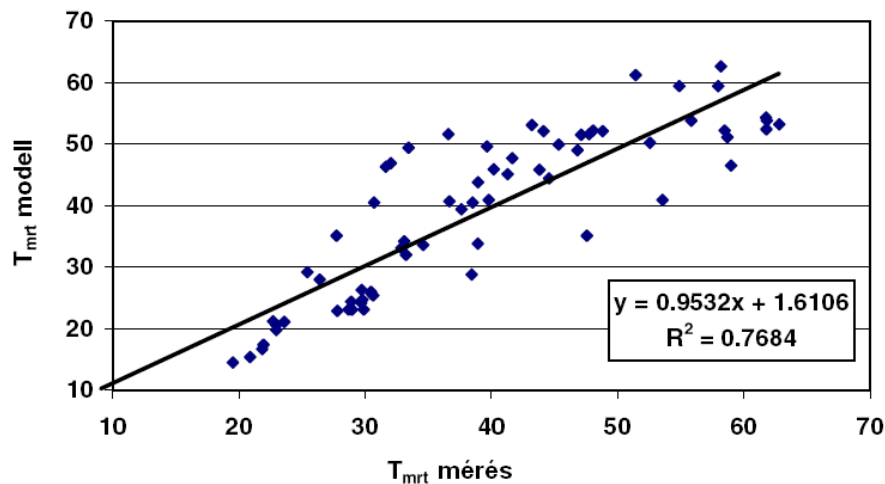
A második egyenlet a bőrfelszíntől a ruházaton keresztül annak felszínére jutó hőáramot írja le:

$$F_{SC} = \frac{1}{I_{cl}} \times (T_{sk} - T_{cl}) \quad (18)$$

ahol I_{cl} a ruházat szigetelésének a mértékét (Km^2W^{-1}) jelenti (Höppe, 1999).

Az (1), (17) és (18) egyenletek segítségével az éghajlati paraméterek, az aktivitás és a ruházat mennyiségének ismeretében már kiszámolható a test termikus állapota. Ezt a hőáramok, a test hőmérséklete és az izzadási ráta határozzák meg. A MEMI tehát az éghajlat termikus komponensének termofiziológiailag lényeges számításához jelent alapot. A különbséget Gagge kétszintű modelljéhez képest az jelenti, hogy itt a hőáramok számítása, és az izzadási ráta számítása is máshogy történik (T_{sk} és T_c függvényeként).

Matzarakis és munkatársai megvizsgálták, hogy mennyire pontosan követik a RayMan-nel modellezett értékek a mért értékeket. A kísérletet Freiburgban végezték egy augusztusi napon. Az összehasonlítást a 8. ábrán láthatjuk.



8. ábra - Az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) mért, és RayMan-nel modellezett értékeinek kapcsolata (Matzarakis et al., 2007)

Megállapították, hogy a mért és modellezett értékek közötti kapcsolat r^2 értéke 0,7684, ami 95%-os szinten statisztikailag szignifikáns. A csekély mértékű szórás oka a felhőzet hatása, valamint a környező épületek bonyolult szerkezete lehetett, melyeket természetesen

nem lehet végtelen pontossággal modellezni. Összességében tehát azt találták, hogy a RayMan-nel szimulált hőmérsékletek elfogadható egyezést mutatnak a mért T_{mrt} értékekkel (Matzarakis et al., 2007).

A következő példán láthatjuk, hogy a MEMI modell számításai milyen módon járulnak hozzá az emberi hőérzet minél pontosabb meghatározásához. Egy meleg, nyári napon, közvetlen napsugárzás mellett a meteorológiai paraméterek az alábbiak:

- Léghőmérséklet: 30°C
- Átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}): 60°C
- Relatív páratartalom: 50%
- Szélsebesség: 1 m/s

Fontosak továbbá a fiziológiai adatok is. A modell a nemzetközi szakirodalomban meghatározott standard értékekkel számolt: a példa alanya egy 180 cm magas, 75 kg súlyú 35 éves férfi, ruházatának mértéke 0,5 clo, fizikai munkavégzése könnyű séta (4 km/h). A fenti adatokkal számolva a modell a következő tagokat határozta meg:

- Belső hőtermelés: 258 W
- A bőr átlagos hőmérséklete: 36,1°C
- A test maghőmérséklete: 37,5°C
- A bőr nedvességtartama: 53%
- Vízvesztés: 525 g/h
- Respirációs hővesztés: -27 W
- Nem érzékelhető veritékezés: -11 W
- Az izzadság párolgása: -317 W
- Konvekció: -143 W
- Nettó sugárzás: +240 W

Ilyen értékek mellett a vizsgált személyre vonatkozó PET értéke 43°C. Látható tehát, hogy a léghőmérséklet, és a hőérzetet jelző index értéke között igen jelentős különbség alakulhat ki (Höppe, 1999).

A MEMI segítségével tehát így számítja ki a RayMan Pro a T_{mrt} , a PET és a PMV indexeket.

5.3. Program

Az UTCI kiszámolásához a COST-730 akcióprogram keretében, Peter Bröde által 2009. márciusában írt programot használtuk. A program folyamatos fejlesztés alatt áll, munkánk során mi az internetről letölthető 0.001-es verziót alkalmaztuk. Ez a billentyűzetről beolvasott léghőmérséklet, átlagos sugárzási hőmérséklet, szélsébség és relatív páratartalom (vagy vízgőznyomás) adatokból számolja ki az UTCI-t.

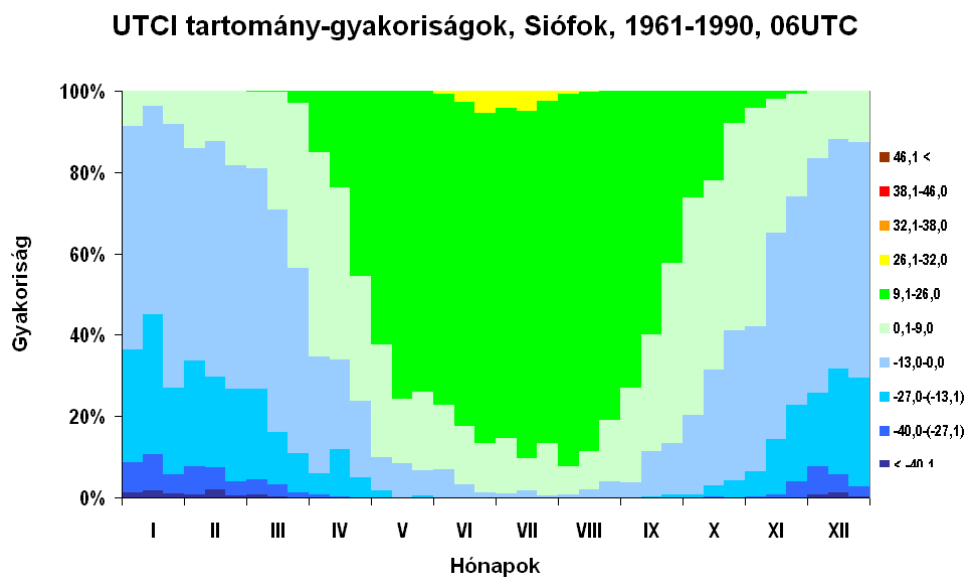
Mivel igen nagy mennyiségű adattal dolgoztunk, az UTCI előállításához közel 300000 db érték begépelésére lett volna szükség (48 év, napi 4 paraméter, 6 óránként). Ezért a program bemenetét úgy módosítottuk, hogy külső fájlból olvassa be a fenti meteorológiai paramétereket, és az eredményeket egy kimeneti fájlba írja.

Ezt követően szükség volt a fennmaradó két index (HI, WBGT) értékeinek kiszámítására. Az adatsor hosszára való tekintettel ez csak valamilyen automatizált formában volt elképzelhető. Olyan megoldást kerestünk, melynek segítségével az indexek gyorsan, és egyszerűen előállíthatók, ezért készítettünk egy programot, mely a bemenő adatokat tartalmazó fájl felhasználásával kiszámítja az értékeket, majd egy output fájlba kiírja azokat.

A különböző módokon kiszámított indexek azonban továbbra is igen hosszú adatsort jelentettek. Ahhoz, hogy az eredmények a szakirodalomban megszokott diagramos formában közreadhatóak legyenek, el kellett végezni az indexek tartományokba sorolását. Ehhez az imént bemutatott programot módosítottuk úgy, hogy ezt a feladatot is elvégezze, így az összes ábrához szükséges adat létrehozása automatizáltan történt. A program Fortran nyelven íródott, kezelői felülete kizárólag szöveges, ám használata roppant egyszerű. Amennyiben rendelkezésre állnak a bemenő paramétereket megfelelően formázva tartalmazó input fájlok, a programot futtatva kiválaszthatjuk, melyik bioklíma index diagramjához szeretnénk megkapni a szükséges adatokat. Ezek után a program kiszámolja az 1961-től 2008-ig, az 1961-től 1990-ig, az 1971-2000-ig és az 1981-2008-ig tartó időszakokra vonatkozó egyes tartománygyakoriságokat, majd egy output fájlba írja azokat.

5.4. Bioklíma diagramok

Az adatfeldolgozó program tehát előállítja az egyes kategóriák előfordulási arányát, minden dekádra, azaz körülbelül 10 napos szakaszra. Ezekből az adatokból Microsoft Excel programmal készítettük el a szakirodalomban használatos bioklíma-diagramokat, melyeknek egy mintája a 9. ábrán látható:



9. ábra - A bioklíma-diagram

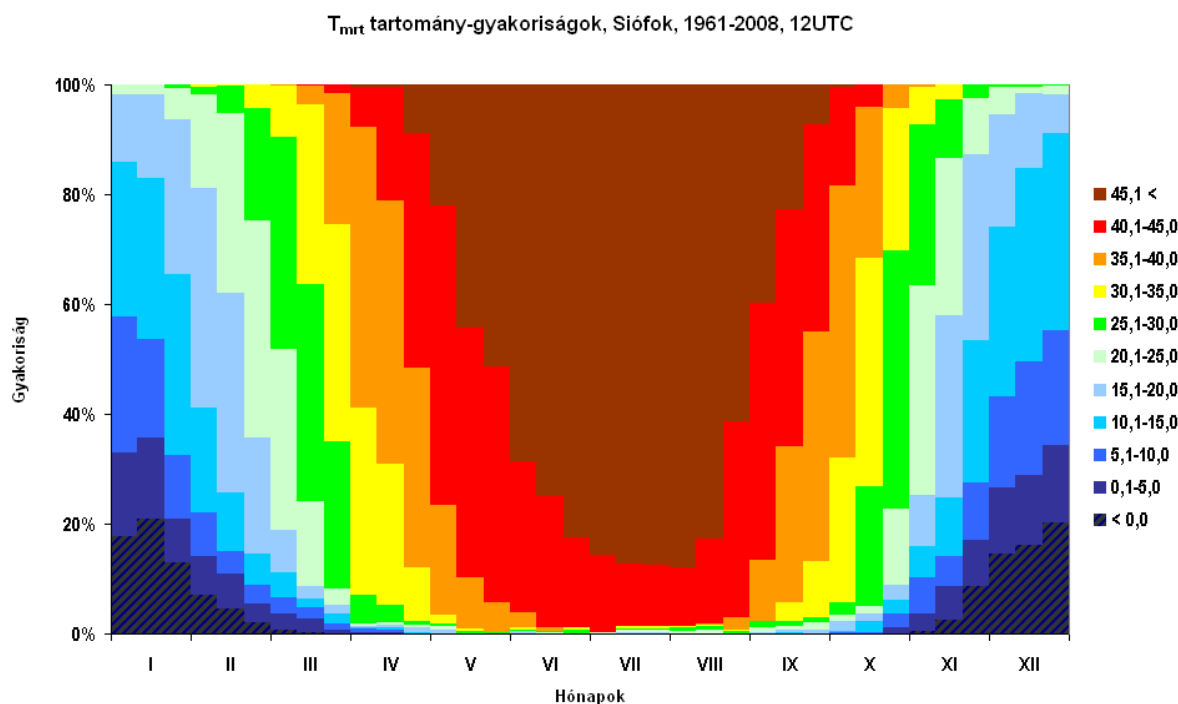
Az ábra vízszintes tengelyén a hónapok szerepelnek, azok napjai dekádonként csoportosítva, tehát minden hónapra 3 szakasz jut. A függőleges tengelyen az egyes tartományok relatív gyakorisága szerepel. Az ábra jobb oldalán látható a jelmagyarázat, amely megmutatja, milyen index-értékek tartoznak az egyes kategóriákba, és azoknak milyen szín felel meg a diagramon.

A vizsgált index értékének átlagos éves menete így könnyen áttekinthetővé válik, ráadásul nem csak egy középértéket láthatunk, hanem azt is megállapíthatjuk, az év egyes szakaszaiban mekkora esélye van különböző értékek előfordulásának.

6. Eredmények

6.1. T_{mrt} – Átlagos sugárzási hőmérséklet

A teljes vizsgált időtartamra (1961-2008) a T_{mrt} 12 UTC-s bioklíma-diagramja a 10. ábrán látható:



10. ábra - Bioklíma-diagram az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) alapján, 1961-2008, 12UTC

A 48 éves átlagérték $31,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ami a kissé meleg kategóriába sorolható. Igen nagyok az évszakonkénti különbségek. A nyár nagyon forró ($47,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), míg a tél hideg ($11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$). A komfort-tartomány csak az átmeneti évszakokban fordul elő jelentősebb arányban, a nyári félévben az igen magas értékek az uralkodók. A jelentős évszakok közti eltérések a sugárzás nagy évi változékonyságának tudhatók be, nyáron gyakran perzselő, míg télen délben sem éget a nap. A déli órák kivételével ez a túlsúly meg is szűnik az extrém meleg stressznek, alacsonyabb napállásnál viszonylag egyenlően oszlanak el a tartományok, az évszakok közti átmenetek jóval egyenletesebbek.

A T_{mrt} sokévi átlagát összehasonlítva az 1961-1990-es, az 1971-2000-es, és az 1981-2008-es időszakokra, határozott melegedés figyelhető meg:

06 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	7,2	7,4	7,7
Tavaszi	8,7	8,8	9,2
Nyári	24,0	24,4	25,1
Őszi	3,5	3,4	3,8
Téli	-7,8	-7,4	-7,7

12 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	31,4	31,5	31,7
Tavaszi	36,1	36,0	36,3
Nyári	47,5	47,7	48,2
Őszi	30,5	30,1	30,3
Téli	11,3	11,8	11,6

18 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	8,6	8,9	9,2
Tavaszi	9,7	9,8	10,1
Nyári	25,0	25,5	26,3
Őszi	5,8	5,7	6,1
Téli	-6,3	-5,8	-5,9

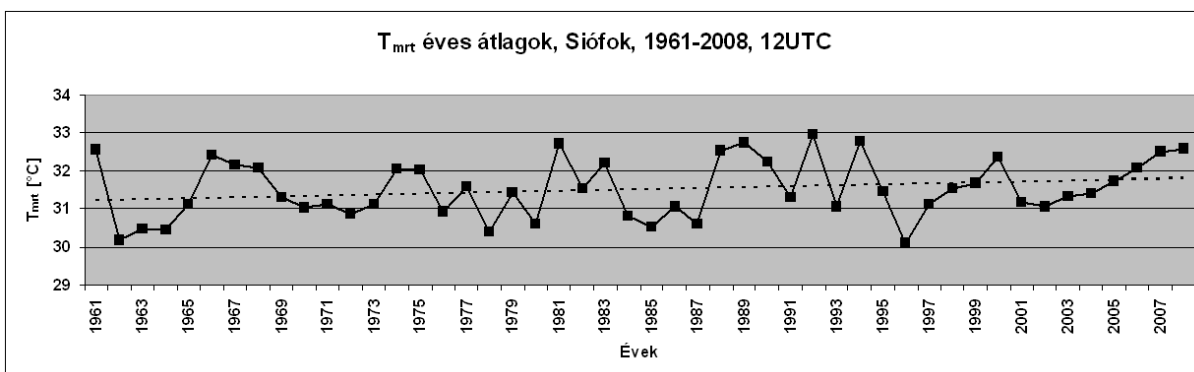
24 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	2,4	2,7	3,0
Tavaszi	2,4	2,4	2,8
Nyári	11,6	12,0	12,5
Őszi	3,1	3,1	3,6
Téli	-7,4	-7,0	-7,2

5. Táblázat - A T_{mrt} éves és évszakos átlagértékei (°C)

A 12 UTC-s éves átlag 31,4 °C-ról 31,5 °C-ra, majd 31,7 °C-ra növekedett. Az évszakok közül a nyári értékek változtak a legnagyobb mértékben, legkisebb mértékben pedig az átmeneti évszakok. A többi időpontban az éves átlagok nagyobb mértékben növekedtek, jellemzően 0,5 °C körül. A legnagyobb növekedés a 06 és 18 UTC-s nyári értékekben volt, mindkét esetben meghaladta az 1 °C-ot. Látható, hogy ugyanakkor ellenkező irányú változások is történtek. Az 1971-2000-es periódusban az átlagos sugárzási hőmérséklet őszi értékei több napszakban is csökkentek az 1961-1990-eshez képest, leginkább a déli órákban, amikor a tavaszi értékek is így viselkedtek. A következő 30 éves időtartamra pedig a tél kivételével mindegyik évszak értékei magasabbak lettek.

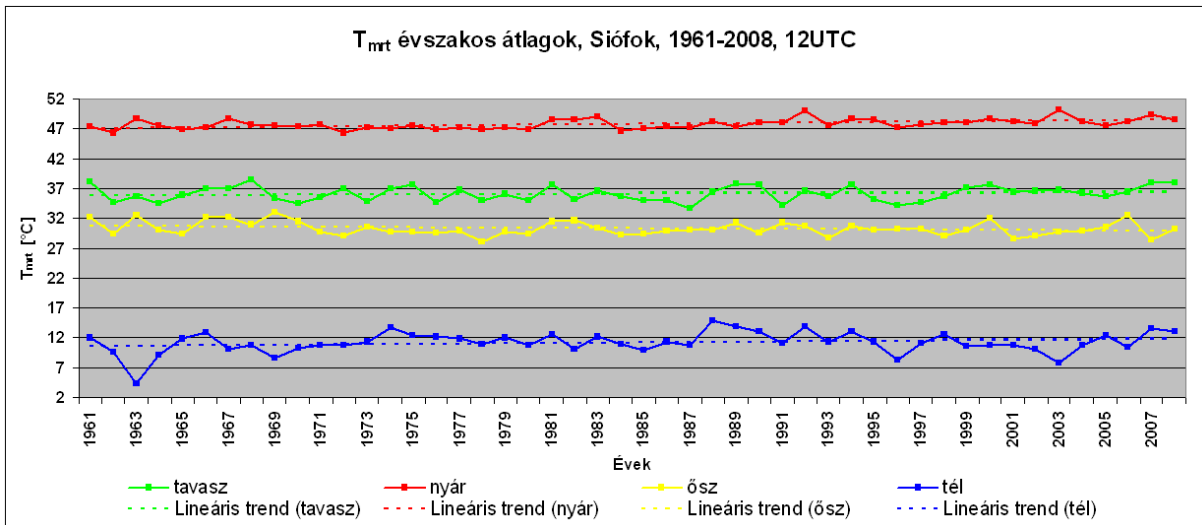
Az 1961-1990-es és az 1981-2008-as időszakok különbségét tekintve az éves átlagok mindegyik napszakban melegedtek, jellemzően gyorsuló ütemben. A változás 0,3-0,6 °C-os volt. Az egyes évszakok is mind melegedtek, a 12 UTC-s őszi értékek kivételével.

A 12 UTC-s éves átlagok jellemzően 30 °C és 33 °C között szóródnak (11. ábra), az évek során viszonylag hasonló változékonysággal. Megfigyelhető azonban, hogy az utóbbi 12 évben nem volt 31 °C alatti érték, ami a korábbi években rendszeresen előfordult. Hosszútávon az értékek egyre magasabbak, a lineáris trend évente átlagosan 0,013 °C.



11. ábra - Az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) éves átlagai, 1961-2008, 12UTC

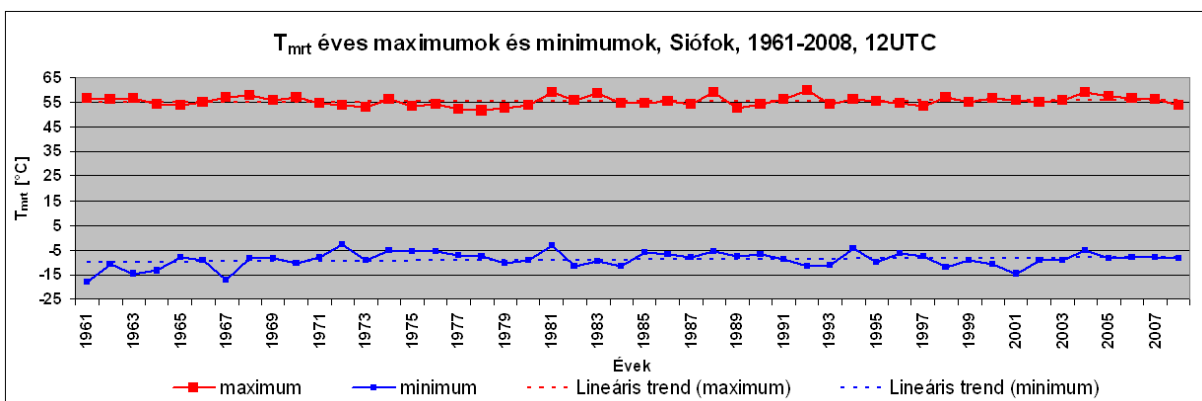
Az évszakok átlagai a 12. ábrán láthatóak. A legnagyobb változékonyságot a téli, míg a legkisebbet a nyári értékek mutatják.



12. ábra - Az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) évszakos átlagai, 1961-2008, 12UTC

A 48 év során a nyári növekedés volt a legnagyobb, évente átlagosan $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$, és majdnem ekkora volt a téli trend is ($0,027\text{ }^{\circ}\text{C}$). A tavaszi értékek $0,012\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal növekedtek évente. Az őszi átlagos sugárzási hőmérséklet azonban csökkent, lineáris trendje $0,019\text{ }^{\circ}\text{C}$.

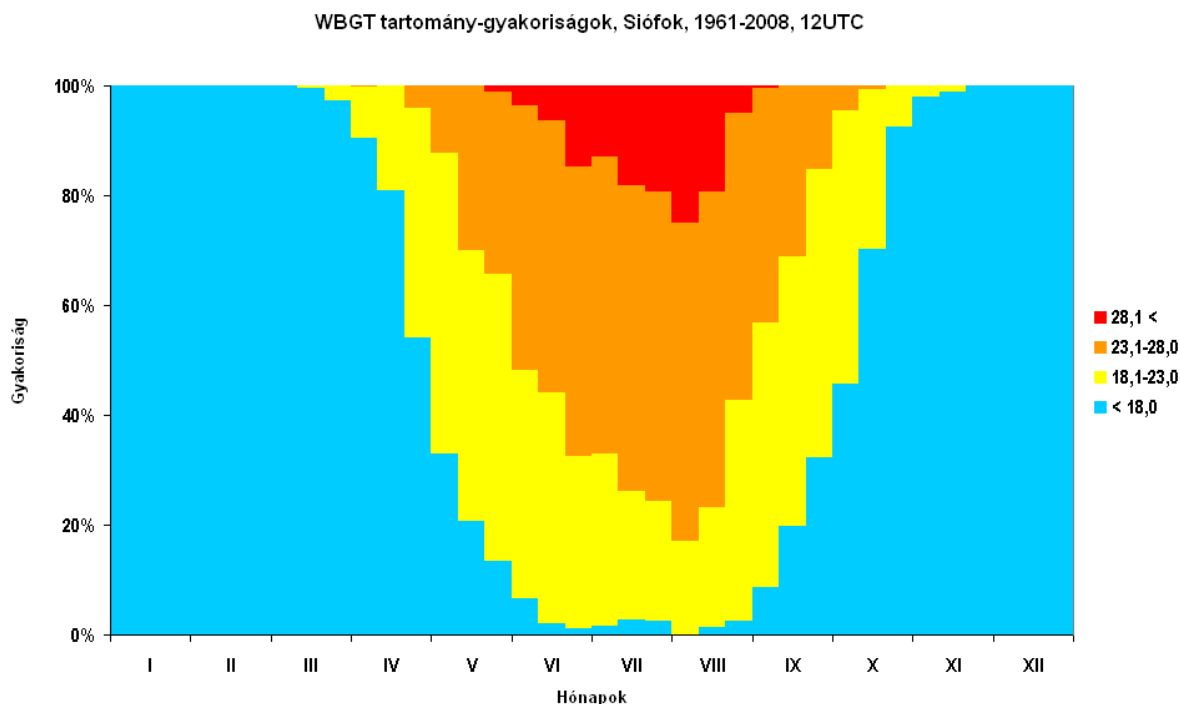
Az évi legmagasabb, illetve legalacsonyabb T_{mrt} értékeket a 13. ábra mutatja. Eszerint minden évben előfordult extrém meleg stressz, csakúgy, mint extrém hideg stressz. A legnagyobb értékek a vizsgált 48 év alatt átlagosan $55,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nak adódtak, évente $0,018\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nyi melegedéssel. A minimumok átlaga $-9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, évente viszonylag nagy, $0,044\text{ }^{\circ}\text{C}$ melegedéssel.



13. ábra - Az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) éves szélsőértékei, 1961-2008, 12UTC

6.2. WBGT – Nedves gömb hőmérséklet

A vizsgált 48 évre a WBGT 12 UTC-s bioklíma-diagramja a 14. ábrán látható. Megállapítható, hogy a WBGT index szerint a téli félévben nem kell számítanunk hőség okozta kockázatra, november elejétől március végéig általában 18 °C alatt marad a nedves gömb hőmérséklet. Április elejétől azután gyorsan növekszik a közepes kockázatot jelentő tartomány gyakorisága, május végére már csak 13% esélye van a teljesen veszélytelen hőmérsékleteknek. A legnagyobb hőterhelés augusztus első dekádjában éri a szervezetet a WBGT szerint, ekkor kockázatot nem jelentő értékek nem is fordulnak elő, 28 °C-ot meghaladó hőmérsékletek pedig 25%-os gyakorisággal alakulnak ki. Ez már extrém kockázatot jelent, ilyenkor a munkavégzés kifejezetten ellenjavallt, vagy csak nagy körültekintéssel ajánlott.



14. ábra - Bioklíma-diagram a nedves gömb hőmérséklet (WBGT) alapján, 1961-2008, 12UTC

A WBGT értékeket összehasonlítva az 1961-1990-es és az 1971-2000-es időszakokra (6. táblázat) látható, hogy az éves átlagértékek minden napszakban növekedtek. Az évszakok közül a tél igen nagy mértékben melegedett, a különbség közel 0,5 °C-os mind a négy időpontban. A nyári értékek az éves átlaghoz hasonló ütemben növekedtek. A WBGT esetében az őszi mellett azonban a tavaszi értékek is csökkentek, ha kis mértékben is, de

mindegyik napszakban. Számottevő csak az őszi, 12 UTC-s változás, ennek nagysága 0,25 °C volt.

Az 1971-2000-es és az 1981-2008-as időszakokat összehasonlítva láthatjuk, hogy a tél kivételével az év minden szakaszában az előzőnél nagyobb ütemben növekedtek az értékek. A éves középértékek kisebb, a tavaszi, nyári és őszi átlagok nagyobb növekedést mutatnak. Ez esetben a tél a kivétel, az előző, jelentősebb melegedés helyett most a hűlés volt jellemző.

06 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	7,2	7,3	7,5
Tavaszi	7,2	7,2	7,5
Nyár	17,4	17,5	18,0
Ősz	6,7	6,7	7,0
Tél	-2,9	-2,5	-2,6

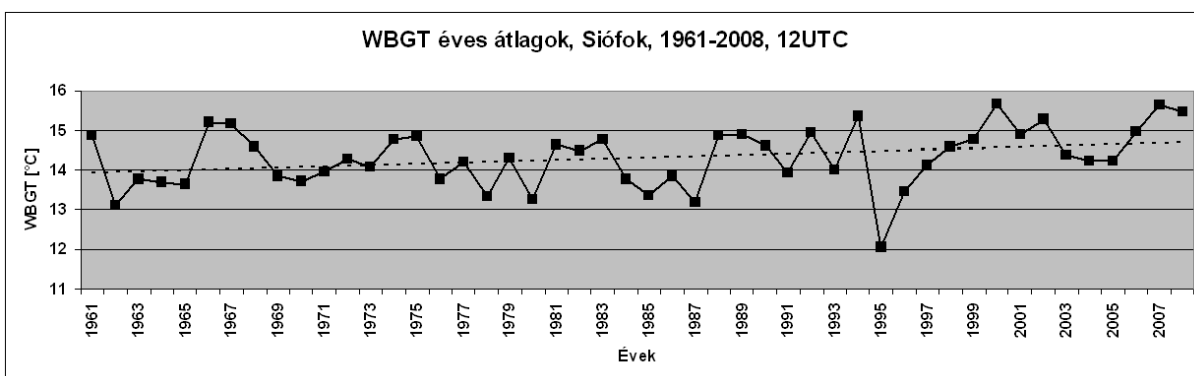
12 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	14,2	14,2	14,4
Tavaszi	15,1	15,0	15,3
Nyár	24,2	24,2	24,6
Ősz	14,7	14,5	14,8
Tél	2,5	2,9	2,9

18 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	9,1	9,3	9,6
Tavaszi	9,4	9,4	9,7
Nyár	19,4	19,6	20,1
Ősz	9,0	8,9	9,3
Tél	-1,5	-1,0	-1,1

24 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	6,6	6,7	6,9
Tavaszi	6,4	6,4	6,6
Nyár	15,0	15,1	15,5
Ősz	7,2	7,2	7,5
Tél	-2,4	-2,0	-2,1

6. Táblázat - A nedves gömb hőmérséklet (WBGT) éves és évszakos átlagértékei (°C)

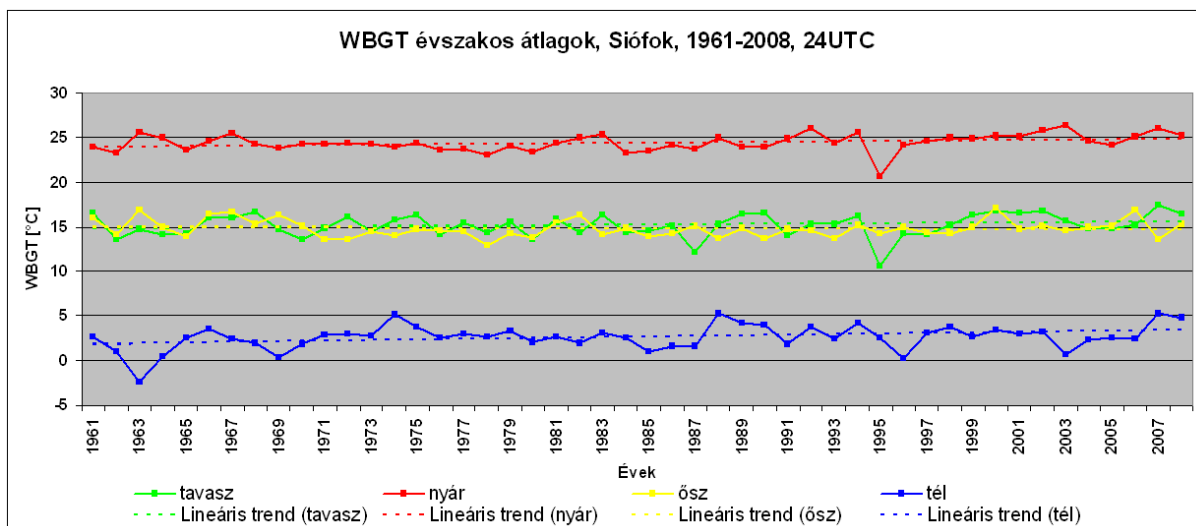
A WBGT 12 UTC-s éves középértékei (15. ábra) jellemzően 13 °C és 16 °C között szóródtak, a vizsgált 48 év alatt az átlag 14,3 °C volt. A 15 °C feletti értékek többsége az utóbbi években alakult ki, és 12 éve nem volt 14 °C alatti éves átlag. Ennek megfelelően a lineáris trend melegedést mutat, melynek mértéke 0,016 °C évente.



15. ábra - A nedves gömb hőmérséklet (WBGT) éves átlagai, 1961-2008, 12UTC

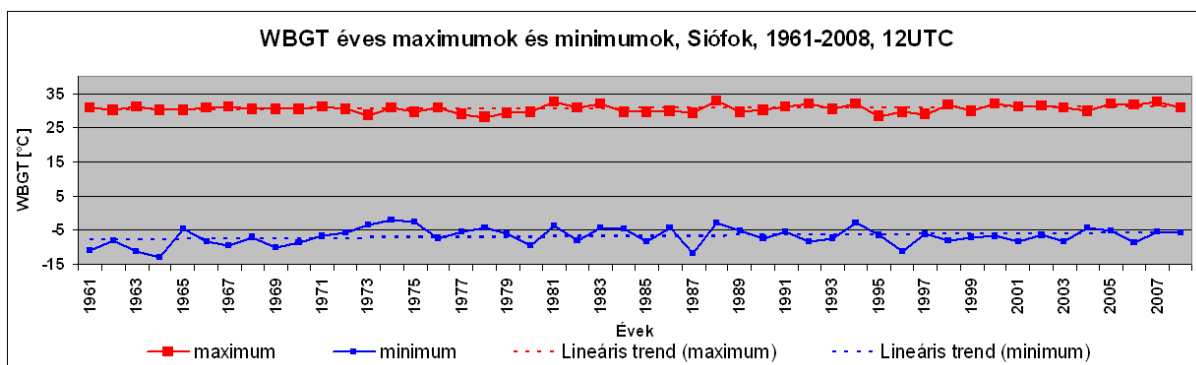
Az évszakok átlagainak alakulása a 16. ábrán látható. Az 1961-től 2008-ig tartó időszakban a nyári 12 UTC-s átlag 24,4 °C volt, ami már magas kockázatú kategóriába esik. Az évek során az értékek növekedtek, a trend átlagosan 0,02 °C. Az átmeneti évszakokban a

kockázat már alacsonynak mutatkozott, a tavaszi átlag $15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, évente $0,015\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nyi növekedéssel, míg az őszi átlag $14,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt. Ennek lineáris trendje csökkenést mutat, melynek mértéke $0,004\text{ }^{\circ}\text{C}$ évente. A téli átlagértékek növekedtek a legnagyobb ütemben, itt a trend $0,033\text{ }^{\circ}\text{C}$.



16. ábra - A nedves gömb hőmérséklet (WBGT) évszakos átlagai, 1961-2008, 12UTC

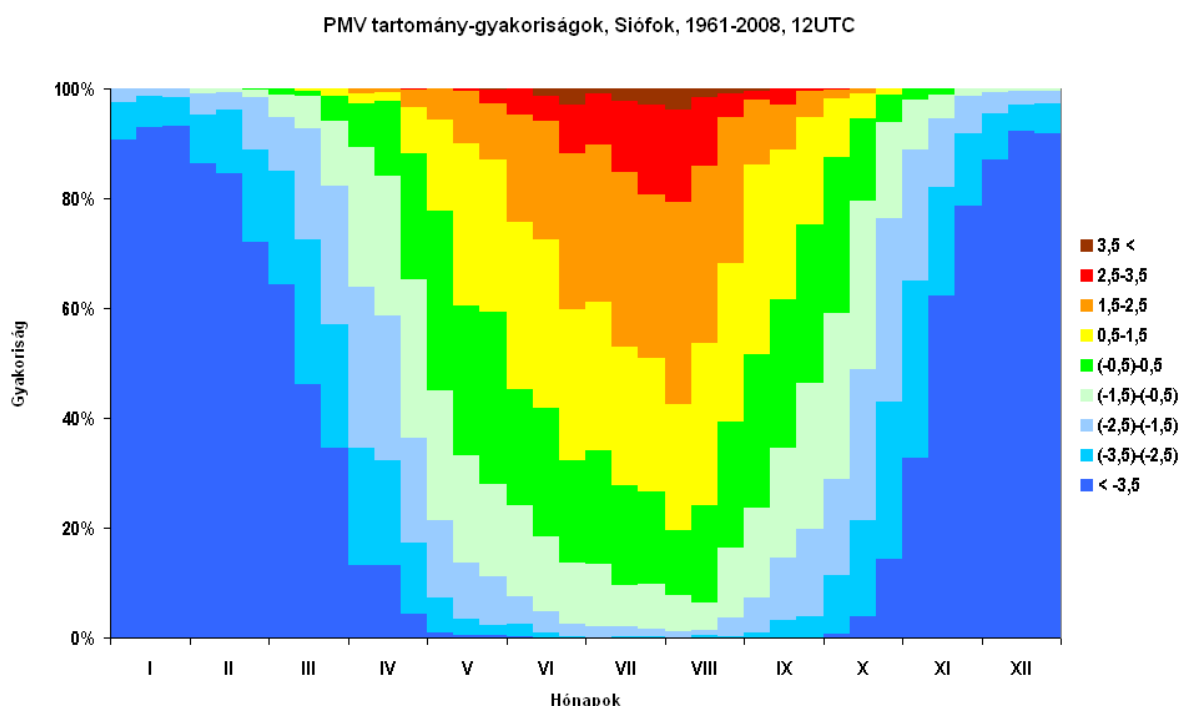
A 12 UTC-s éves maximumokat és minimumokat a 17. ábra mutatja. A WBGT szerint minden évben előfordulhat extrém kockázatot jelentő időjárási helyzet, a 48 év alatt az átlagos maximum $30,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt. Az értékek $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ között szóródtak, a trend itt is növekedést mutat, mértéke $0,018\text{ }^{\circ}\text{C}$ évente. A minimumok eloszlása ennél nagyobb változékonyságot mutat, a $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig terjedő értékek átlaga 1961 és 2008 között $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, évente $0,035\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nyi növekedéssel.



17. ábra - A nedves gömb hőmérséklet (WBGT) éves szélsőértékei, 1961-2008, 12UTC

6.3. PMV – Jóérzés-index

A PMV index szerint a 48 éves átlagban a 12 UTC-s bioklíma a hűvös kategóriába esik (-1,8). A nyár a kissé meleg tartományba tartozik (1,1), az ősz és a tavasz hűvös (1,7), míg a tél nagyon hideg (-4,9). Télen jellemzőek a -3,5 alatti értékek, akár 90% körüli gyakorisággal. A bioklíma-diagramról (18. ábra) leolvasható, hogy már április elején előfordulhat közepesen meleg stresszt kiváltó időjárás, és még október közepén is van erre példa. A legnagyobb hőterhelés a PMV szerint augusztus első dekádjában éri a szervezetet, ekkor az esetek 20%-ban erős meleg stressz áll fenn.



18. ábra - Bioklíma-diagram a jóérzés-index (PMV) alapján, 1961-2008, 12UTC

A PMV értékeket összehasonlítva az 1961-1990-es és az 1971-2000-es időszakokra (7. táblázat) az éves átlag a nap minden szakában növekedett, legnagyobb mértékben a 18 UTC-s időpontban. Az évszakokra jellemző a 0,1-et meg nem haladó növekmény, az index értéke nyáron változott legjobban, szintén 18 UTC-kor. Az ősz kivételt jelent, hiszen ekkor minden napszakban csökkentek az értékek, különösen 12 UTC-kor (-0,09).

Az 1971-2000-es és az 1981-2008-as időszakok különbségére jellemző az előzőhöz hasonló mértékű, valamint a nyári értékek nagyobb mértékű növekedése. Az őszi hőterhelés is a melegebb irányba tolódott, a csökkenés most télen figyelhető meg. Az egyes napszakok

közül inkább az esti, éjszakai órákban a jelentősebb a melegedés. Említést érdemel, hogy a 12 UTC-s átlagértékek nyáron még a közepesen meleg stressz tartományát sem érik el.

06 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	-3,40	-3,34	-3,29
Tavaszi	-3,43	-3,39	-3,33
Nyári	-0,88	-0,79	-0,64
Őszi	-3,51	-3,52	-3,46
Téli	-5,83	-5,72	-5,78

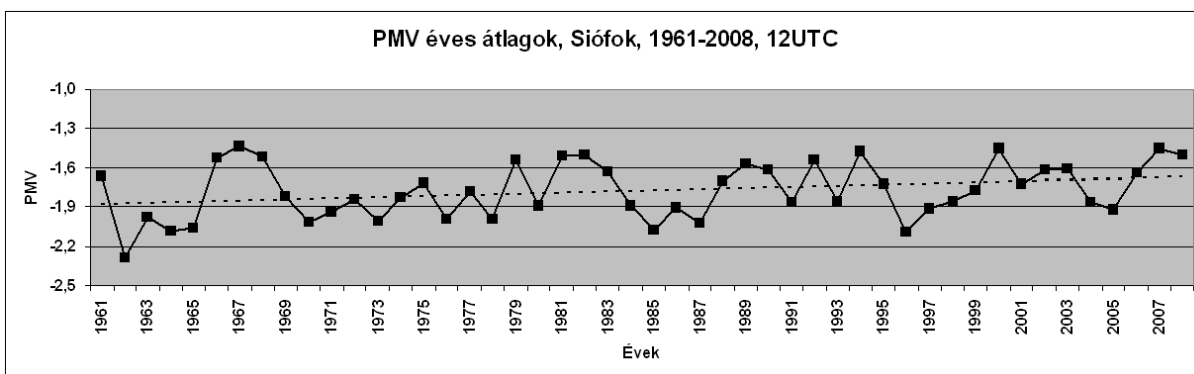
12 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	-1,81	-1,78	-1,73
Tavaszi	-1,68	-1,66	-1,60
Nyári	0,99	1,07	1,22
Őszi	-1,67	-1,76	-1,70
Téli	-4,94	-4,85	-4,89

18 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	-2,79	-2,71	-2,64
Tavaszi	-2,73	-2,67	-2,60
Nyári	-0,11	0,01	0,18
Őszi	-2,86	-2,88	-2,79
Téli	-5,50	-5,36	-5,42

24 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	-3,49	-3,43	-3,39
Tavaszi	-3,55	-3,50	-3,44
Nyári	-1,42	-1,33	-1,20
Őszi	-3,35	-3,36	-3,29
Téli	-5,70	-5,57	-5,65

7. Táblázat – A jóérzés-index (PMV) éves és évszakos átlagértékei

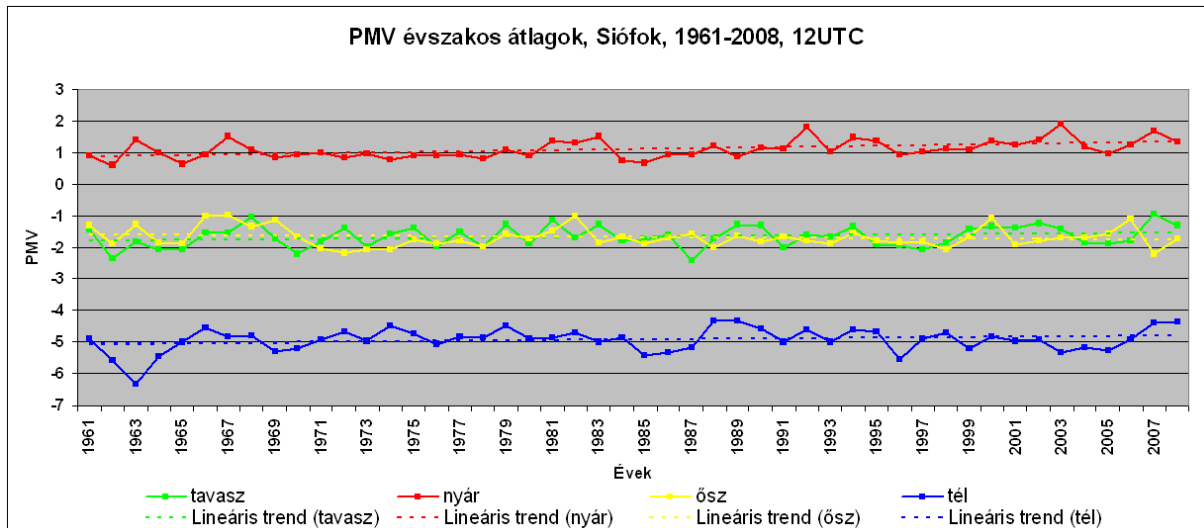
A 12 UTC-s éves átlagok jellemzően -2,2 és -1,4 között szóródtak (19. ábra). Magasabb éves átlagértékek az időszak elején is előfordultak, az utóbbi években azonban ritkábbak az alacsony értékek. Évente átlagosan 0,005 a jóérzés-index növekménye, tehát a hideg stressz mértékének csökkenése volt megfigyelhető.



19. ábra - A jóérzés-index (PMV) éves átlagai, 1961-2008, 12UTC

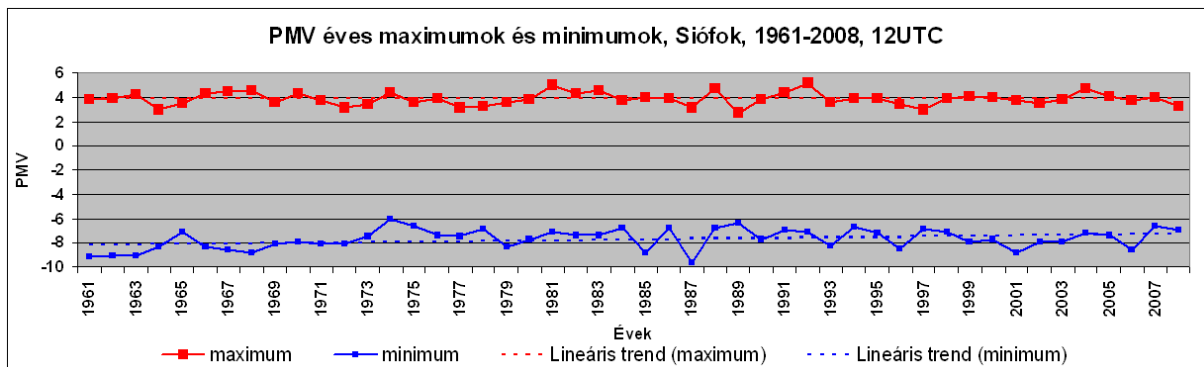
Az évszakos átlagok alakulása (20. ábra) is hasonló trendet mutat, a legnagyobb mértékű növekedés nyáron (0,01) figyelhető meg. A tavaszi és a téli értékek hasonló ütemben nőttek, a lineáris trend évente átlagosan 0,006. Ennél kisebb abszolút értékben csökkentek az őszi értékek, a változás évente 0,003.

A legváltozékonyabb évszak a tél volt, az év többi részében hasonló mértékű volt a változékonyosság.



20. ábra - A jóérzés-index (PMV) évszakos átlagai, 1961-2008, 12UTC

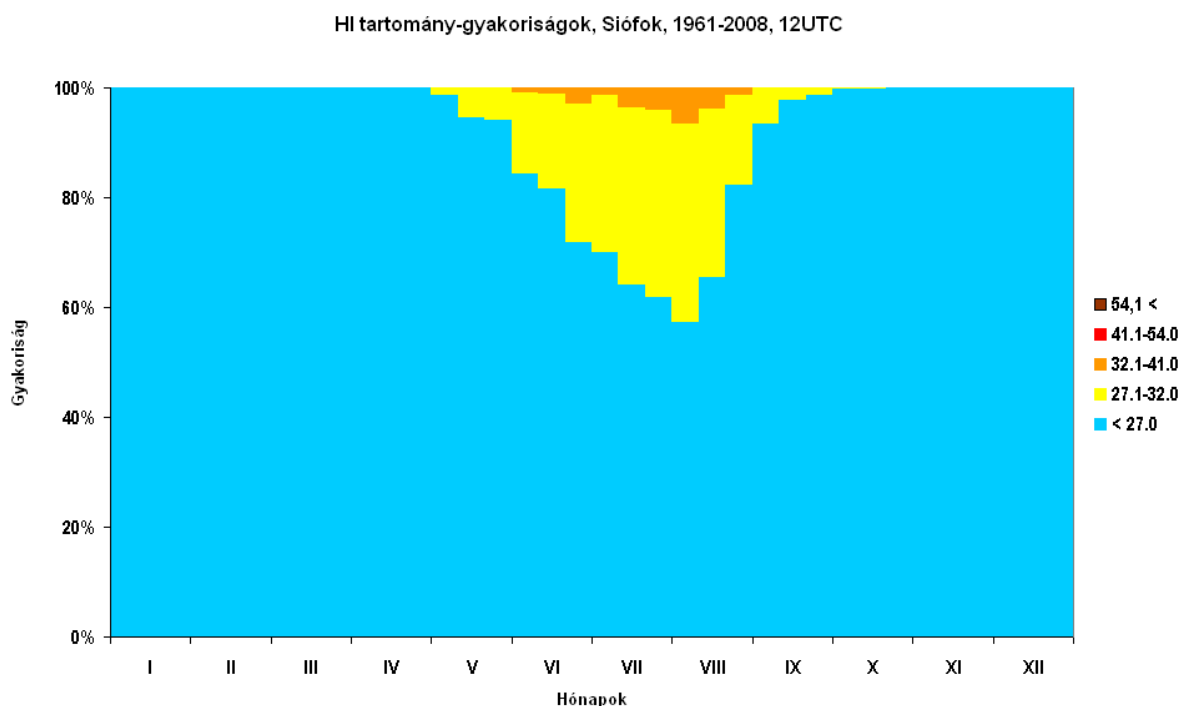
Az éves maximumokat és minimumokat a 21. ábra mutatja. Ezek szerint a vizsgált évek mintegy harmadában extrém meleg stressz egyáltalán nem fordult elő, 1989-ben például 2,7 volt a legnagyobb érték, ami már majdnem a meleg kategóriába esik. A 48 év alatt a PMV-maximumok középértéke 3,9 volt. A lineáris trend nem mutat érdemi változást, alacsonyabb és magasabb értékek az időszak alatt viszonylag egyenletesen elszórva fordultak elő. A minimumokról leolvashatjuk, hogy minden évben voltak igen extrém hideg stresszel járó időszakok, nem voltak ritkák a -8 alatti szélsőértékek sem. Az éves középérték -7,7 volt, évente átlagosan 0,018 a növekedés. Az első 10 évben alacsonyabb értékek voltak jellemzőek, ebben az időszakban -8,3 volt az átlag. Ezt az évtizedet nem számítva, 1974-től a trend csökkenő, mértéke 0,014 évente.



21. ábra - A jóérzés-index (PMV) éves szélsőértékei, 1961-2008, 12UTC

6.4. HI – Hőség index

A HI 1961-től 2008-ig vett, 12 UTC-s bioklíma diagramja a 22. ábrán látható.



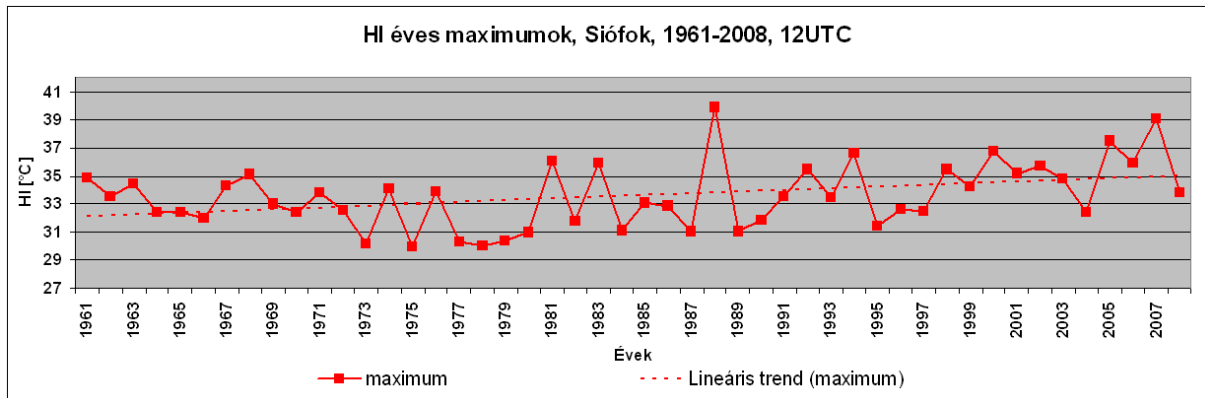
22. ábra - Bioklíma diagram a hőség index (HI) alapján, 1961-2008, 12UTC

Látható, hogy az évnek majdnem kétharmadában a HI szerint a hőség okozta kockázat nem jellemző. A vizsgált 48 év alatt a két felső kategóriának, a veszélyesnek és a különösen veszélyesnek az aránya a legmelegebb hónapokban sem mutatható ki. A hőség index alapján a legnagyobb terhelést augusztus első dekádjá jelenti a szervezetre, de még ekkor is az esetek több mint felében a veszélytelen tartomány az uralkodó. Különös figyelmet igénylő időjárási helyzetek ritkán fordulnak elő, arányuk a 7%-ot sem éri el.

Az éjjeli (24 UTC), és kora reggeli (06 UTC) órákban még a nyári hónapokban is közel 99%-os a veszélytelen kategória aránya (lásd a *Függelék*et).

Mivel a HI-t csak 27 °C-nál magasabb léghőmérséklet, illetve 16 °C-nál magasabb harmatpont esetén értelmezzük, így az éves és évszagos átlagokat nem lehet megállapítani, hiszen az év nagy részében ezen értékek alatti hőmérsékletek állnak fenn.

Az éves maximumok azonban kiszámolhatók, ezek alakulását a 23. ábrán láthatjuk.



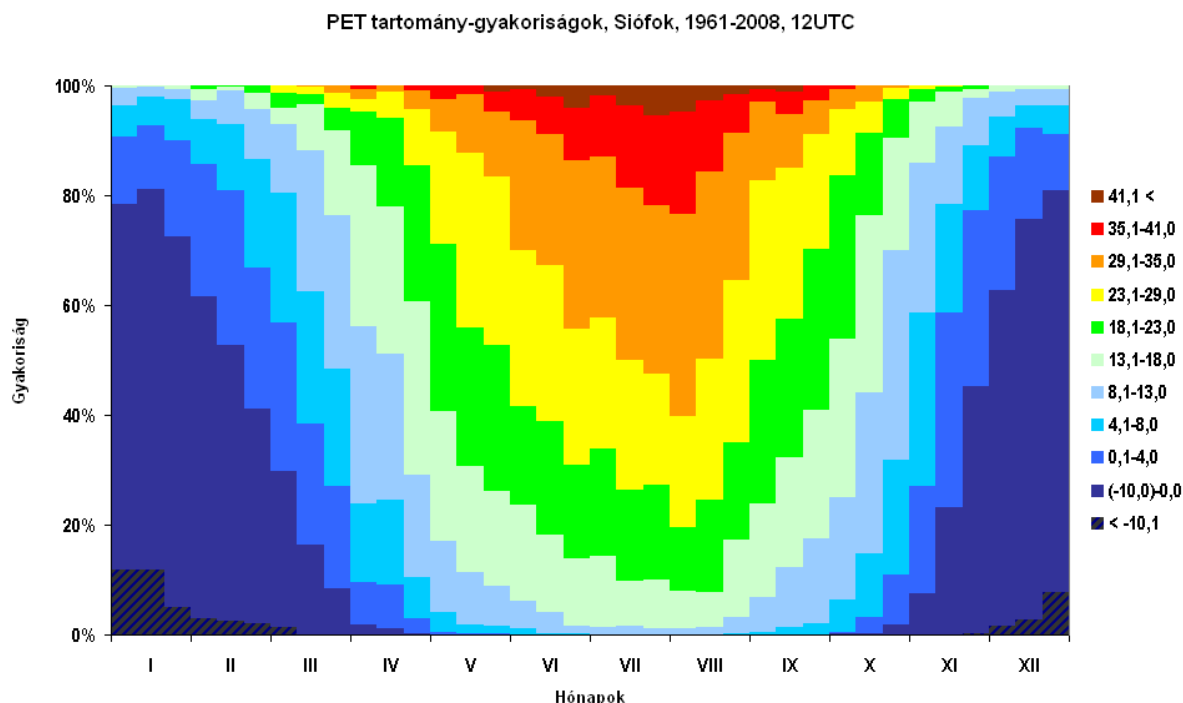
23. ábra - A hőség index (HI) éves maximumai, 1961-2008, 12UTC

A vizsgált 48 év során a legmagasabb érték 39,9 °C volt. Ez nem éri el a 41 °C-tól kezdődő „veszélyes” kategóriát. A HI szerint tehát még a 12 UTC-s időpontban sem fordul elő egyáltalán olyan időjárási helyzet, amely önmagában napszúrást, görcsöket, vagy kimerülést okozna. Ezek a veszélyek a vizsgált területen csak akkor állnak fenn, ha hosszú ideig tart az adott helyzet, vagy olyan személy esetében, aki nehéz fizikai munkát végez.

A 12 UTC-s maximumok éves átlagértéke 33,6 °C. A lineáris trend a középértékek növekedését mutatja, melynek mértéke évente 0,06 °C.

6.5. PET – Fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet

A vizsgált 48 évre a PET 12 UTC-s bioklíma-diagramja a 24. ábrán látható:



24. ábra – Bioklíma-diagram a fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) alapján, 1961-2008, 12UTC

Az 1961-től 2008-ig tartó időszakban a 12 UTC-s PET index átlagértéke $13,2\text{ °C}$ volt, ami a kissé hűvös tartományba esik, csakúgy, mint a tavasz és az ősz ($13,8\text{ °C}$ és $13,3\text{ °C}$). A nyári kissé meleg ($27,2\text{ °C}$), míg a tél fagyos ($-1,9\text{ °C}$). Közepesen meleg stressz a PET index szerint március utolsó dekádjától október végéig előfordulhatott.

A napszakonkénti átlagos értékek a 8. táblázatban szerepelnek. Az 1961-1990-es és az 1971-2000-es időszakok között mindegyik időpontban nőtt az éves középérték, legnagyobb mértékben 18 UTC-kor (a változás meghaladta a $0,3\text{ °C}$ -ot). Az ősz kivételével mindegyik évszak az esti órákban változott leginkább, ekkor a nyár és a tél melegedése $0,58\text{ °C}$, míg a tavaszé $0,24\text{ °C}$ volt. Az őszi értékek mind a négy napszakban csökkentek, különösen 12 UTC-kor, amikor a változás meghaladta a $0,5\text{ °C}$ -ot.

Az 1971-2000-es és az 1981-2008-as időszakok között a növekedés minden időpontban, és minden évszakban nagyobb volt, a tél kivételével. Ebben az esetben a hideg évszak középértéke napszaktól függően $0,2\text{--}0,3\text{ °C}$ -kal csökkent. A többi évszakban most is a 18 UTC-s időpontban nőtt a legjobban a meleg stressz, vagy csökkent a hideg stressz mértéke.

06 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	4,1	4,3	4,5
Tavaszi	4,2	4,3	4,6
Nyári	16,1	16,5	17,2
Őszi	3,2	3,1	3,4
Téli	-7,4	-7,0	-7,3

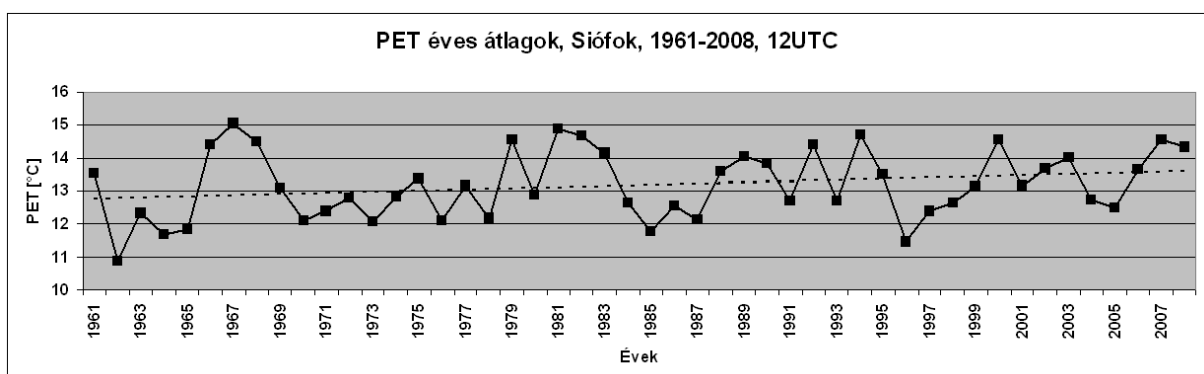
12 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	13,1	13,2	13,4
Tavaszi	13,8	13,8	14,0
Nyári	26,6	27,1	27,8
Őszi	13,5	12,9	13,2
Téli	-1,9	-1,5	-1,7

18 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	6,8	7,2	7,5
Tavaszi	7,3	7,5	7,9
Nyári	19,5	20,1	20,9
Őszi	6,2	6,1	6,5
Téli	-5,8	-5,3	-5,5

24 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	3,2	3,5	3,7
Tavaszi	3,0	3,2	3,5
Nyári	12,6	13,0	13,5
Őszi	3,8	3,8	4,1
Téli	-6,9	-6,3	-6,6

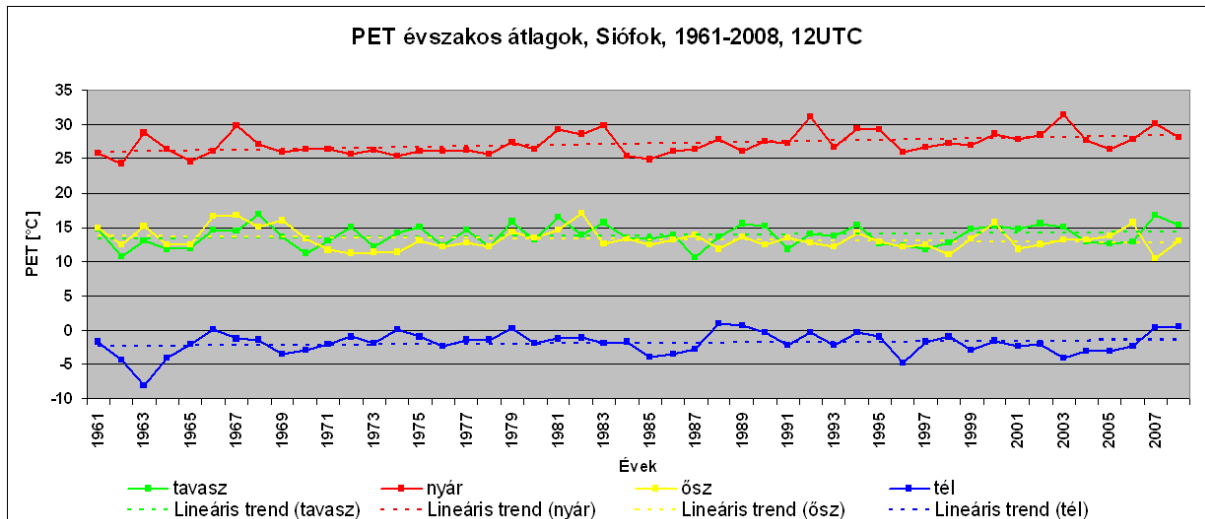
8. Táblázat - A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) éves és évszakos átlagértékei (°C)

Az PET index 12 UTC-s éves átlagai jellemzően 11 °C és 15 °C között szóródtak (25. ábra). A változékonyságot tekintve megállapítható, hogy a vizsgált 48 éves időszak elején gyakoribbak voltak az alacsonyabb középhőmérsékletű évek, mint annak vége felé. A melegebb átlagok gyakorisága nem változott számottevően. Ennek megfelelően a lineáris trend melegedést mutat, melynek mértéke évente átlagosan 0,018 °C volt.



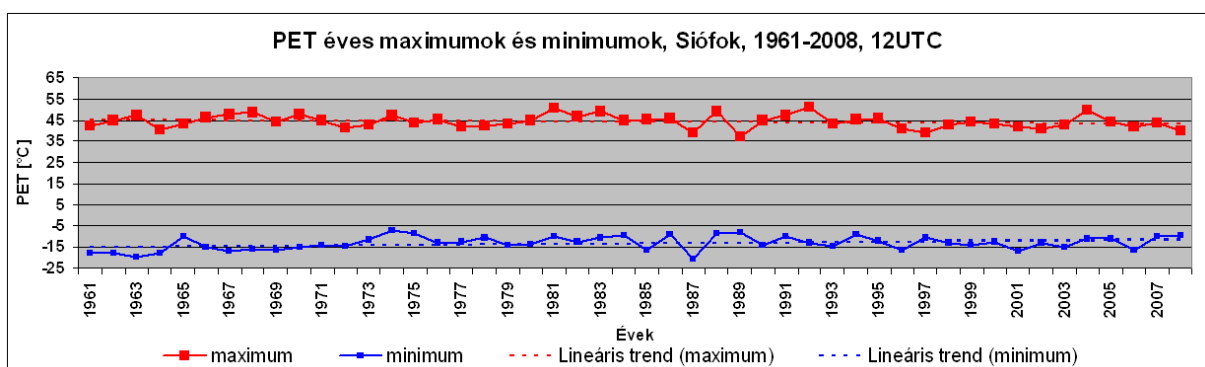
25. ábra - A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) éves átlagai, 1961-2008, 12UTC

Az évszakok közül (26. ábra) a 12 UTC-s téli és tavaszi PET értékek hasonló trendet mutatnak: az éves átlagos növekedés 0,02 °C volt. Nyáron ennél jóval nagyobb mértékben növekedett a hőterhelés mértéke, a változás évente 0,054 °C volt. Az őszi fiziológiailag ekvivalens hőmérséklete szintén átlagosan 0,02 °C-kal csökkent átlagosan.



26. ábra - A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) évszakos átlagai, 1961-2008, 12UTC

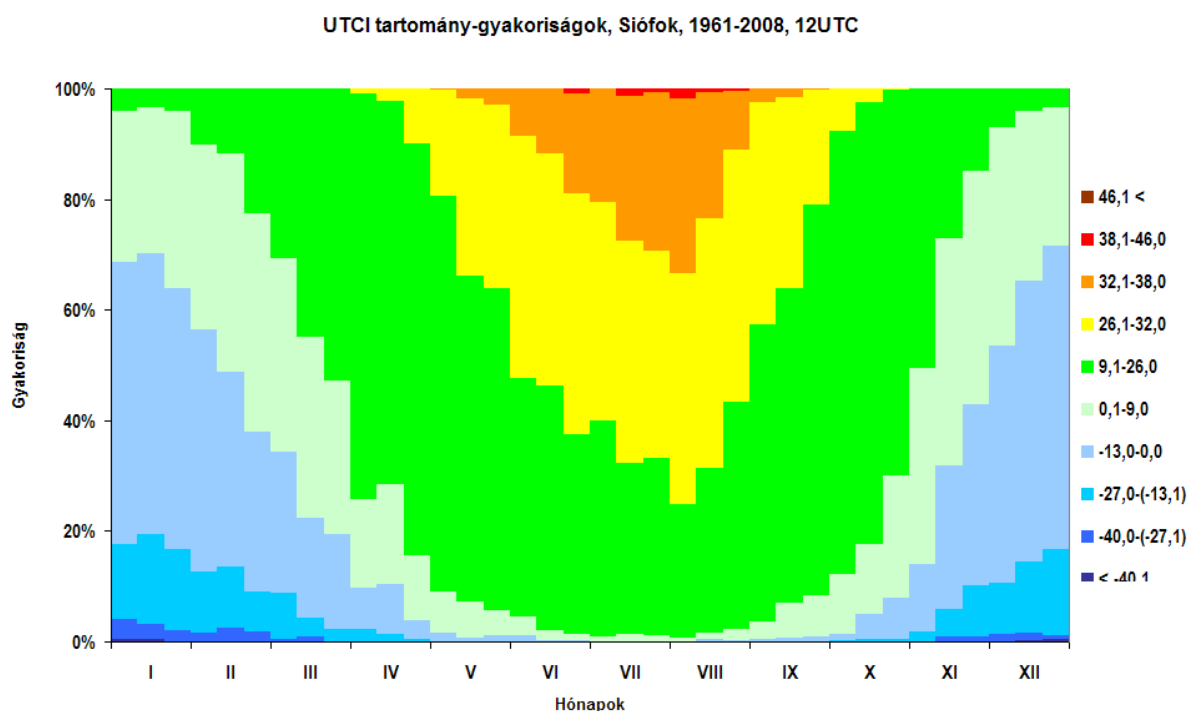
Az éves maximumokat és minimumokat a 27. ábra mutatja. A 12 UTC-s legmagasabb érték a 48 évből két alkalommal haladta meg az 50 °C-ot. Az extrém meleg stressz átlagosan nyolc évből egyszer egyáltalán nem fordult elő, a legalacsonyabb maximum pedig 37,2 °C volt, 1989-ben. A maximumok éves középértéke 44,4 °C volt, a változékonyságuk a vizsgált időszak alatt aránylag állandó volt. Az évek alatt az értékek csökkenést mutatnak, a lineáris trend átlagosan 0,042 °C. A minimumokat tanulmányozva megállapítható, hogy minden évben kialakult 12 UTC-kor extrém hideg stresszt kiváltó időjárási helyzet, gyakoriak a PET index -10 °C alatti szélsőértékei. Ezek éves középértéke -13,1 °C volt, alacsonyabb értékek az időszak elején voltak gyakoribbak, ezért a lineáris trend évente átlagosan 0,067 °C.



27. ábra - A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) éves szélsőértékei, 1961-2008, 12UTC

6.6. UTCI – Univerzális termikus klímaindex

Az UTCI 1961-től 2008-ig tartó időszakra vett, 12 UTC-s bioklíma-diagramja a 28. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy ezen index szerint az év során sokféle fiziológiai hatás éri a szervezetet, az extrém meleg stressz kivételével. Az extrém, és a nagyon erős hideg stressz, valamint a nagyon erős meleg stressz csak igen kis arányban fordult elő. Az egész évet tekintve a leggyakoribb kategória a komfortos tartomány – ez mindegyik hónapban előfordult, sokszor ez volt az adott dekádban az uralkodó. Az éves középérték $12,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, ami szintén a komfortos tartományba esik.



28. ábra - Bioklíma diagram az univerzális termikus klímaindex (UTCI) alapján, 1961-2008, 12UTC

A 9. táblázat az éves és évszakos átlagértékeket mutatja az egyes napszakokban. Az 1961-1990-es és az 1971-2000-es időszakok között az éves középérték a 18 és 24 UTC-s időpontban növekedett a legnagyobb, $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot meghaladó mértékben. Az évszakos átlagok is növekedtek, kivéve az őszt a 12 és 18 UTC-s időpontban, bár ezek közül az utóbbi esetében a csökkenés elhanyagolható mértékű volt. A legnagyobb változás a téli középértékekben volt, a déli órák kivételével egész nap $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüli különbség adódott.

Az 1971-2000-es és 1981-2008-as időszakok között pont a téli értékek voltak azok, amelyek csökkentek, mindegyik napszakban. A változás mértéke a 24 UTC-s időpontban meghaladta a $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Az éves átlagok is növekedtek, bár kisebb mértékben, mint az előző

két 30 éves periódus között. Legnagyobb mértékben nyáron változott a hőterhelés mértéke az UTCI szerint, különösen a 6 és 18 UTC-s időpontokban.

06 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	3,2	3,7	4,0
Tavaszi	3,2	3,5	3,7
Nyári	16,5	17,2	18,0
Őszi	2,8	2,9	3,3
Téli	-10,1	-9,1	-9,5

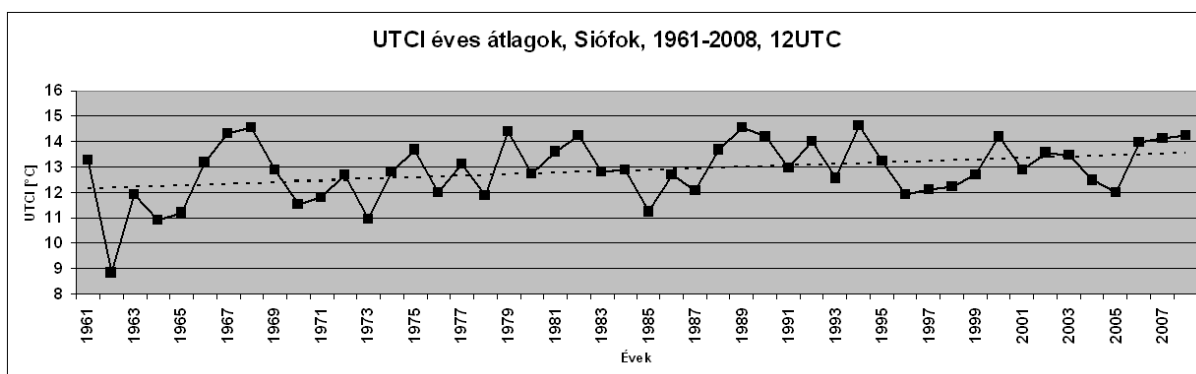
12 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	12,7	13,0	13,2
Tavaszi	13,9	14,0	14,3
Nyári	26,1	26,6	27,3
Őszi	13,7	13,3	13,7
Téli	-3,2	-2,4	-2,9

18 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	5,9	6,5	6,8
Tavaszi	6,1	6,4	6,8
Nyári	19,7	20,3	21,2
Őszi	5,9	5,9	6,4
Téli	-8,3	-7,0	-7,5

24 UTC	1961-1990	1971-2000	1981-2008
Éves	2,1	2,7	2,9
Tavaszi	1,6	2,1	2,4
Nyári	12,8	13,4	14,1
Őszi	3,4	3,5	4,0
Téli	-9,4	-8,4	-8,9

9. Táblázat - Az univerzális termikus klímaindex (UTCI) éves és évszakai átlagértékei (°C)

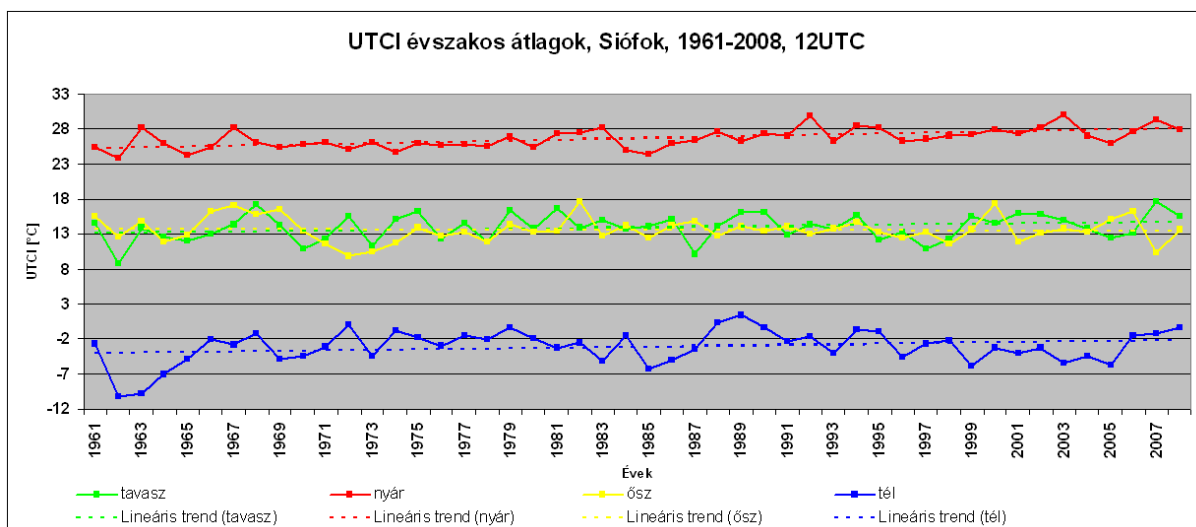
Az UTCI 12 UTC-s éves átlagai a vizsgált 48 év alatt leginkább 11 °C és 15 °C között szóródtak (29. ábra). Az 1961-től 2008-ig vett középpérték 12,9 °C volt. Az évek során az UTCI értékeinek növekedése figyelhető meg, a lineáris trend évente 0,03 °C.



29. ábra - Az univerzális termikus klímaindex (UTCI) éves átlagai, 1961-2008, 12UTC

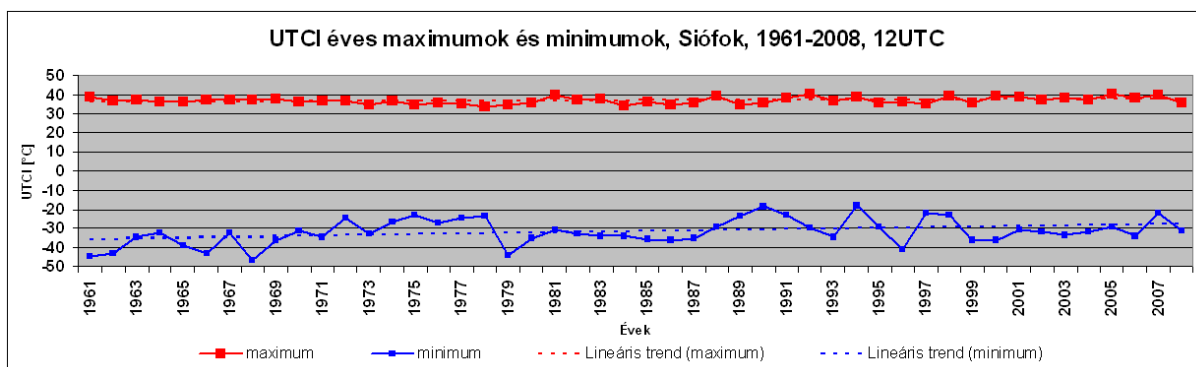
A 12 UTC-s időpont évszakai átlagait a 30. ábrán láthatjuk. A tavaszi középpérték 14 °C volt, gyenge melegedéssel, melynek mértéke 0,031 °C. Feltűnő a nyári értékek erőteljes növekedése. A 48 éves átlag 26,7 °C volt, tehát a közepesen meleg stressz a jellemző az UTCI szerint. Ez az évek során a meleg irányba tolódott, a trend 0,057 °C. Az őszi átlag 13,6 °C volt, a lineáris trend csökkenést mutat, bár a nyári változás ütemének csak a tized részét. A téli átlagértékek változékonysága a legnagyobb, közel 12 fokos tartományban szóródtak. Az 1961. és 2008. közötti 12 UTC-s középpérték -3,1 °C volt, ami a közepesen hideg stressz

tartományát jelenti. A változás ebben az évszakban is pozitív előjelű, mértéke 0,039 °C volt évente.



30. ábra - Az univerzális termikus klímaindex (UTCI) évszakos átlagai, 1961-2008, 12UTC

A 12 UTC-s éves maximumokat és minimumokat a 31. ábra mutatja. A maximumok átlaga a 48 év alatt 36,9 °C volt. Ezek értéke az első 20 évben jelentős mértékben csökkent, az erre az időszakra vett lineáris trend majdnem eléri a 0,2 °C-ot évente. Ezt követően azonban növekedtek az értékek, olyan mértékben, hogy a lineáris trend a 48 évre végül pozitív irányú, évente 0,037 °C. A legmagasabb érték 40,6 °C, tehát az UTCI szerint extrém meleg stressz egyáltalán nem fordul elő, és nagyon erős meleg stressz is csak az évek kevéssel több, mint negyedében. A minimumok átlaga -31,8 °C, 1961 és 2008 között igen határozott növekedéssel, a lineáris trend meghaladja az évenkénti 0,17 °C-ot.



31. ábra - Az univerzális termikus klímaindex (UTCI) éves szélsőértékei, 1961-2008, 12UTC

6.7. Összehasonlítás

A 32. ábra az egyes indexek értékeinek különböző 30 éves periódusok közötti változásait mutatja, mind a négy vizsgált időpontra. A legfelső sorban látszanak az időpontok. Mindegyikhez két oszlop tartozik, melyek soraiban először az éves, majd az évszakos átlagértékek változásai szerepelnek. Az első oszlopban az 1971-től 2000-ig tartó, illetve az 1961-től 1990-ig tartó periódus értékeinek különbségei szerepelnek, a második oszlopban pedig az 1981-től 2008-ig, illetve az 1971-től 2000-ig tartó időszak értékeinek különbségei.

Tmrt (°C)	06 UTC		12 UTC		18 UTC		24 UTC	
	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100
Éves	0,21	0,33	0,09	0,17	0,27	0,34	0,25	0,30
Tavaszi	0,10	0,42	-0,07	0,24	0,12	0,35	0,09	0,35
Nyári	0,44	0,74	0,25	0,46	0,52	0,74	0,38	0,56
Őszi	-0,05	0,40	-0,31	0,13	-0,05	0,39	0,04	0,48
Téli	0,35	-0,24	0,49	-0,15	0,51	-0,13	0,48	-0,21

WBG (°C)	06 UTC		12 UTC		18 UTC		24 UTC	
	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100
Éves	0,12	0,26	0,04	0,24	0,13	0,28	0,13	0,24
Tavaszi	-0,01	0,30	-0,06	0,26	-0,02	0,28	-0,02	0,26
Nyári	0,14	0,50	0,04	0,42	0,18	0,52	0,13	0,43
Őszi	-0,04	0,34	-0,25	0,31	-0,11	0,37	-0,04	0,36
Téli	0,42	-0,13	0,45	-0,04	0,48	-0,06	0,46	-0,11

PMV	06 UTC		12 UTC		18 UTC		24 UTC	
	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100
Éves	0,06	0,05	0,03	0,06	0,08	0,07	0,06	0,04
Tavaszi	0,04	0,06	0,02	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06
Nyári	0,09	0,15	0,09	0,14	0,12	0,17	0,10	0,13
Őszi	-0,01	0,06	-0,09	0,07	-0,02	0,09	-0,01	0,07
Téli	0,11	-0,06	0,09	-0,04	0,15	-0,06	0,13	-0,08

PET (°C)	06 UTC		12 UTC		18 UTC		24 UTC	
	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100
Éves	0,22	0,23	0,09	0,24	0,32	0,34	0,27	0,21
Tavaszi	0,14	0,24	0,04	0,21	0,24	0,33	0,19	0,24
Nyári	0,40	0,65	0,47	0,74	0,58	0,83	0,42	0,57
Őszi	-0,08	0,27	-0,51	0,22	-0,11	0,40	-0,05	0,32
Téli	0,42	-0,26	0,37	-0,23	0,59	-0,22	0,51	-0,29

UTCI (°C)	06 UTC		12 UTC		18 UTC		24 UTC	
	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100	7100-6190	8108-7100
Éves	0,48	0,32	0,27	0,23	0,54	0,34	0,55	0,23
Tavaszi	0,27	0,26	0,13	0,28	0,30	0,37	0,47	0,29
Nyári	0,62	0,85	0,54	0,68	0,65	0,89	0,64	0,71
Őszi	0,09	0,48	-0,32	0,39	-0,01	0,51	0,09	0,47
Téli	0,94	-0,34	0,73	-0,43	1,23	-0,44	1,02	-0,57

32. ábra - Az egyes indexek időszakonkénti változásai

Az egyes értékek háttérszínezése arányos azok nagyságával. A piros árnyalatai az értékek növekedésével, a kék árnyalatai azok csökkenésével arányosak.

Ezek alapján az indexek között számos hasonlóságot megállapíthatunk, ám akadnak eltérések is. Az éves átlagok a T_{mrt} és a WBGT esetében mindegyik napszakban gyorsuló ütemben növekedtek, a PET esetében inkább a gyorsulás, a PMV esetében inkább a lassulás dominál, míg az UTCI éves átlagai mindegyik időpontban lassuló ütemben növekedtek.

Összességében mindegyik index értékei nyáron növekedtek a legnagyobb mértékben, a gyorsuló ütem ebben az évszakban az összesre jellemző. Viszonylag egységesek az indexek abban is, hogy mindegyik szerint az 1961-1990-es és az 1971-2000-es időszakok között ősszel a hideg stressz irányába változott a bioklíma, legnagyobb mértékben a déli órákban. Érdekes, hogy a míg WBGT tavaszi értékei ezen periódusok között kis mértékben bár, de az összes napszakban csökkentek, addig a többi index esetében (a 12 UTC-s T_{mrt} kivételével) a növekedés a jellemző. Mindegyik index téli átlagértékei növekedtek, majd a következő, 1971-2000-es és 1981-2008-as időszakok közt az összes napszakban csökkentek, a változások mértéke azonban nem ugyanakkora. Az első időszakok közt a téli átlagok növekedése volt a leggyorsabb a T_{mrt} szerint kettő, a PMV és a PET szerint három, míg a WBGT és az UTCI szerint mind a négy időpontban. A második két időszak között az összes index értékei nyáron növekedtek a legnagyobb mértékben.

7. Összefoglalás

Az időjárásnak az emberi szervezetre gyakorolt hatásával már régóta foglalkoznak a humán bioklimatológia tudományterületén belül. Azért, hogy ezt a kapcsolatot könnyen értelmezhetővé tegyék, már közel egy évszázada alkalmaznak ún. bioklíma indexeket. Ezek különböző módon számszerűsítik azt, hogy milyen élettani hatásuk van bizonyos meteorológiai paraméterek együttesének. Az utóbbi évtizedekben számos ilyen indexet fejlesztettek ki, emellett folyamatosan jelennek meg újabbak is. Ezek körül többet világszerte alkalmaznak különböző kutatásokban, illetve több nemzeti szolgálatnál operatíván is.

Különböző indexek használatára tehát számtalan példa van, azonban igen kevés az olyan munka, ahol ezek értékei egybevethetőek lennének. A diplomamunka célja az volt, hogy egy adatsorra kiszámoljunk néhány olyan indexet, melyekkel napjainkban gyakran találkozni, különösen a közelmúltban elkészült UTCI-t (Universal Thermal Climate Index), majd összehasonlítsuk azokat. Egy ilyen vizsgálathoz kellően hosszú, megbízható adatsorra van szükség. Ezért választottuk az Országos Meteorológiai Szolgálat siófoki meteorológiai állomásának adatait, hiszen az állomás több mint 50 éve működik változatlan helyen, és adatszolgáltatása kellően folyamatos. Az állomás adatai közül négy meteorológiai paraméter 1961-től 2008-ig, 6 órás bontásban való értékeit dolgoztuk fel.

A nemzetközi és hazai szakirodalomban való tájékozódás után megtörtént a vizsgálatunkba bevonni kívánt indexek kiválasztása, majd azok értékeinek kiszámolása. Ehhez a RayMan Pro modellt, az UTCI-t számoló programot, valamint saját fejlesztésű programokat használtunk.

Mindegyik vizsgált indexhez elkészítettük a különböző 30 éves periódusokra vonatkozó bioklíma-diagramokat, bemutattuk az éves és évszakos átlagértékek, valamint az éves szélsőértékek alakulását az 1961-től 2008-ig tartó időszakban. Különös figyelmet szenteltünk annak, hogyan tükröződik napjaink hőmérséklet-emelkedése az egyes indexek értékeinek változásaiban. Megvizsgáltuk, hogy milyen mértékben függenek össze egymással a különböző indexek értékei.

A különböző indexek közötti hasonlóságok leginkább a változásokban mutatkoznak meg. Mindegyik index éves átlagos értékei növekedtek a vizsgált 48 év alatt, mindegyik napszakban, az UTCI kivételével ráadásul gyorsuló ütemben. A nyári átlagos értékek is növekedtek, az összes időpontban gyorsuló ütemben, és ez jellemző a tavaszra is a WBGT

kivételével. Az összes index őszi átlagos értékei a vizsgált időszak első felében csökkentek, a második felében növekedtek, a téli értékek pedig fordítva.

Az emberi szervezetet ért hatásokat ugyanakkor időnként jelentős különbségekkel értékelik az egyes indexek. A T_{mrt} és a WBGT alapján 1961-től 2008-ig a 12 UTC-kor uralkodó hatás a kis fokú meleg stressz, míg a PMV és a PET alapján a kis fokú hideg stressz volt. Az UTCI szerint ugyanakkor a komfortos tartomány volt a jellemző, amikor sem meleg, sem hideg stressz nem áll fenn. A szélsőségeket tekintve a T_{mrt} és a WBGT alapján mindegyik, a PET alapján majdnem mindegyik évben kialakult extrém meleg stresszt okozó időjárási helyzet, a PMV alapján csak öt évből négyszer. Az UTCI szerint az erős meleg stressz volt a jellemző legerősebb hatás, míg a HI két legveszélyesebb kategóriájába tartozó értékek egyszer sem fordultak elő a vizsgált 48 év alatt, az index maximumai a különös figyelmet igénylő kategóriába estek.

A vizsgálat eredményeképp megállapíthatjuk, hogy az egyes indexek alkalmazásával esetenként más és más átlagos fiziológiai hatásokat állapíthatunk meg, és ugyanez igaz a szélsőséges időjárási helyzetekre is. Ha azonban az éghajlatváltozás emberi szervezetre gyakorolt hatását vizsgáljuk, hasonló eredményre jutunk mindegyik index segítségével, hiszen azok értékei nagyjából fél évszázad alatt csaknem minden esetben azonos irányba változtak. Kisebb eltéréseket csak a változás mértékében fedezhetünk fel.

Hangsúlyozzuk, hogy munkánkban nem kívántunk állást foglalni egyetlen ilyen mutatószám mellett sem. Célunk az volt, hogy információt nyújtsunk arról, hogy különböző indexeket felhasználva mennyiben kapunk eltérő képet egy adott hely bioklimájának bemutatásakor.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet témavezetőmnek, Németh Ákosnak a munkám során nyújtott segítségéért. A dolgozat nem készülhetett volna el az ő támogatása és iránymutatása nélkül.

Köszönet illeti tanszéki konzulensemét, Pongrácz Ritát is értékes észrevételeiért, hasznos tanácsaiért.

Köszönöm továbbá mindazok közreműködését, akik lehetővé tették, hogy munkám az OMSZ szakdolgozói ösztöndíjának támogatásával készülhessen el.

Végül szeretném megköszönni családomnak azt a nyugodt és biztos háttérrel, amit tanulmányaim során jelentettek. Köszönöm mindazt a biztatást, türelmet és támogatást, amivel annyi éven keresztül segítettek.

Irodalomjegyzék

- Armstrong, L. E., Epstein, Y., Greenleaf, J. E., Haymes, E. M., Hubbard, R. W., Roberts, W. O., Thompson, P. D., 1996: ACSM Position stand: heat and cold illnesses during distance running. *Med Sci sports Exerc* 28, i-x.
- ASHRAE, 2001: Chapter 13 – Measurements and instruments. In: Asimakopoulos, D. N., Assimakopoulos, V. D., Chrisomallidou, N. and Klitsikas, N. D., (eds): *Handbook of Fundamentals. American Society for Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 13.26 -13.27.*
- Assmann, D., 1963: Die Wetterfähigkeit des Menschen: Ursachen und Pathogenese der biologischen Wetterwirkung. *G. Fischer, Jena, 235 p.*
- Bártfai, E., 1986: Az orvometeorológia mai helyzete Magyarországon. *Légekör* 31, 16-20.
- Béll, B., Takács, L. (szerk.), 1974: A Balaton éghajlata. *Alföldi Nyomda, Debrecen.*
- Blazejczyk, K., 1992: MENEX – The man-environment heat exchange model and its applications in bioclimatology. In: Lotens, W. A., Havenith, G. (eds): *Proceedings of The Fifth Int. Conf. on Environmental Ergonomics, Maastricht, The Netherlands, 142-143.*
- Blazejczyk, K., 1994: New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales. In: Blazejczyk, K. and Krawczyk, B. (eds): *Bioclimatic research of the human heat balance. Zesz. IGiPZ PAN, 28, 27-58.*
- Blazejczyk, K., 2005: New indices to assess thermal risks outdoors. In: Holmér, I., Kuklane, K., Gao, Ch. (eds): *Environmental Ergonomics XI, Proceed of the 11th Int Conference, Ystat, Sweden, 222-225.*
- Blazejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., 2010: UTCI – nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka (UTCI – New index for assessment of heat stress in man), *Przegląd Geograficzny, 82, 1, p: 5–27.*
- Büttner, K., 1938: *Physikalische Bioklimatologie. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig.*
- Clark, R. P., Edholm, O. G., 1985: *Man and his thermal environment. E. Arnold, London.*
- De Rudder, B., 1952: *Grundrig einer Meteorobiologie des Menschen. Springer, Berlin.*

- Endler, C., Matzarakis, A., 2010: Assessment of climate for tourism purposes in Germany. In: Matzarakis, A., Mayer, H., Chmielewski, F., *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Freiburg, Germany, 380-385.*
- Epstein, Y., Moran, D. S., 2006: Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health 44, 388-398.*
- Fanger, P. O., 1970: Thermal comfort. *McGraw-Hill, New York.*
- Fiala, D., Lomas, K. J., Stohrer, M., 2001: Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int J Biometeorol 45, 143-159.*
- Freitas, C. R., 2003: Tourism Climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *Int. J. Biometeorol. 48, 45-54.*
- Gagge A. P., Stolwijk, J. A. J., Nishi Y. 1971: An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Trans 77:247-257.*
- Gagge, A. P., Fobelets, A. P., Berglund, P. E., 1986: A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Trans 92, 709-731.*
- Ganong, W. F., 1990: Az orvosi élettan alapjai. *Medicina, Budapest, 804 p.*
- Grigorieva, E.A., 2007: Acclimatization demands of recreationists moving within the southern region of the Russian Far East. In: Matzarakis, A., de Freitas, C. R., Scott, D. (eds.): *Developments in Tourism Climatology. University of Freiburg, Freiburg, 214-220.*
- Gulyás, Á., Unger, J., Matzarakis, A., 2003: Analysis of the thermophysiologicaly significant conditions within a medium-sized city with continental climate (Szeged, Hungary). In *Proceed of the Fifth International Conference on Urban Climate (ICUC), Lodz , Poland P.1.4.*
- Gulyás, Á., Unger, J., Matzarakis, A., 2006: Assessment of the microclimatic and thermal 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, Szegedi Tudományegyetem.*

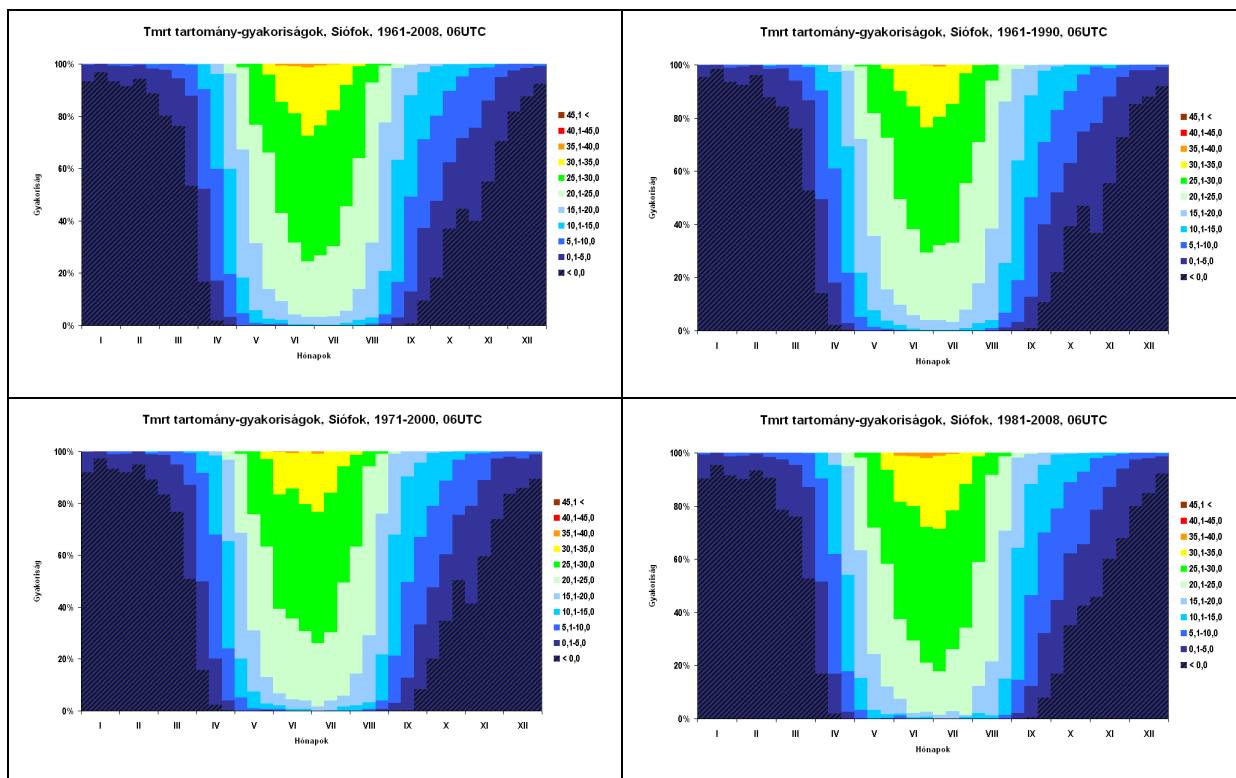
- Havenith, G., 2001: An individual model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *Journal of Applied Physiology*, 90: 1943-1954.
- Höppe, P., 1992: Ein neues Verfahren zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur im Freien. *Wetter und Leben* 44:147–151.
- Höppe, P., 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., 2000: Challenges for biometeorology on the turn of the century. In: de Dear, R. et al. (eds): *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium, Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney, Australia*, 383-386.
- Houghton, F. C., Yaglou, C. P., 1923: Determining lines of equal comfort. *ASHVE Trans* 29, 163-176.
- Hullám, I., 2005: Az extrém megterhelések mentális következményeinek multifaktoriális vizsgálata és elemzése: az eredmények alkalmazhatósága az alkalmasságot és beválást vizsgáló szakértői rendszerek fejlesztésében. *Doktori (PhD) értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest*.
- ISO 7243, 1989: Hot Environments- Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). *International Standard Organization, Geneve, Switzerland*.
- Jendritzky, G., 1993: The atmospheric environment - an introduction. *Experientia* 49, 733-738.
- Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E. (eds.), 2009: Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being. *Final Report COST Action*.
- Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., de Dear, R., 2010: The Universal Thermal Climate Index UTCI. In: *Matzarakis, A., Mayer, H.*

- Chmielewski, F., Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Freiburg, Germany, 184-188.*
- Kállai, E., 2010: A környezeti hőterhelés mérésének lehetőségei a Magyar Honvédségben. Hadtudományi Szemle 3. évf. 1:71-80.*
- Karagülle, M. Z., Karagülle, M., 2004: Balneotherapy and spa therapy of rheumatic diseases in Turkey: a systematic review. Forsch Komplementärmed Klass Naturheilkd 1:33–41.*
- Kohut, L., 2008: Extrém fizikai terhelésnek kitett katonai állomány keringési és élettani vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest.*
- Kyle, W. J., 1994: The human bioclimate of Hong Kong. In: Brazdil, R., Kolar, M., (eds): Proceedings of the Contemporary Climatology Conference, Brno. TISK LITERA, Brno., pp 345–350.*
- Lin, T. P., Matzarakis, A., 2008: Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. Int J Biometeorol 52:281-290.*
- Lin, T. P., Matzarakis, A., Hwang, R. L., Huang, Y. C., 2010: Effect of pavements albedo on long-term outdoor thermal comfort. In: Matzarakis, A., Mayer, H., Chmielewski, F., Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Freiburg, Germany, 497-503.*
- Masterton, J. M., Richardson, F. A., 1979: HUMIDEX: A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. Downsides, Ontario: Environment Canada CLI 1-79.*
- Matzarakis, A., Mayer, H., 1996: Another kind of environmental stress: thermal stress. WHO Newsletter 18, 7-10.*
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 1999: Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: de Dear, R. J., Kalma, J. D., Oke, T. R., Auliciems, A. (eds.): Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium, Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney, Australia, 273-278.*
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. Int J Biometeorol 51:323-334.*
- Mayer, H., 1993: Urban bioclimatology. Experientia 49, 957-963.*

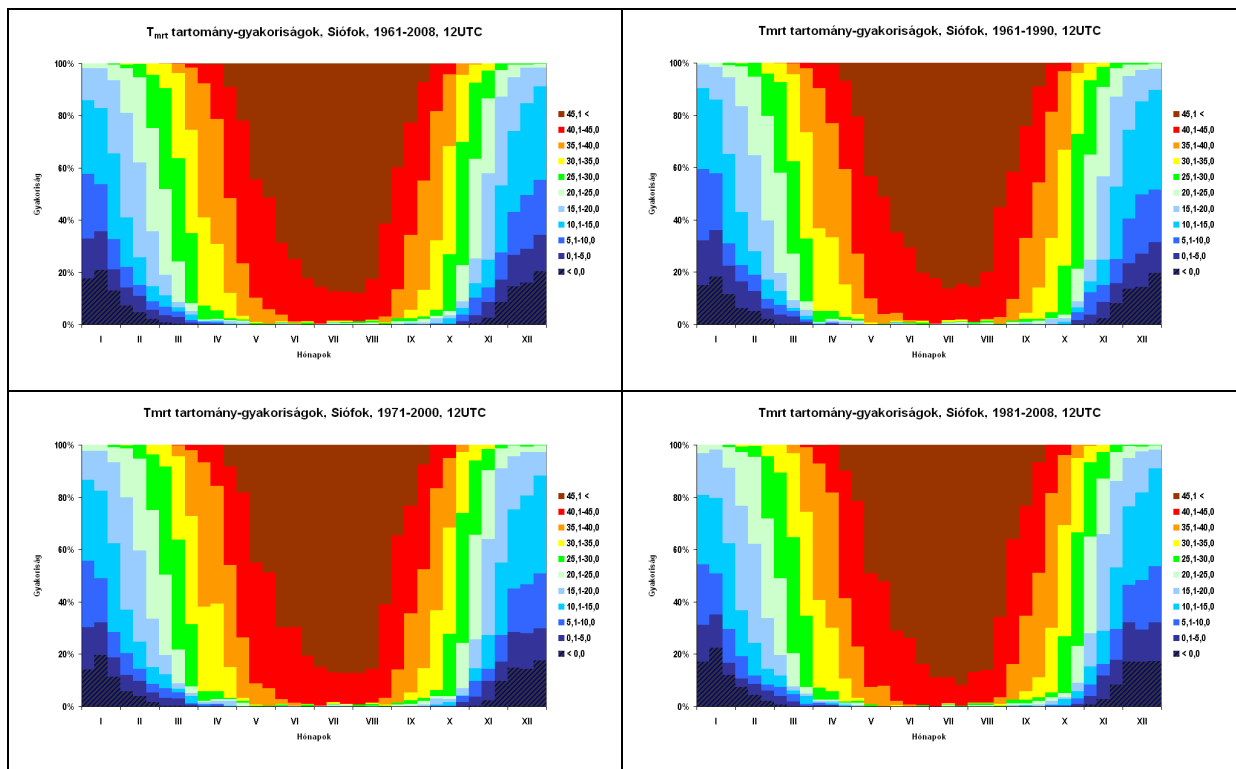
- Mayer, H., Höppe, P. 1987: Thermal comfort of a man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology* 38. pp. 43-49.
- McGregor, G. R., Markou, M. T., Bartzokas, A., Katsoulis, B. D., 2002: An evaluation of the nature and timing of summer thermal discomfort in Athens, Greece. *Clim Res* 20, 83-94.
- MSZ EN 27243, 1998: Meleg munkakörnyezetek. A dolgozóra ható hőterhelés becslése a WBGT-index (wet bulb globe temperature) alapján. *Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.*
- Nastos, P. T., Giaouzaki, K. N., Kampanis, N. A., Agouridakis, P. I., Matzarakis, A., 2010: Acute coronary syndromes and biometeorological conditions at Crete Island, Greece. In: Matzarakis, A., Mayer, H., Chmielewski, F., *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Freiburg, Germany, 290-295.*
- National Institute for Occupational Safety and Health, 1986: Criteria for Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments. *Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office. NIOSH Publication 86-113.*
- Neumann, P., Matzarakis, A., 2010: Regional and local dimension of climate change: identification of the impact of climate variability and extreme events using the example of heat and drought in Baden-Württemberg. In: Matzarakis, A., Mayer, H., Chmielewski, F., *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Freiburg, Germany, 142-147.*
- Osczevski, R. J., Bluestein, M., 2005: The new wind chill equivalent temperature chart. *Bull Amer Meteor Soc* 86:1453-1458.
- Pickup, J., de Dear, R. J., 1999: An Outdoor Thermal Comfort Index (Out-Set*) - Part I - the Model and its Assumptions. In: de Dear, R.J. and Potter, J.C., (eds): *Proceed of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology. Sydney, Australia, CD ICB9.4.*
- Rákóczi, F., Drahos, Á., Ambrózy, P., 2002: Magyarország gyógyhelyeinek éghajlata. *Oskar Kiadó.*
- Rothfusz, L. P., 1990: The heat index „equation” (or more than you ever wanted to know about the heat index). *Fort Worth, TX: NWS Southern region Headquarters. NWS Technical attachment SR90-23.*

- Sauberer, F.*, 1948: Wetter, Klima und Leben - Grundziige der Bioklimatologie. *Verlag Brüder Hollinek, Wien.*
- Siple, P. A., Passel, C. F.*, 1945: Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Wilderness and Environmental Medicine* 10, 176-182.
- Steadman, R. G.*, 1979: The assessment of sultriness. Part I. A temperature- humidity index based on human physiology and clothing science. *J Appl Meteorol* 18, 861-873.
- Steadman, R. G.*, 1994: Norms of apparent temperature in Australia. *Aust. Met. Mag.*, Vol 43, 1-16.
- Thom, E. C.*, 1959: The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-60.
- Unger, J.*, 1999: Comparison of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *Int J Biometeorol*, 43, 139-144.
- VDI*, 1994: VDI 3789, Part 2: Environmental Meteorology, Interactions between Atmosphere and Surfaces; Calculation of the short- and long-wave radiation. *Beuth, Berlin*, p 52.
- VDI*, 1998: VDI 3787, Part I: Environmental Meteorology, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning at regional level. Part I: Climate. *Beuth, Berlin*, p 29.
- Vernon, H. M., Warner, C. G.*, 1932: The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures. *J Hyg* 32, 431-462.
- Yaglou, C. P., Minard, D.*, 1957: Control of heat casualties at military training centers. *AMA Arch Ind Health*, 16, 302-316.
- Zaninovic, K., Matzarakis, A., Cegnar, T.*, 2006: Thermal comfort trends and variability in the Croatian and Slovenian mountains. *Meteorologische Zeitschrift* 15 No. 2., pp. 243-251.

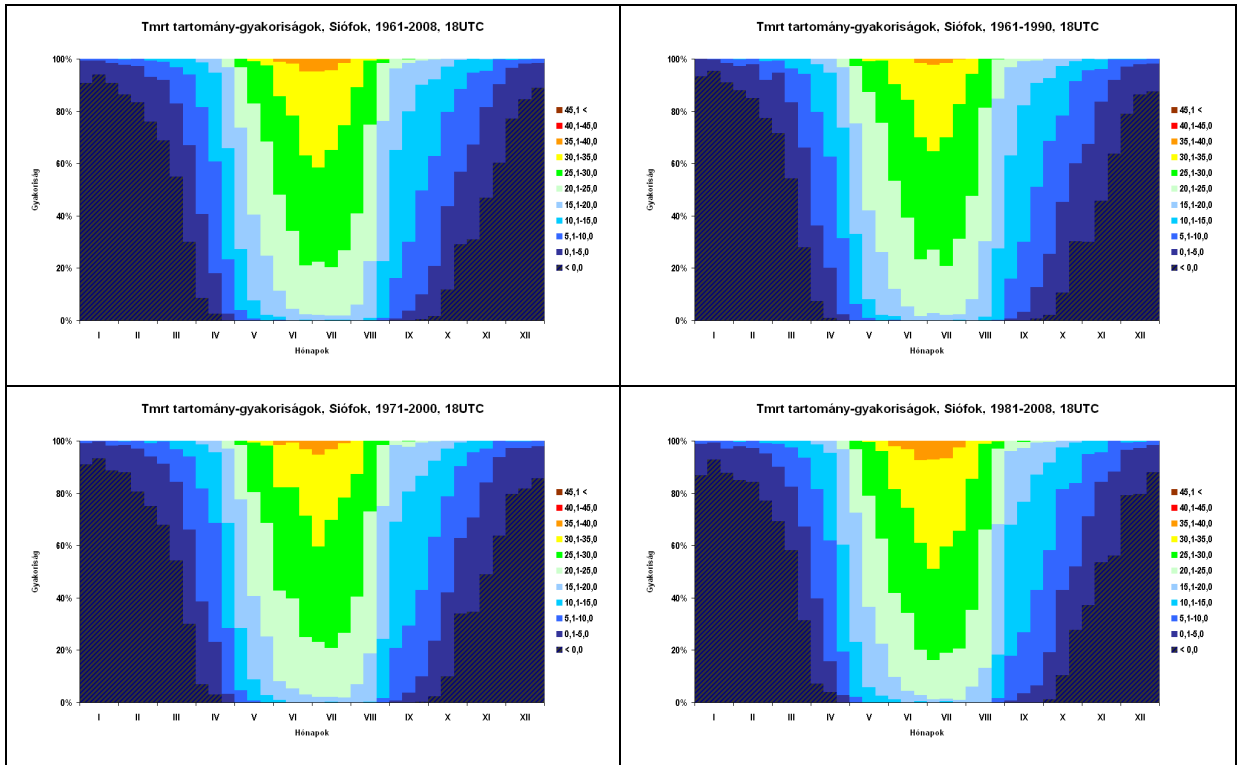
Függelék



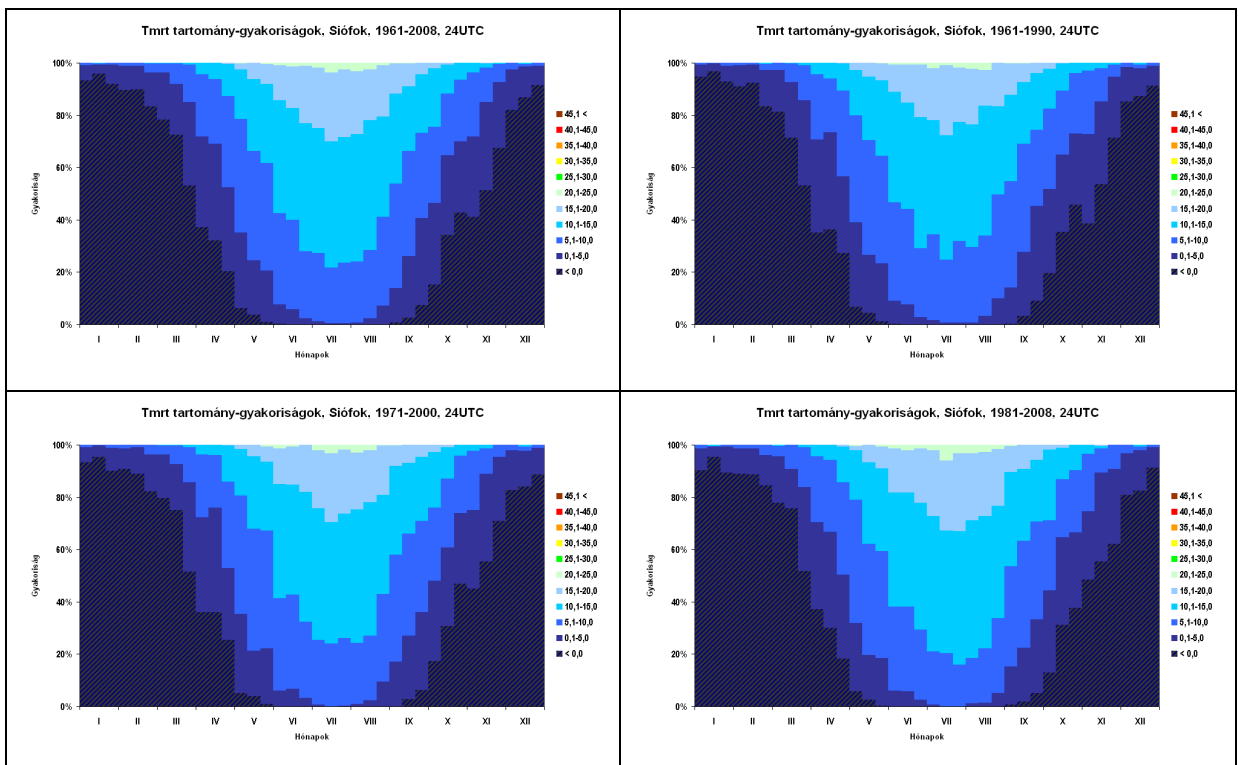
Az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) 06 UTC-s bioklíma-diagramjai



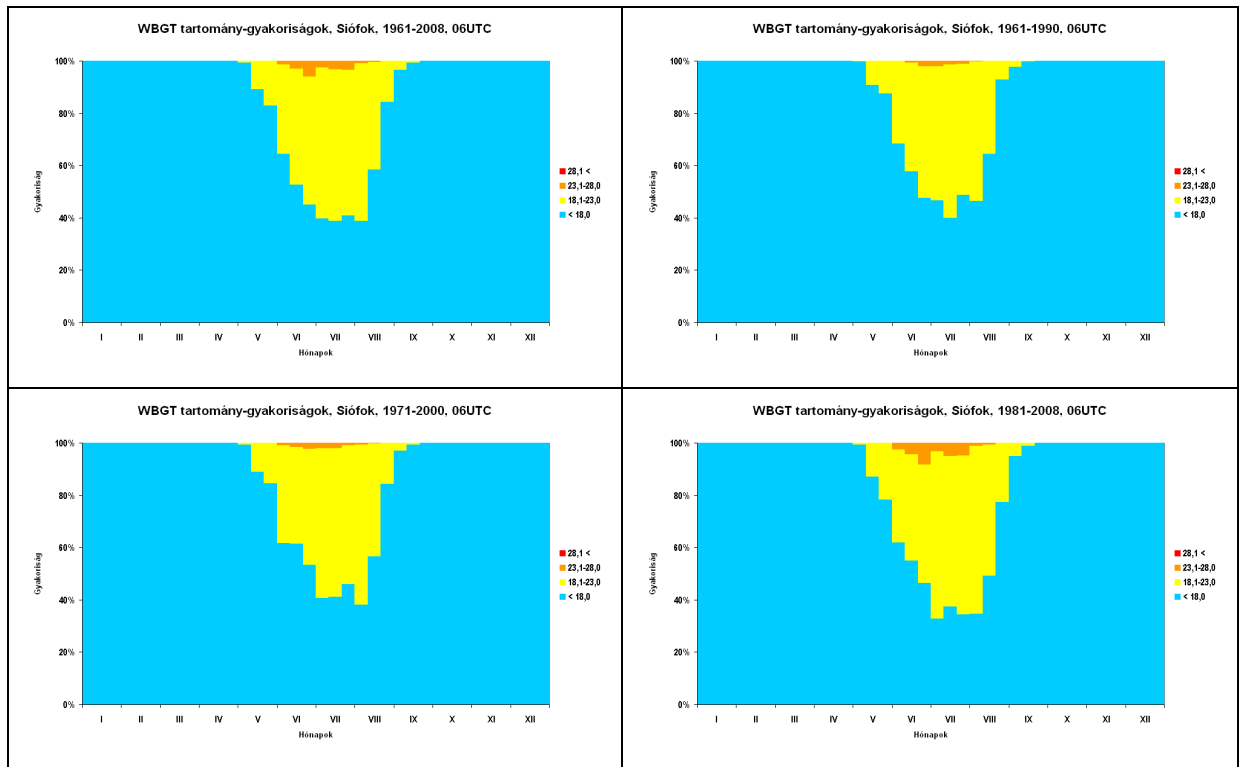
Az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) 12 UTC-s bioklíma-diagramjai



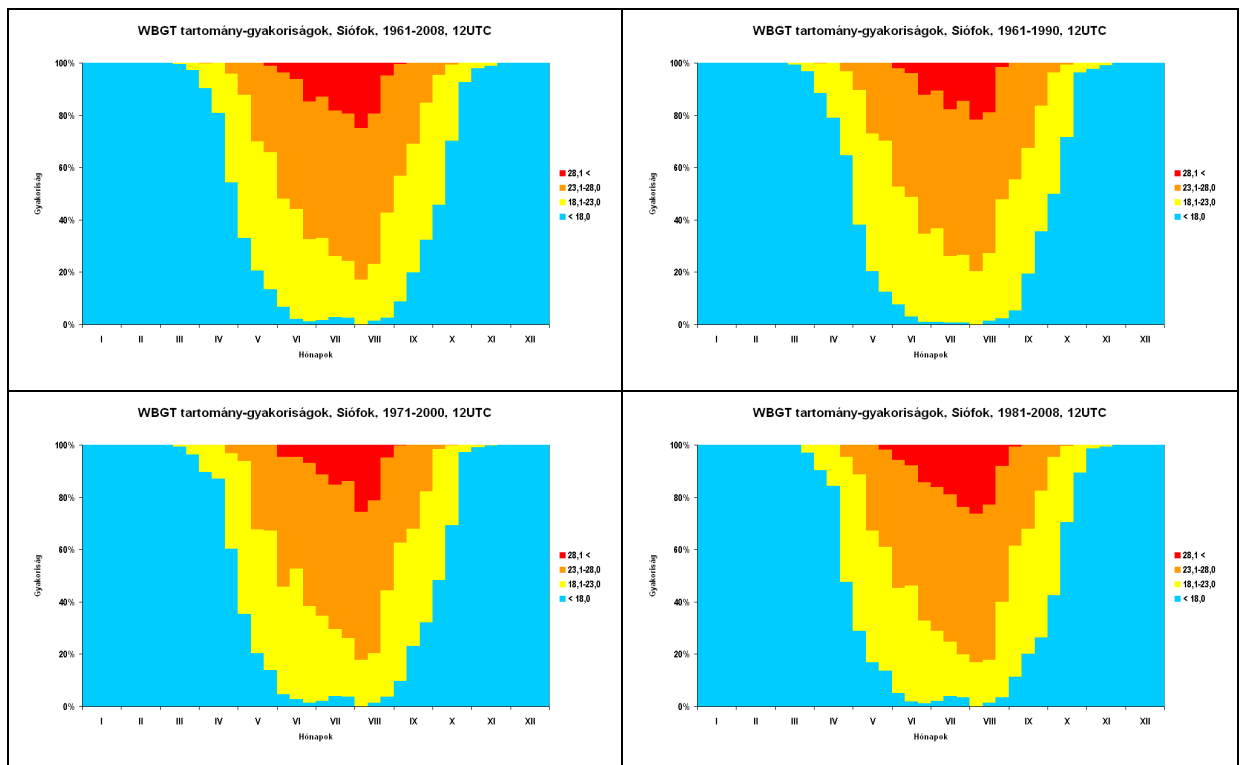
Az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) 18 UTC-s bioklíma-diagramjai



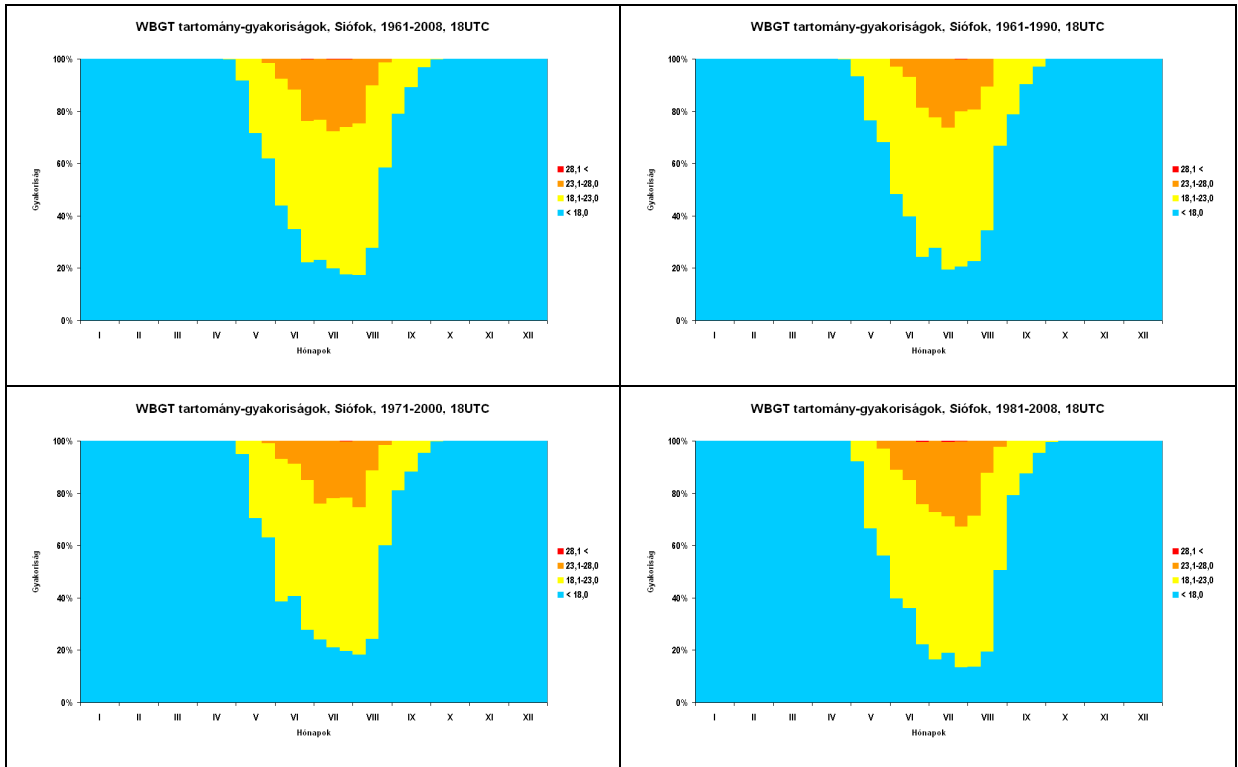
Az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) 24 UTC-s bioklíma-diagramjai



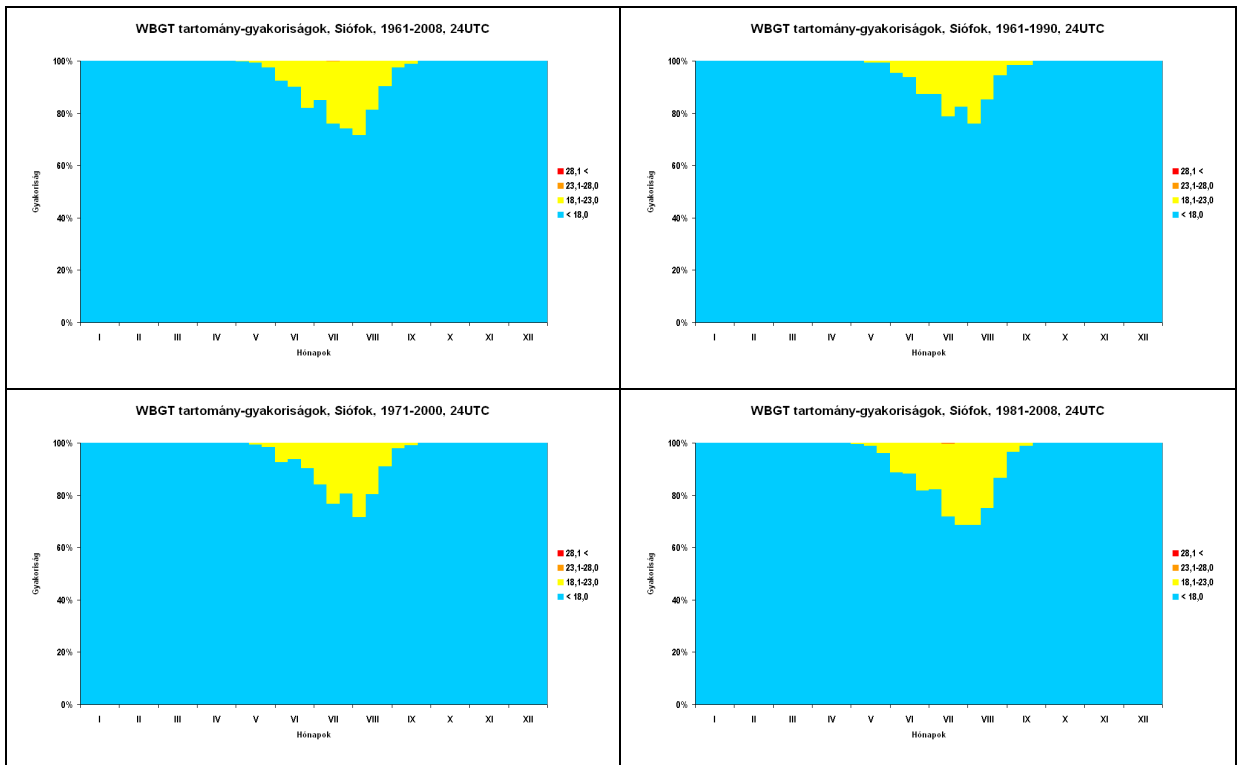
A nedves gömb hőmérséklet (WBGT) 06 UTC-s bioklíma-diagramjai



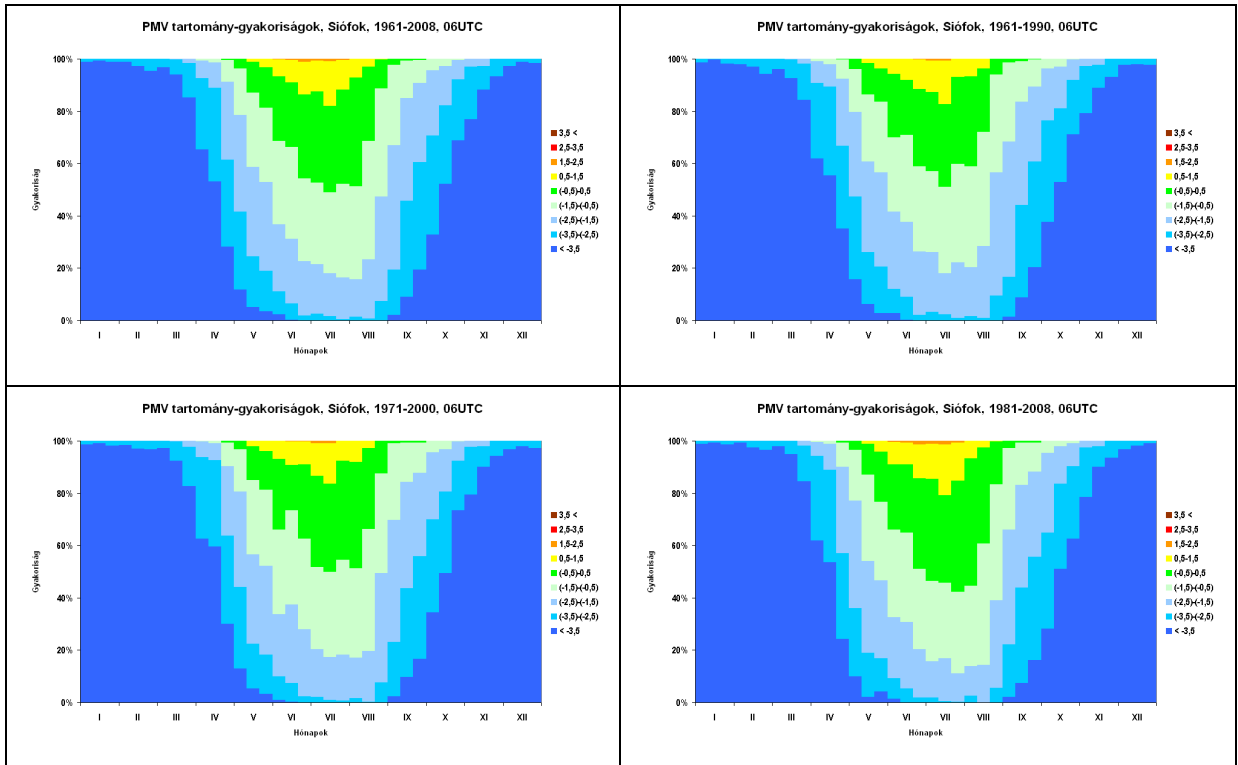
A nedves gömb hőmérséklet (WBGT) 12 UTC-s bioklíma-diagramjai



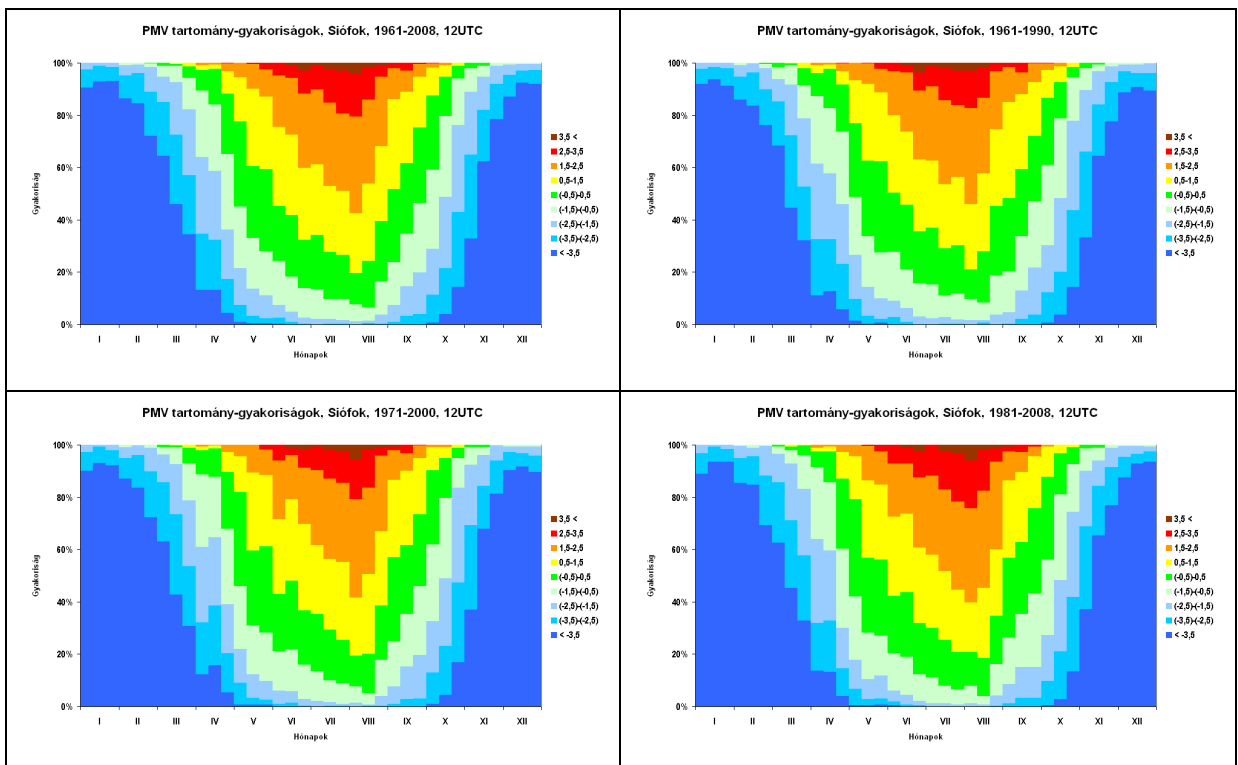
A nedves gömb hőmérséklet (WBGT) 18 UTC-s bioklíma-diagramjai



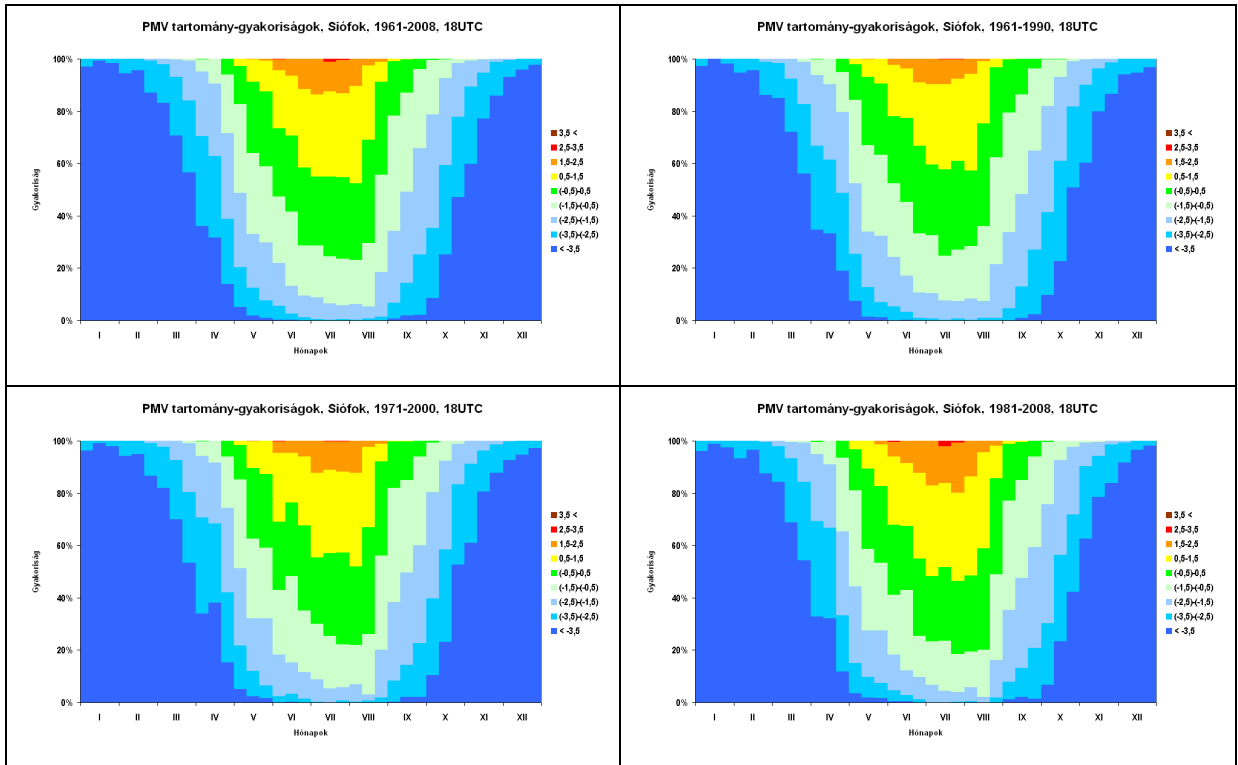
A nedves gömb hőmérséklet (WBGT) 24 UTC-s bioklíma-diagramjai



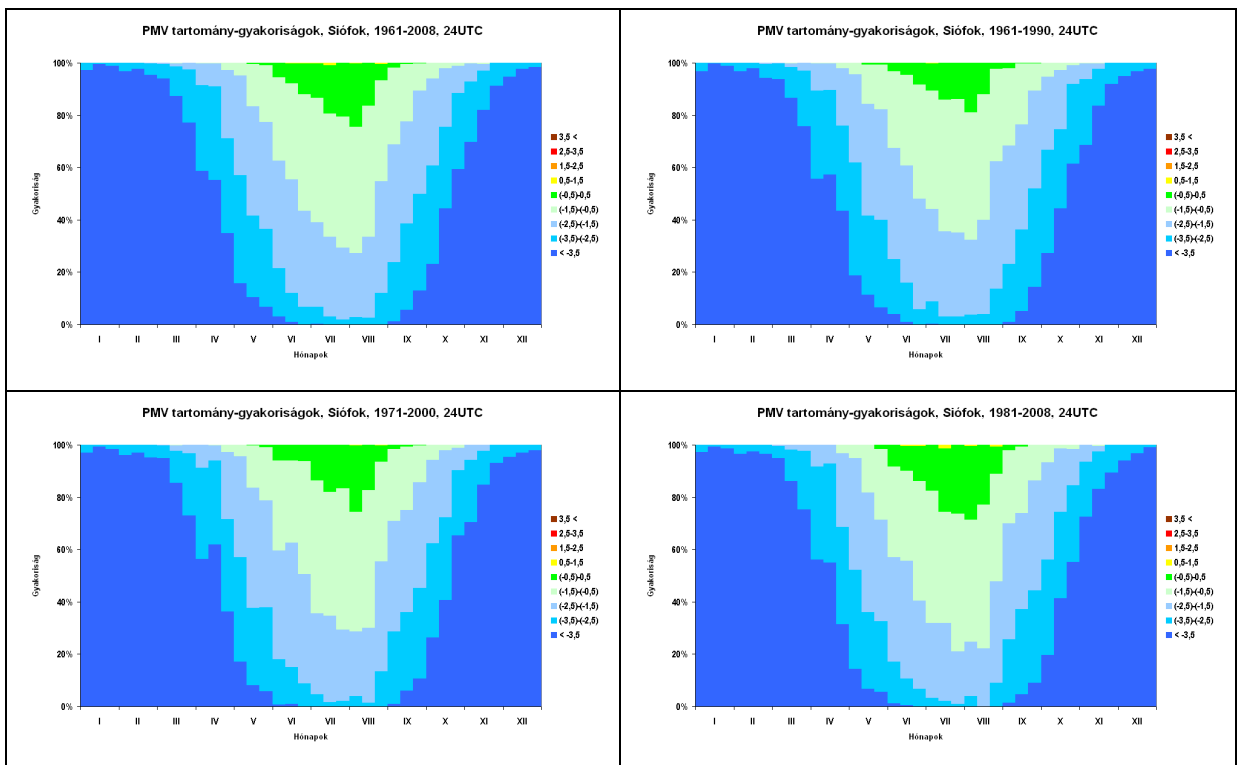
A jóérzés-index (PMV) 06 UTC-s bioklíma-diagramjai



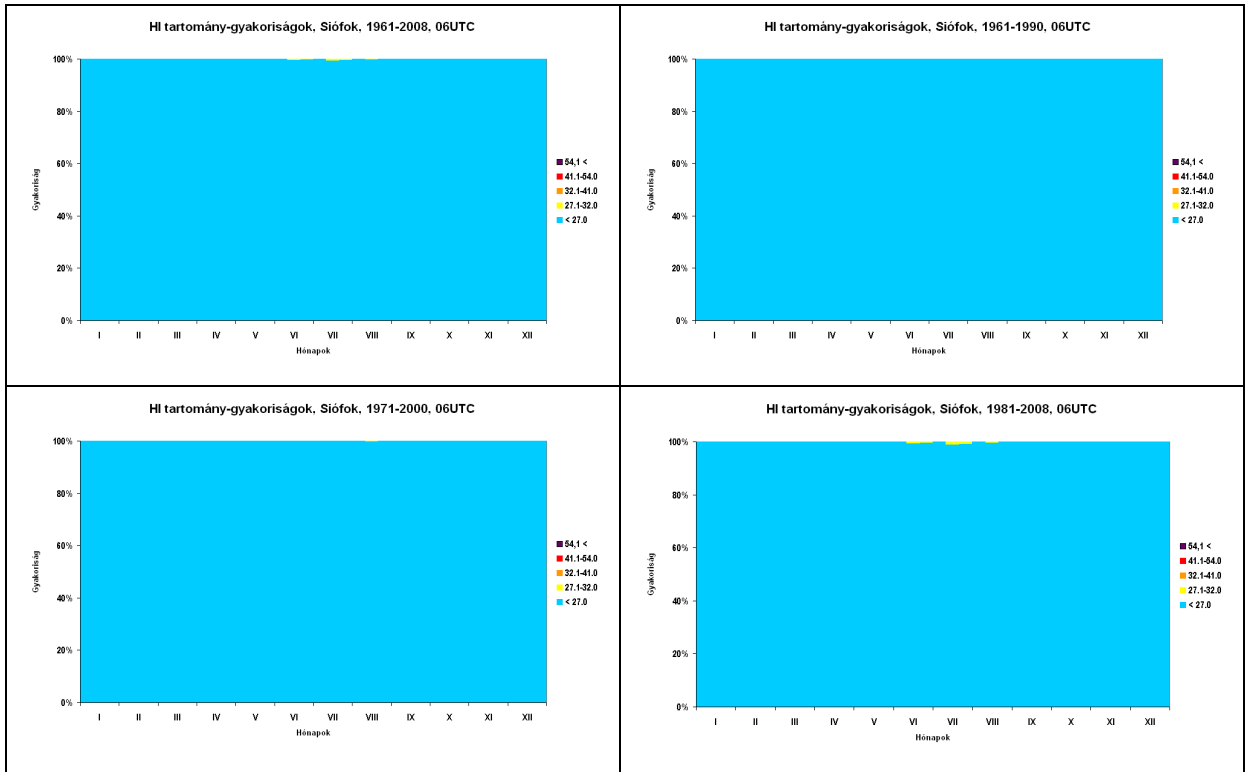
A jóérzés-index (PMV) 12 UTC-s bioklíma-diagramjai



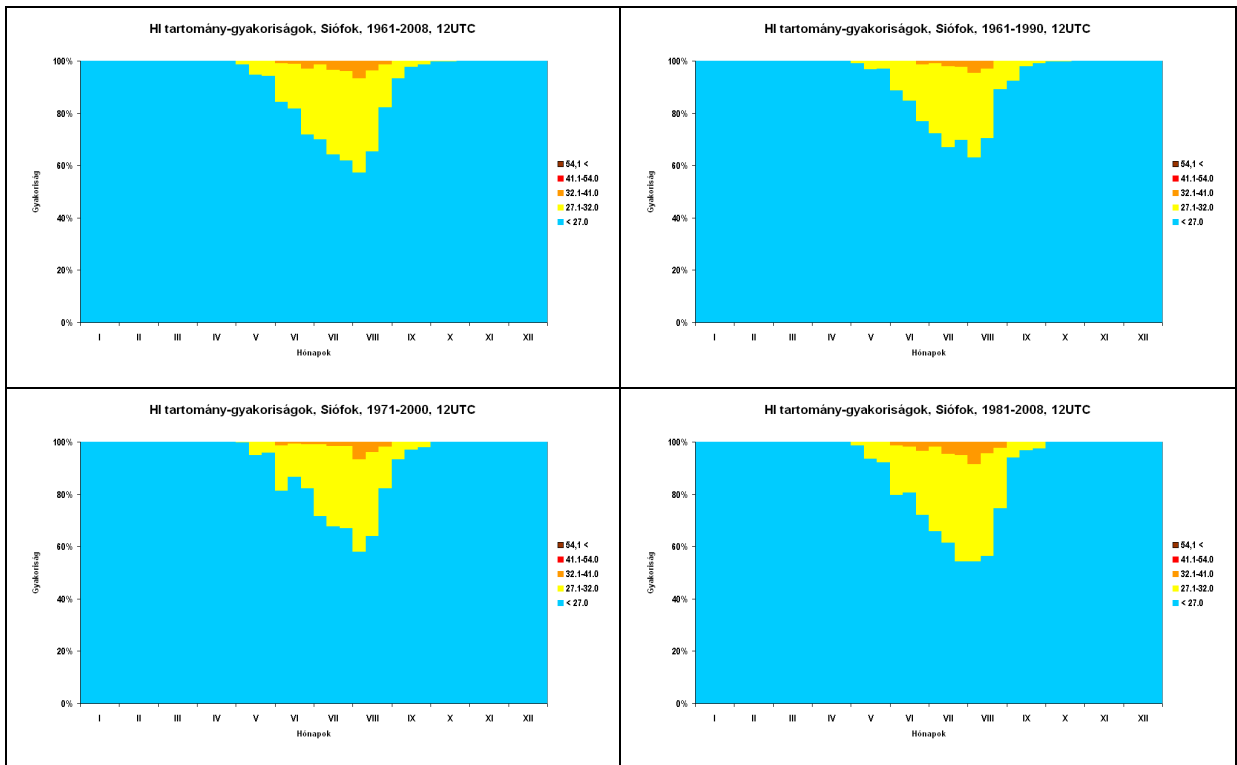
A jóérzés-index (PMV) 18 UTC-s bioklíma-diagramjai



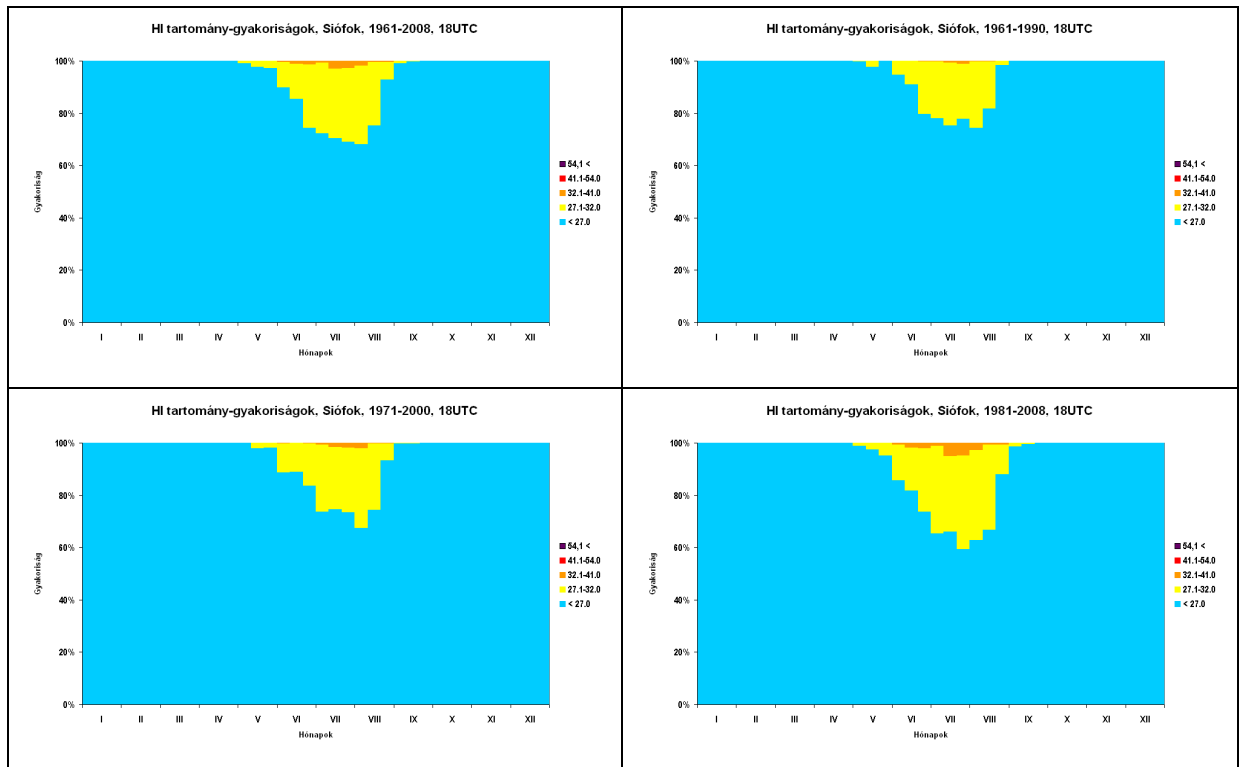
A jóérzés-index (PMV) 24 UTC-s bioklíma-diagramjai



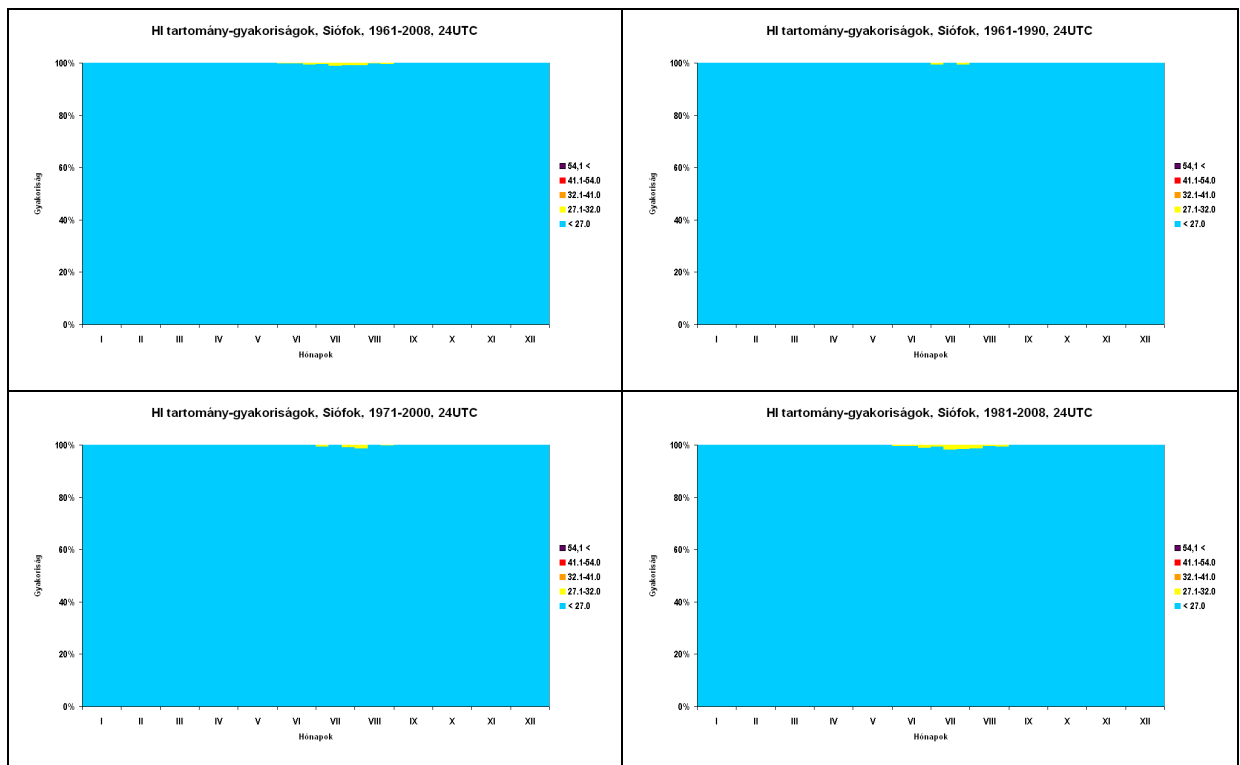
A hőség index (HI) 06 UTC-s bioklíma-diagramjai



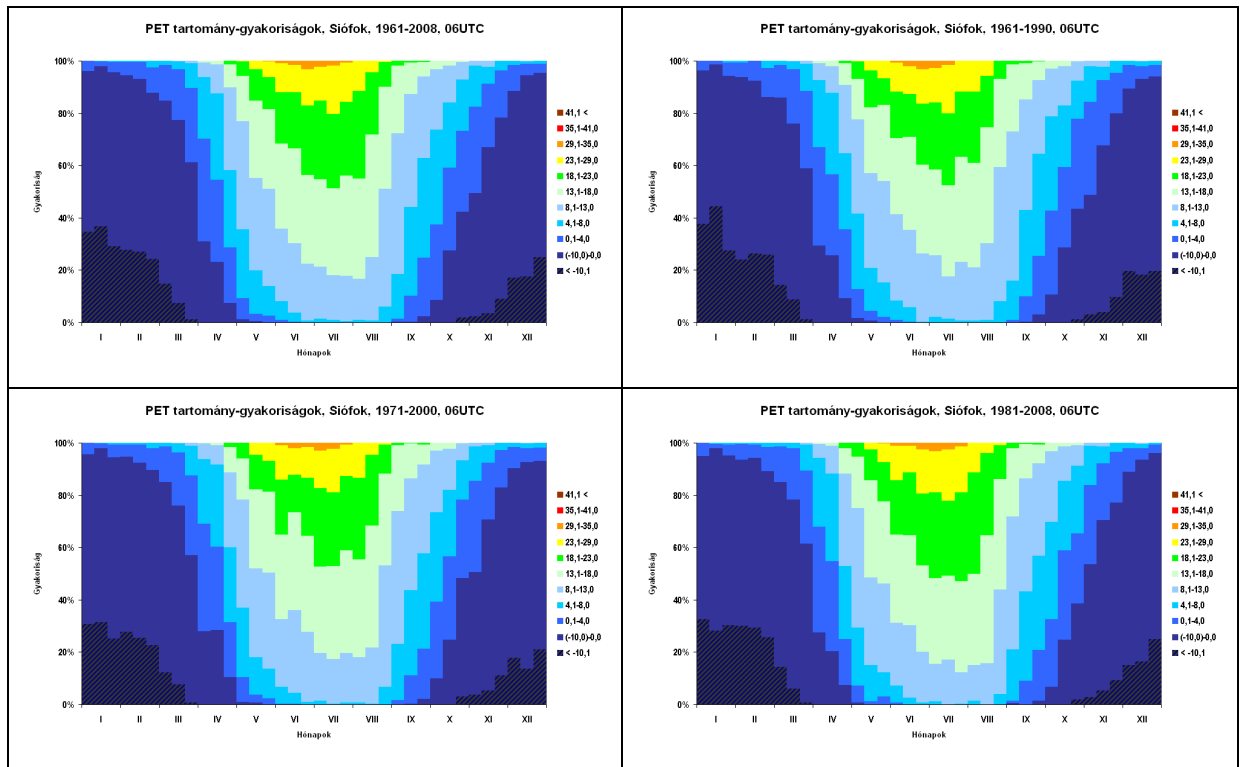
A hőség index (HI) 12 UTC-s bioklíma-diagramjai



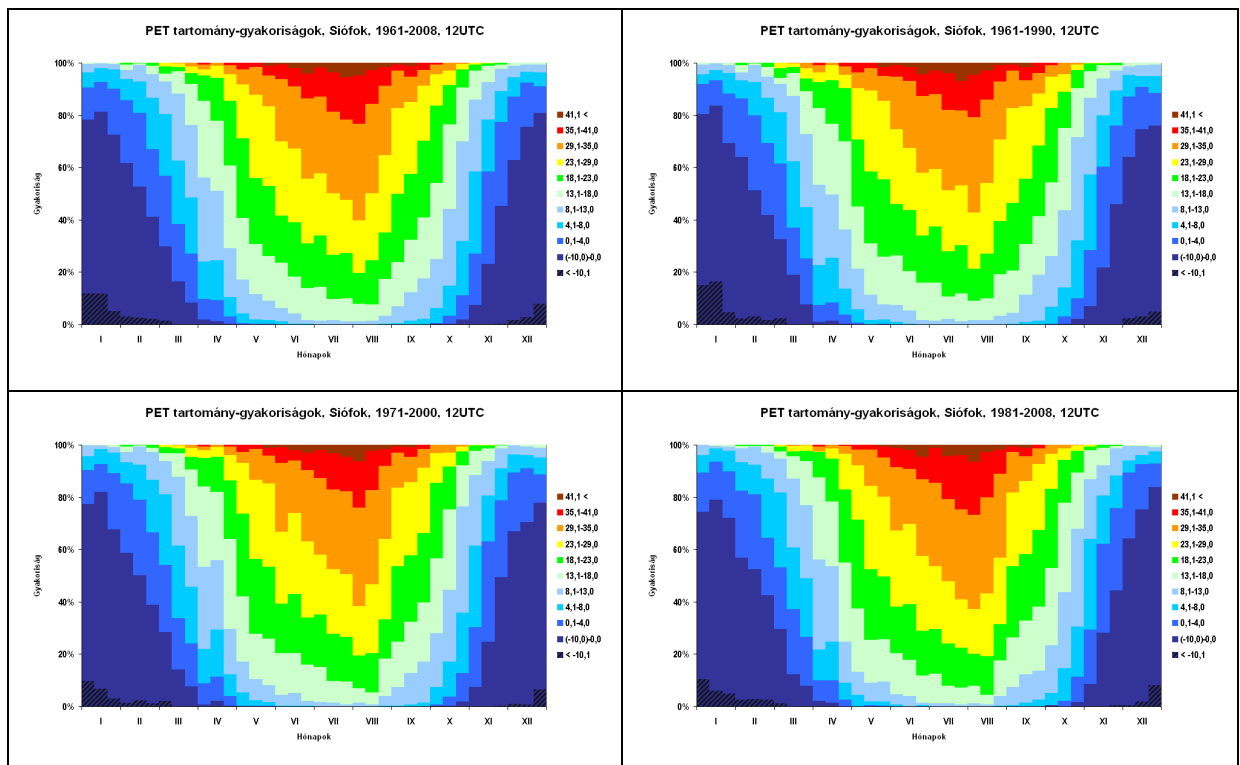
A hőség index (HI) 18 UTC-s bioklíma-diagramjai



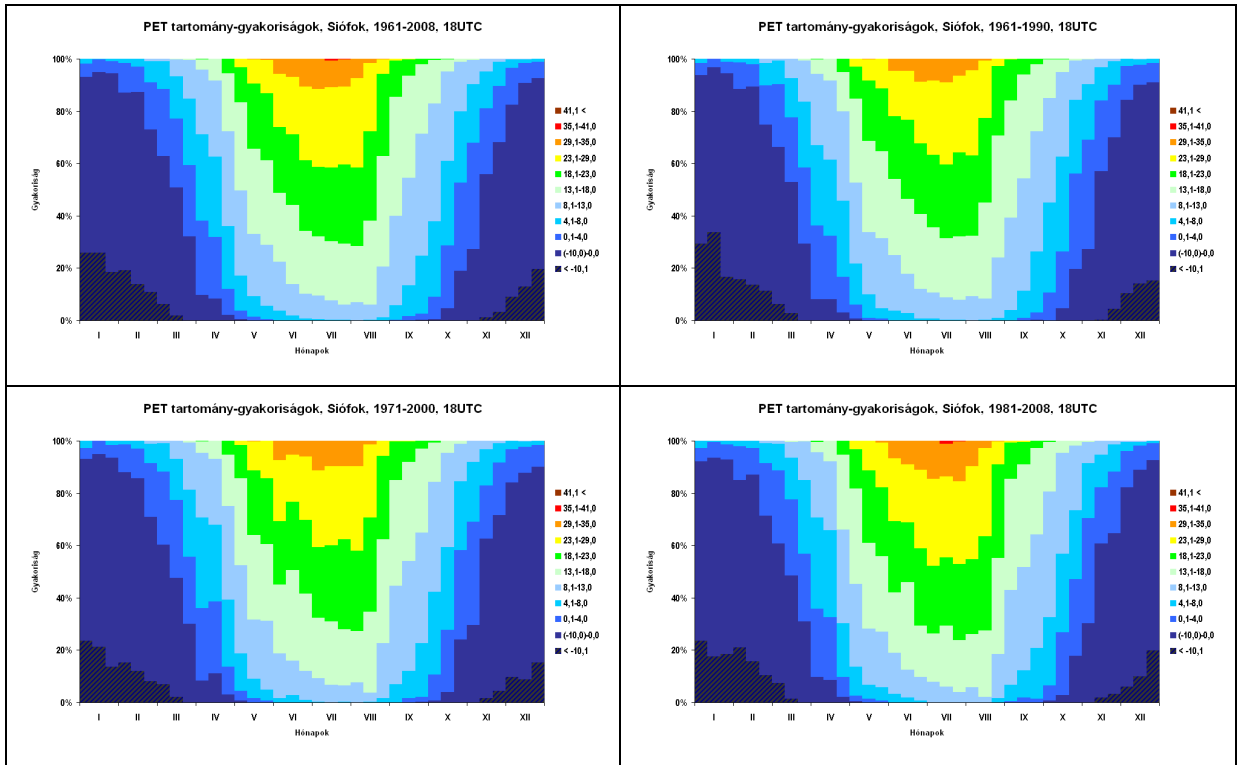
A hőség index (HI) 24 UTC-s bioklíma-diagramjai



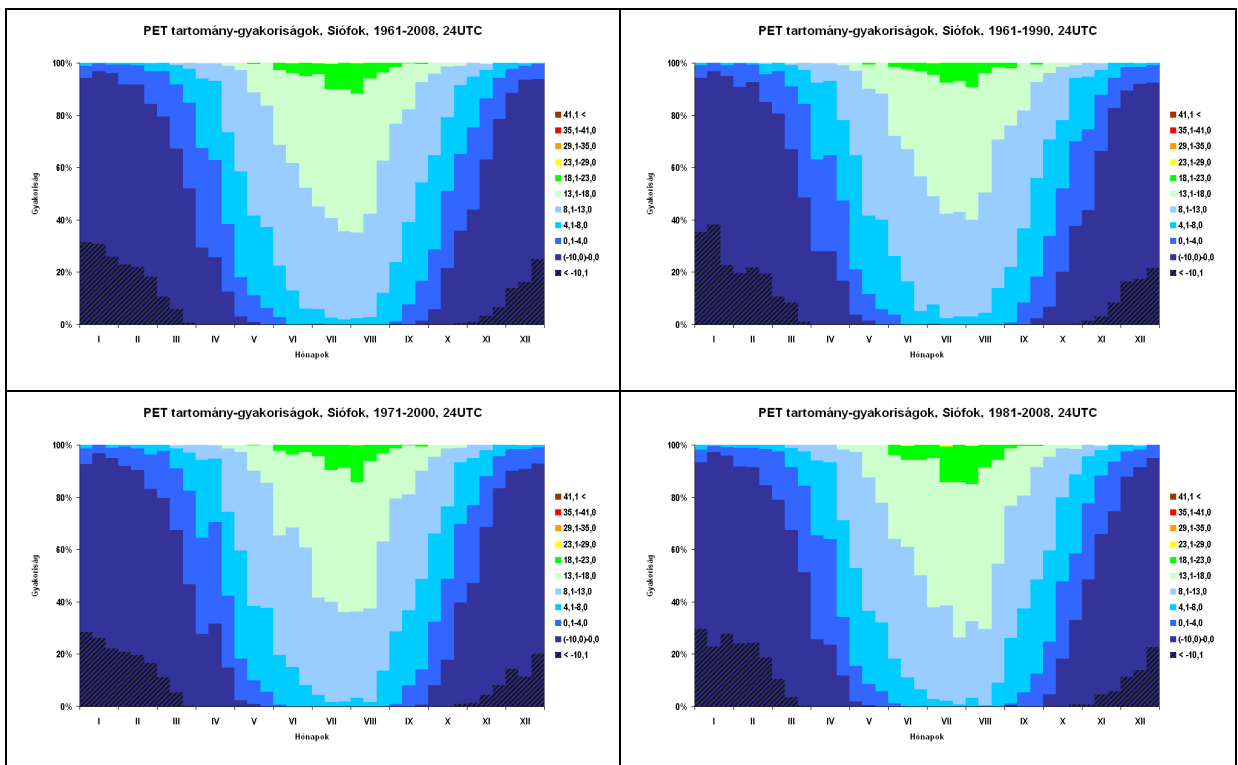
A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) 06 UTC-s bioklíma-diagramjai



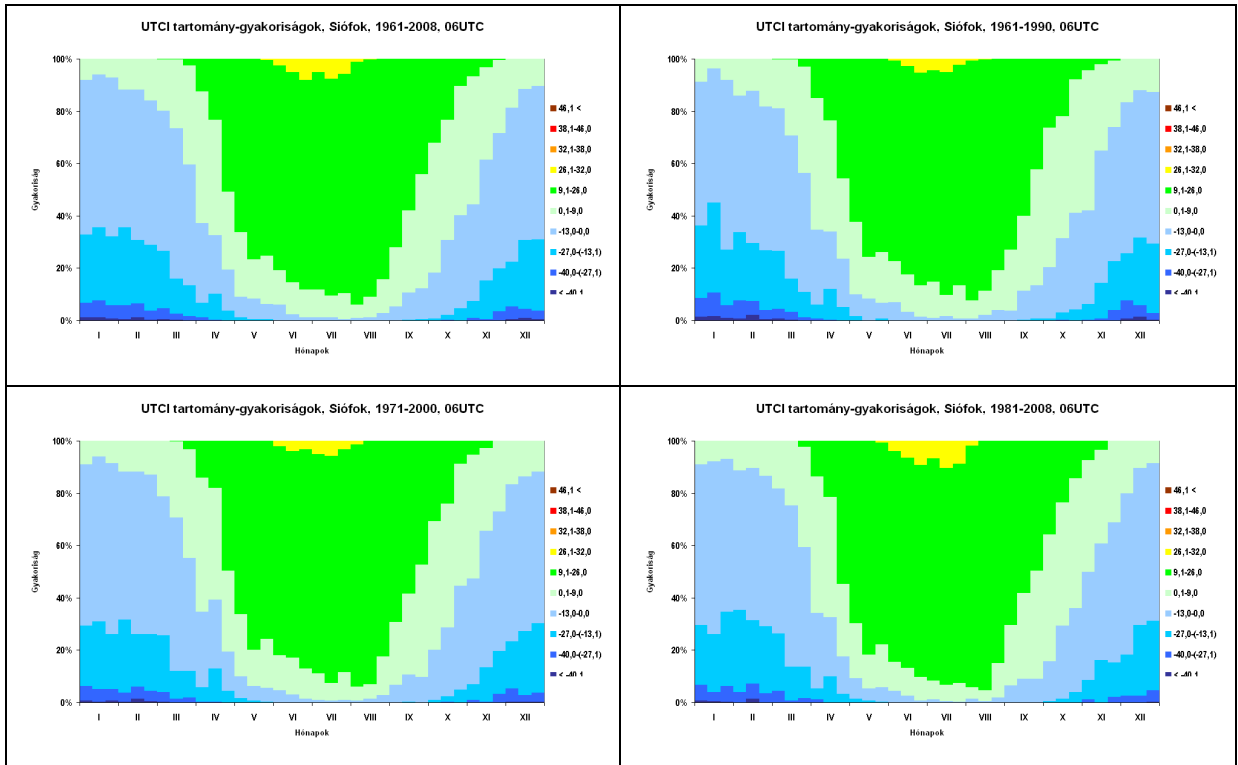
A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) 12 UTC-s bioklíma-diagramjai



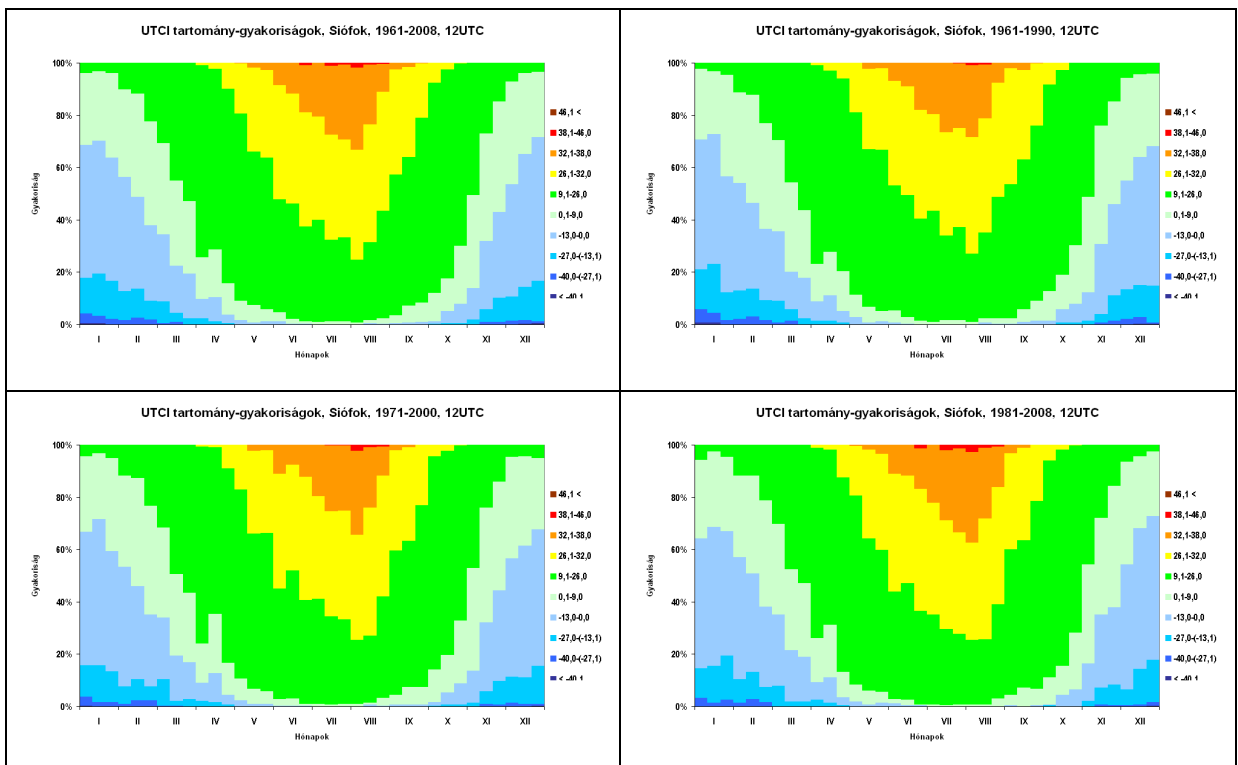
A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) 18 UTC-s bioklíma-diagramjai



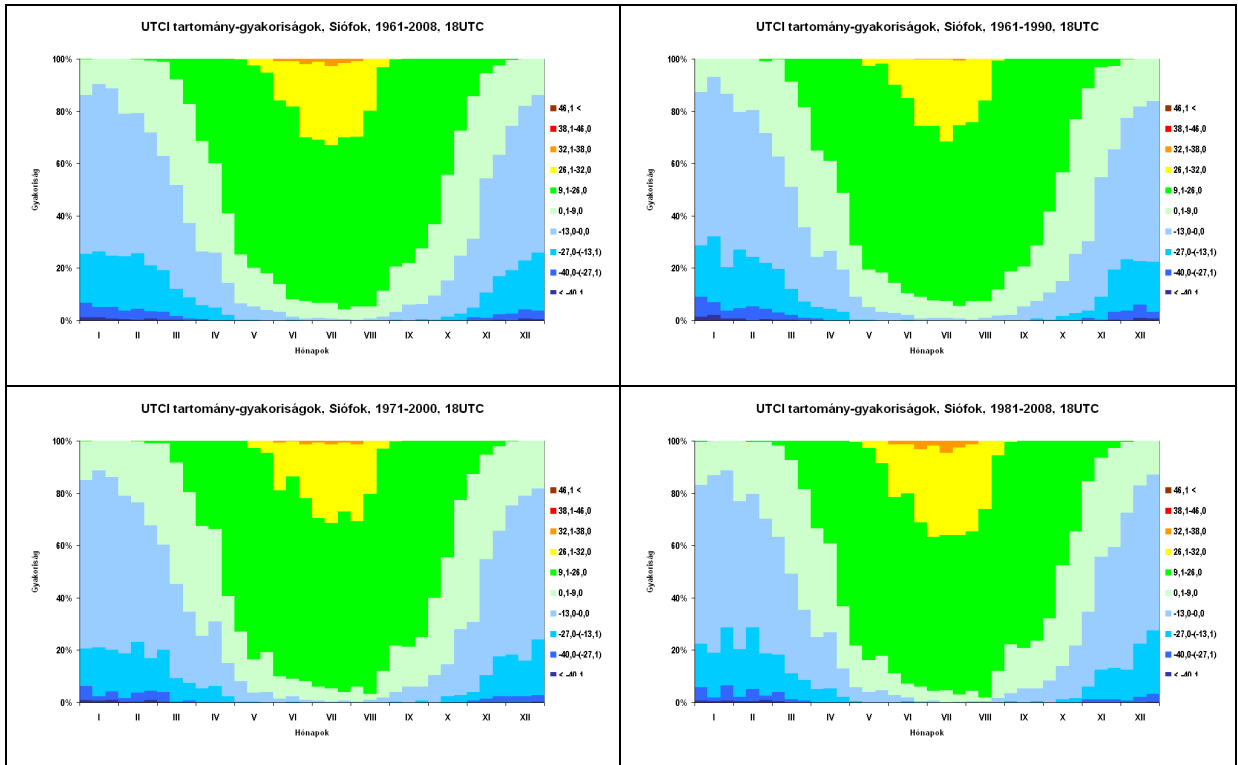
A fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET) 24 UTC-s bioklíma-diagramjai



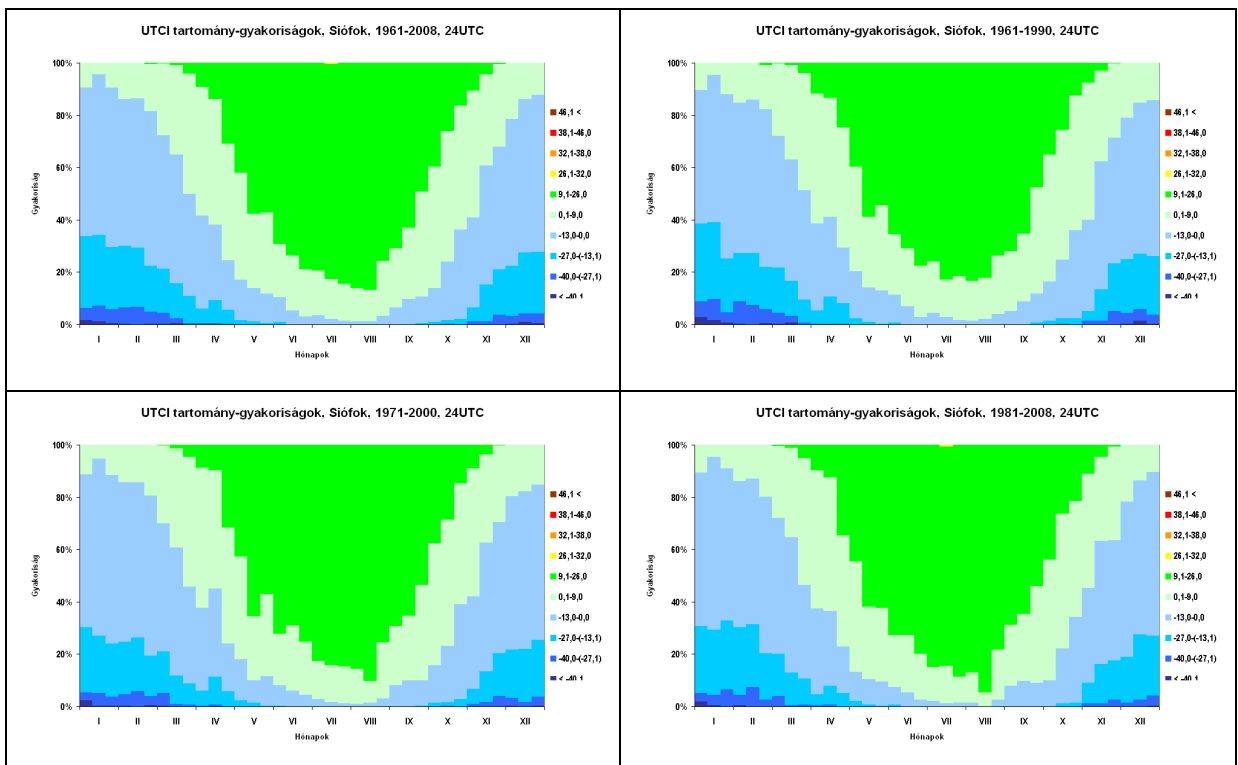
Az univerzális termikus klímaindex (UTCI) 06 UTC-s bioklíma-diagramjai



Az univerzális termikus klímaindex (UTCI) 12 UTC-s bioklíma-diagramjai



Az univerzális termikus klímaindex (UTCI) 18 UTC-s bioklíma-diagramjai



Az univerzális termikus klímaindex (UTCI) 24 UTC-s bioklíma-diagramjai