

EÖTVÖS LORÁNT TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

BSc. SZAKDOLGOZAT

Hőhullámok vizsgálata Budapesten bioklímaindexek felhasználásával



Készítette:

Marton Annamária

Földtudomány Bsc., Meteorológia szakirány
Budapest, 2010. május

Témavezetők:

Dr. Páldy Anna

Főigazgató-helyettes főorvos
OKI, Egészséghatás Előrejelzési
Főosztály

Németh Ákos

Főtanácsos
OMSZ, Éghajlati Osztály

Belső konzulens:

Dr. Havasi Ágnes

Tanársegéd
ELTE, Meteorológiai Tanszék

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	1
1. Bevezetés	2
2. Irodalmi áttekintés	3
2.1. A hőhullámok definiálása	3
2.2. Egészségi hatások	6
2.2.1. Az emberi hőszabályozás folyamata.....	6
2.2.2. A klímaváltozás hatásai	8
2.3. A termikus indexek ismertetése.....	11
2.3.1 A léghőmérséklet (Air Temperature).....	13
2.3.2. A WBGT index (Wet Bulb Globe Temperature).....	14
2.3.3. A PMV (Predicted Mean Vote) és a PET index (Physiological Equivalent Temperature).....	15
2.3.4. Az AT (Apparent Temperature) és az AT _{max} (Maximum Apparent Temperature).....	16
2.3.5. Az UTCI index (Universal Thermal Climate Index).....	17
2.4. Városi hősziget	19
3. Szakdolgozatom célkitűzései	20
4. Anyagok és módszerek	20
5. Az indexek közötti kapcsolat.....	21
5.1. Az indexek közötti kapcsolat vizsgálatának módszere.....	21
5.2. Az indexek kapcsolatának vizsgálata során kapott eredmények	22
6. Az indexek és a halálózás kapcsolata	24
6.1. A halálózási többlet becslése	30
6.2. Indexpárok és kombinációk	33
7. Esettanulmány.....	35
8. Összefoglalás	43
Köszönetnyilvánítás.....	45
Mellékletek	46
Irodalomjegyzék	54

1. Bevezetés

Napjainkban a legnépszerűbb természettudományos témák: a környezetszennyezés (üvegházgázok kibocsátása, hulladék-újrahasznosítás), a földrengések és a hozzájuk kapcsolódó szökőárok (ismertebb nevükön cunamik), a biodiverzitás csökkenése és a globális felmelegedés. Az utóbbihoz kapcsolódó számtalan jelenségről (elsivatagosodás, olvadó jégsapkák, visszahúzódó gleccserek, a tengerszint várható emelkedése, szélsőségesebbé váló éghajlat, az átmeneti évszakok eltűnése) már nemcsak a tudományos lapokban olvashatunk, hanem a sokkal nagyobb tömegek által olvasott napilapokban, illetve internetes hírportálokon is. Hosszabb-rövidebb figyelemfelkeltő írások jelennek meg, melyekben elsivatagosodással és tengerszint-emelkedéssel „riogatják” az embereket. Ez nem is alaptalan, de fontos lenne arra is kellő hangsúlyt fektetni, ami már most hatással van életünkre. Az elmúlt években drasztikusan megnőtt a hóhullámok, illetve a hóhullámos napok száma. A 2003-as európai hóhullám miatt csak Franciaországban több mint 14.000-en veszítették életüket (Kovats és Ebi, 2006). (A 2007 júliusában a 10 napon át tartó, melegrekordokat döntő időszak alatt csak Budapesten több mint 200 fős többlethalálozás jelentkezett (Páldy és Bobvos, 2008).)

Ma már tudjuk, hogy a hóhullámok nemcsak az emberi komfortérzetet csökkentik, hanem befolyásolják a halálozást is. Éghajlatunkon a halálozásnak éves ciklicitása van, télen többen, míg nyáron kevesebben halnak meg, ettől térnek el jelentős mértékben a hóhullámos napok kiugró halálozási adatai (Páldy et al., 2003).

Dolgozatomban bioklímaindexek, minimum-, maximum-, átlag- és apparent hőmérsékletek felhasználásával fogom a halálozási adatok és a hóhullámok kapcsolatát vizsgálni. A bioklímaindexek hivatottak megmutatni, hogy az időjárás okozta terhelés milyen hatással van az emberi szervezetre. Szeretnék választ kapni arra, hogy Budapest esetében melyik index reprezentálja legjobban a hóhullámok hatására bekövetkező halálozást.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A hőhullámok definiálása

Mit is nevezünk hőhullámnak? Erre a kérdésre az elmúlt években számtalan válasz született. Nem született azonban egységes, világszerte elfogadott definíció; sem a Meteorológiai Világszervezet (WMO), sem pedig az Egészségügyi Világszervezet (WHO) nem alkotott egységes, világszerte elfogadható definíciót a hőhullámra.

A nemzeti meteorológiai szolgálatok mind saját területükre, éghajlatukra szabottan foglalkoztak a kérdéssel, és ennek megfelelően a megjelent tanulmányokban sem egységes a jelentése a hőhullám kifejezésnek.

Még mielőtt bepillantást nyernénk az összegyűjtött definíciókba, gondoljuk végig, hogy mik a hőhullámok legfontosabb tulajdonságai! Először is a hőhullám egy „szokatlanul” meleg időszak, azonban ez földrészenként, országonként, sőt tájegységenként mást jelent. Ezért ütközik nehézségekbe olyan küszöbértéket találni, amely minden éghajlatnak megfelel. A küszöbérték lehet a léghőmérséklet, vagy egy index, ami figyelembe veszi az emberi szervezet és környezete kölcsönhatását. A küszöb létrehozásának két módja van. Az első lehetőség az, hogy meghatározunk egy fix értéket, ami a fiziológiai hőhullám alsó határát reprezentálja. Az így megállapított stabil határ feletti viszonyok már a komfortérzet csökkenésével járnak, illetve növelik az egészségi kockázatot. Ennek a módszernek a hátulütője az, hogy nagy területre nem lehet kiterjeszteni. A második lehetőség az, hogy a helyi normálistól (várható értéktől) való eltérést vizsgáljuk. A normális jelentheti a napi átlagértékeket, vagy az összes megfigyelést (eddiggi adatok). A túllépés mértékét is többféle módon meg lehet adni, lehet adott érték vagy fix szórás, esetleg rögzített százalékarány. Ezen módszernek a használata már nagyobb területen célravezető, mivel figyelembe veszi a helyi adottságokat. A második legfontosabb tulajdonsága a hőhullámoknak: az időtartamuk, hiszen egyáltalán nem közömbös az emberi szervezet számára, hogy milyen hosszú időn keresztül sérül a komfortérzete.

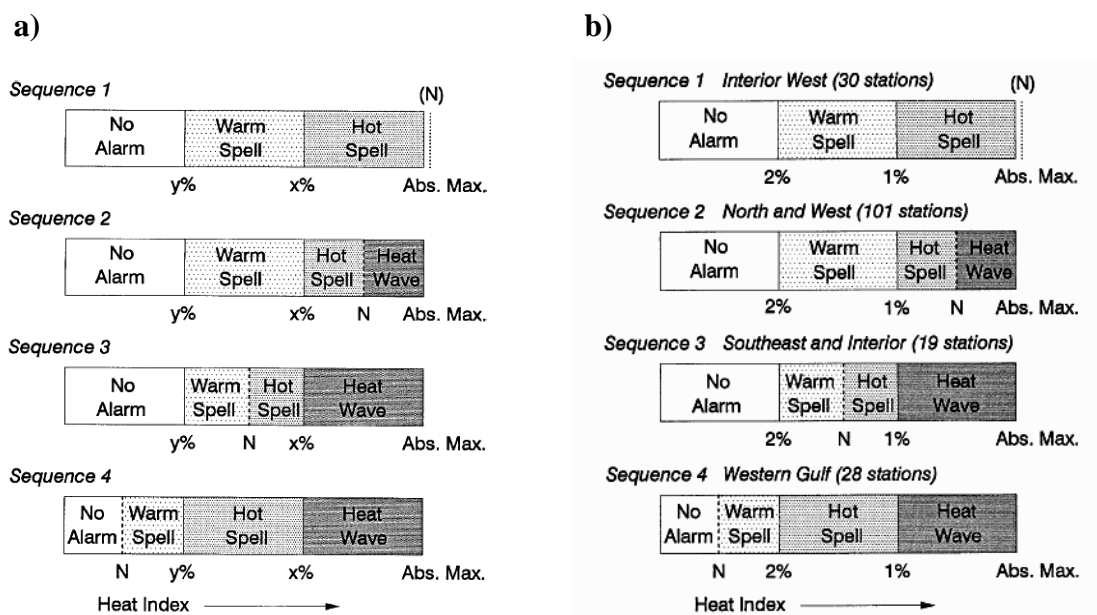
A legáltalánosabb megfogalmazást az Ausztrál Meteorológiai Kormányiroda (Australian Government Bureau of Meteorology) teszi közzé honlapján, ahol a következő olvasható: „a hőhullámnak nincsen egyetemes definíciója, habár általános értelemben úgy lehet megfogalmazni, mint hosszú ideig tartó túlzottan meleg időszak”. A pontosabb definíció megfogalmazásának nehézsége Ausztráliában a terület nagyságából és a klimatikus

különbségekből ered. Nehéz egy olyan hőmérsékleti index és hozzá tartozó küszöbérték megállapítása, mely az egész országra érvényes (<http://www.bom.gov.au/>).

Az Egyesült Királyság legújabb klímamodellje az UKCP09, mely többek között a Met Office Hadley Centre és a British Atmospheric Data Centre közreműködésével készült. Az UK Climate Projections (UKCP09) hivatalos honlapján található a következő meghatározás. „Hosszabb időszakon át tartó, rendkívül meleg időjárás, mely olykor magas páratartalommal jár.” Az általános meghatározáson kívül a honlap még beszámol az UKCP09 modellben használt sajtósági hőhullám fogalomról. A modellbe a következő hőhullám küszöbértékeket építették bele: a nappali maximumhőmérséklet meghaladja a 30°C-ot, az éjszakai minimumhőmérséklet pedig 15°C felett alakul nem kevesebb, mint három napig. Ugyanezen az oldalon található a Meteorológiai Világszervezet (WMO) javasolt definíciója, mi szerint akkor beszélhetünk hőhullámról, ha „a napi maximumhőmérséklet legalább öt egymást követő napon 5°C-kal meghaladja az átlagos maximumhőmérsékletet”. Az átlagos maximumhőmérsékletek kiszámításához az 1961-től 1990-ig terjedő időszakot veszik alapul (<http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/>).

Az Amerikai Egyesült Államok területére a nagy kiterjedés miatt egyáltalán nem könnyű egységes hőhullám-definíciót alkotni. Egy ekkora terület esetén két lehetőség van: vagy túlságosan általános lesz a definíció, mint amilyeneket feljebb olvashattunk, vagy nagyon komplex, a laikusok számára nehezen érthető. Ennek ellenére fontos a tudományos definíció megalkotása, mert megfelelő meghatározás hiányában lehetetlen kellő precizitással megbecsülni a hőhullámok múltbeli hatásait, és megfelelő pontossággal előrejelezni a jövőben várható következményeiket. Habár a hőhullám meteorológiai jelenség, meghatározása során mégis fontos figyelembe venni az emberi szervezetre gyakorolt hatását. Ezért a minimum-, maximum-, illetve átlagos hőmérsékletek küszöbként való használata helyett létrehozták a hő-indexet (H_i). Ennek alapjául a látszólagos hőmérsékletet (T_a , apparent temperature) választották, mely segítségével megbecsülhető az emberi test hőérzete. Ezt fejlesztették tovább céljaiknak megfelelően, és hívták életre az új indexet. Az indexet a T_a -hoz hasonlóan a levegő hőmérsékletéből és a relatív nedvességből számolják ki, azonban képlete ennél lényegesen bonyolultabb. A National Weather Service (NWS) megfigyelő és előrejelző rendszerébe a következő – hőhullámot meghatározó - kritériumokat építette be. A nappali maximum H_i értékek meghaladják a 105°F-et (40,6°C), az éjszakai minimumok pedig 80°F (26,7°C) felett alakulnak - legalább két napig. Ezt a meghatározást vették a további definíciók alapjául, mely érvényes az USA nagy részére; azon területek kivételével, ahol a klimatikus feltételekből adódóan a határértékeket gyakran túllépik, illetve azokon a hűvösebb

területeken, ahol az adott éghajlaton extrémnek tekintett körülmények nem haladják meg a felállított küszöbértéket. Azért, hogy általános érvényű definíciót hozzanak létre, négy csoportot állítottak fel, és minden állomást az éghajlatának megfelelő csoportba soroltak be. Az 1. a) ábra a csoportosítás alapgondolatát, míg az 1. b) ábra az USA-ra kiterjesztett változatát szemlélteti. A csoportosítás nemcsak a hőhullámot értelmezi, hanem korlátok közé szorítja a „hot spell” (kánikula) és a riasztási kötelezettséggel járó „warm spell” (meleg időszak) kifejezések használatát is.



1. ábra

(Forrás: Peter J. Robinson, 2001)

A fent alapdefinícióként megadott korlátot itt N jelöli, mely minden csoportban más-más intervallumoknak szab határt. A százalékos határvonalak pedig a - H_i által felvett - abszolút maximumtól való eltérést adják meg. Például az 1. b) ábra Sequence 4-es csoportjában az abszolút maximumtól vett 0-1%-os eltérések esetén beszélünk hőhullámról, ha pedig ennél kevésbé közelítik meg a mért értékek a maximális értéket, tehát 1-2% közé esik az eltérés, akkor beszélünk kánikuláról (Robinson, 2000).

Magyarországon az Országos Környezetegészségügyi Intézet (OKI) által használt, számomra is követendő definíció a következő. Akkor illetünk egy, az átlagosnál melegebb periódust a hőhullám kifejezéssel, ha „a napi átlaghőmérséklet legalább három egymást követő napon meghaladja a 25°C-ot”. A definíció alapja az 1970 és 2000 között eltelt több mint 30 évet átölelő időszak, meteorológiai és halálozási adatainak elemzése. (A küszöb megválasztása a többlethalálozás várható értékén alapult, 25°C feletti átlaghőmérséklet

várhatóan 15%-os halálzárnövekedést okoz.) Az így létrehozott definíció egy fix küszöbértékes meghatározás, mely kis területen praktikus, jól használható (Páldy és Bobvos, 2008).

2.2. Egészségi hatások

2.2.1. Az emberi hőszabályozás folyamata

A hőszabályozás nagyon komplex és rendkívül fontos folyamat. Az emberi testhőmérséklet állandó, tehát szervezetünk – a csekély napi ingadozástól eltekintve – hideg és meleg környezeti feltételek mellett is törekszik arra, hogy 37°C-on tartsa hőmérsékletét. A testhőmérséklet eloszlása nem egyenletes, a test maghőmérséklete a legmagasabb, és kifelé csökken, így a testfelületen a legalacsonyabb. Elsősorban az agy, illetve a belső szervek igénylik az állandó testhőmérsékletet, a bőrfelszín hőmérséklete már sokkal szélesebb skálán mozoghat (Schuh, 2009).

A stabil testhőmérséklet két tényező egymásra hatásának a következménye. Ezek a tényezők a szervezetünk anyagcsere folyamataiból adódó hőtermelés és a környezetünk felé történő hőleadás, melyek folyamatosan változó teljesítményt mutatnak. Ha az egyensúly a két tényező között valamely irányba eltolódik, az szervezetünkre nézve káros következményekkel járhat. A hőtermelés a hőleadáshoz csak a hőtermelés fokozásával tud alkalmazkodni. Testünk hőleadásra van berendezkedve, és ezt nem képes egy szinten túl csökkenteni. Csökkenthető viszont a hőtermelés az izomtónusok elnyesztésével, míg izommunkával, illetve az anyagcsere-folyamat fokozásával növelhető.

A hőleadást négy fizikai folyamat szabályozza: a radiáció, a konvekció, a kondukción és a prespiráció. Egy közömbös környezeti feltételeknek kitett, nyugalmi állapotban lévő emberi test hőleadásának legnagyobb része kisugárással történik, ezt követi a párologtatás, míg a konvekciónak és a kondukciónak jut a legkevesebb szerep. Magas külső hőmérséklet esetén megnő az emberi test hőmérséklete, aminek következtében fokozódik a hőleadás. Ezekben az esetekben a párologtatás, illetve verejtékezés válik a hőleadás fő mechanizmusává. Megnő a nyugalmi vízvesztés, ezért nagyon fontos odafigyelni a folyadékpótlásra, mert a vízpótlás a megfelelő sók nélkül hőártalmakat okozhat. Nem csak a külső hőmérséklet növelheti meg testhőmérsékletünket, hanem a fokozott hőtermelés is, melynek például oka lehet a láz és a

fizikai munka egyaránt. A leírt tényezők a hőmérsékleti indexek megalkotásakor kapnak jelentőséget.

A hő érzékelését a bőr végzi, így az, hogy hidegnek vagy melegnek érzünk-e valamit, bőrünk hőmérsékletétől függ. A bőr hőmérsékletét a rajta időegység alatt átáramló vér mennyisége határozza meg. Ha meleg környezetbe kerülünk, bőrünk hőmérséklete megnő, és ez meleg érzetét kelti számunkra. A hő érzékeléséért meleg- és hidegreceptorok felelősek; az utóbbiak a bőr felületéhez közelebb, míg az előbbiek attól távolabb helyezkednek el. A bőr rossz hővezető, ezért egyaránt véd a felmelegedéstől és a lehűléstől.

Az indifferens hőmérséklet az a külső hőmérséklet, amelyet semlegesnek érzünk (se nem meleg, se nem hideg). Ekkor a nyugalomban lévő testből a hőleadás során csak a fölöslegesen termelt többlet hő távozik. A többlet hőtermelés következtében a testhőmérsékletnél mindig alacsonyabb az indifferens hőmérséklet. Az indifferenciafok függ a testet körülvevő közeg hővezető képességétől (vízben magasabb, mint levegőben), illetve a bőr hőmérsékletétől, mely testtájanként más és más (hastájékon például magasabb, mint lábon). A hővezető képességben rejlik annak magyarázata, hogy a páradús levegőt hidegebbnek, illetve melegebbnek érezzük, mint az ugyanolyan hőmérsékletű hideg száraz, illetve meleg száraz levegőt. Később látni fogjuk, hogy az indexek többségében fontos bemenő paraméterként szerepel a páratartalom, vagy az ezzel kapcsolatos hőmérsékleti fogalom, a harmatpont (T_d).

A külső hőbehatás először a bőrben áramló vér temperáló hatásával kerül szembe, majd a jelentkező bőr-hyperaemia fokozza a védekezést. Hirtelen nagy meleg hatására először vasoconstrictio azaz összehúzódás megy végbe, melyet azonnal követ a vasodilatatio (kitágulás). Enyhe meleg hatásra viszont csak vasodilatatio következik be (Magyar és Petrányi, 1977).

A melegártalmakat két nagyobb csoportra oszthatjuk: az égési sérülésekre és a hőházartás zavaraiából adódó megbetegedésekre. Számunkra ezek az utóbbiak lesznek érdekesek. Hőpangásról akkor beszélünk, ha a szervezet nem képes leadni a feleslegesen termelt hőmennyiséget, aminek következtében a testhőmérséklet a normális szint fölé emelkedik. Ez előfordulhat magas kültéri hőmérséklet, fokozott hőtermelés (izommunka), gátolt hőleadás (ruházat), magas páratartalom, szélcsend vagy gyenge légmozgás esetén. A hőpangás 41°C -os testhőmérséklet felett válik az emberi szervezet számára kritikussá. Veszélyeztetett csoportok a csecsemők és kisgyermek, az idősek illetve a krónikus betegségekben szenvedők. A hőpangásnak két típusát különböztethetjük meg: a hőkimerülést és a hőségutát. (A hőséguta a hőpangás legsúlyosabb változata, mely maradandó idegrendszeri

károsodást okozhat.) Erős izzadás hatására a szervezet sok folyadékot és sót veszíthet, aminek hatására hőséggörcs alakulhat ki. A magyar időjárási viszonyok közt klasszikus hőkimerülés ritkán fordul elő, rendszerint valamilyen veszélyeztető állapot (időskor, értágító vagy diuretikus kezelés, alkoholhatás, intenzív fizikai munka, kitartó sport) fennállása esetén alakul ki. Napszúrás esetén a fedetlen fejet tartósan érő napsugárzás helyi hőmérséklet-többletet okoz, mely fejfájással, kábultsággal, szédüléssel, hányingerrel, hőemelkedéssel, súlyos esetben lázzal járhat. Az enyhe esetek gyakoriak. A hőség-collapsus, azaz az ájulás, múlt eszméletvesztés a leggyakoribb hőártalom hazánkban (Hornyák, 2008).

(A hideg emberi testre gyakorolt hatása a későbbiekben érdektelen a szakdolgozatom szempontjából, ezért ennek ismertetésétől most eltekintek.)

2.2.2. A klímaváltozás hatásai

Míg az éghajlat változásának tényét a múlt század végén még számos tudós vitatta, addig mára általánosan elfogadott nézetté vált. Az ENSZ Klímaváltozás Kormányközi Bizottsága jelentéseiben egyre nagyobb jelentőséget kapott a klímaváltozással járó egészségi hatások vizsgálata. Fontosságát az 1999-es 3. Környezetvédelmi és Egészségügyi Miniszteri Konferencia (London,1999) is felismerte, és az általuk megfogalmazott ajánlásokra építette fel programját a WHO (Páldy és Bobvos, 2003). Tíz évvel később az Európai Közösségek Bizottsága által kiadott Fehér könyvben (alcíme: Az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás: egy európai fellépési keret felé) a következőt olvashatjuk: „Az uniós alkalmazkodási keret célja javítani az EU ellenálló képességét az éghajlatváltozás hatásaival szemben. Ez a keret tiszteletben tartja a szubszidiaritás elvét, és szolgálja az EU olyan átfogó céljait, mint a fenntartható fejlődés” (<http://ec.europa.eu/>). Az idézet alapján elmondható, hogy az Európai Unió felismerte a klímaváltozás tényének jelentőségét, és hosszú távú céljainak elérése érdekében hajlandó lépéseket tenni az antropogén tényezők csökkentésére és a jövőben várható káros egészségi hatások kivédésére.

A Fehér könyv kísérőjeként elkészült a Bizottsági Szolgálati Munkadokumentum, amely az éghajlatváltozás emberekre, állatokra és növényekre gyakorolt egészségi hatásaival foglalkozik (<http://ec.europa.eu/>). Az eddig elvégzett vizsgálatok alapján várható, hogy több betegség és egészségi probléma epidemiológiai jellemzői módosulni fognak, illetve eltérő mértékben jelentkeznek majd Európa különböző területein. A dokumentum az emberi egészségre gyakorolt hatásokat közvetlen és közvetett csoportokra osztja. Az előbbi kategóriába tartoznak a környezet hőmérsékleti adottságaiból eredő fiziológiai

következmények. Az utóbbiba: a vektorok által terjesztett betegségek (pl. kullancsok – Lyme-kór és agyvelőgyulladás, szúnyogok – malária) terjedése és a veszélyeztetett terület módosulása, az emberi viselkedés megváltozása (kényszermigráció), a vízzel kapcsolatos problémák megszorodása (árvizek, víz által terjesztett járványok, növekvő bakteriális és vegyi fertőzésveszély), a mentális megbetegedések gyakoribbá válása (a katasztrófahelyzetek pszichológiai hatásai), az UV sugárzás kitettségi idejének megnövekedése következtében egyes megbetegedések (rosszindulatú melanóma és a szürkehályog) gyakoribbá válása, a légköri allergének megjelenésének szezonális változása, illetve az élelmiszerek útján terjedő fertőzések (salmonellosis) megszorodása, melyeket Magyarországi tanulmányok is megerősítenek (Páldy és Bobvos, 2008).

Az éghajlat megváltozásának természetesen vannak pozitív és negatív hatásai. Pozitív következmény például a mérsékelt övi területeken a téli hideghez kapcsolható halálozás csökkenése, ugyanakkor negatív hatás a hóhullámok folytán jelentkező nyári halálozási növekmény. Számunkra valójában az a döntő, hogy mely hatások kerülnek túlsúlyba. A szakemberek egybehangzó véleménye alapján azt a választ kapjuk, hogy összességében a klímaváltozás károsan befolyásolja az egészségi állapotot (Páldy et al., 2003).

A globális felmelegedéshez kapcsolódó általános aggodalom, hogy a hóhullámok gyakorisága, súlyossága és időtartama növekedni fog, miközben szintén nő az érintett területek mérete, vagy áthelyeződnek a veszélyzónák (Robinson, 2000).

Az Egészségügyi Világszervezet kimutatta, hogy a klímaváltozás növelte a hasmenéses illetve maláriás megbetegedések számát (a közepes jövedelmű országokban), a teljes betegségterhet megbecsülve pedig arra az eredményre jutottak, hogy 2000-ben 150000 többlet halálozás történt.

A jólét és az egészség között szoros összefüggés áll fenn, így a jövedelem, a lakhatás, az életmód, a munkakörülmények és az oktatás mind-mind befolyásolhatják a klímaváltozás hatásait. Nagy valószínűséggel fokozódni fognak az országok közötti, illetve az egyes társadalmi csoportok közötti egészségügyi egyenlőtlenségek. A legveszélyeztetettebbek az éghajlatváltozás hatásaival szemben az alacsonyabb jövedelmű csoportok, és ezen a csoporton belül kiemelten: az idősek, a gyermekek, a nők, a betegek és a szabadban dolgozók (Európai Közösségek Bizottsága: Bizottsági Szolgálati Munkadokumentum, 2009).

Magyarországon a Nemzeti Környezet-egészségügyi Akcióprogram keretein belül indultak meg a kutatások, többek között a hőmérséklet és a napi halálozás kapcsolatáról is. Az eredményeket az Agro-21 Füzetekben A klímaváltozás egészségügyi hatásai című cikkben publikálták. Statisztikai módszerekkel keresték az összefüggést a hőmérséklet és a napi

halálozási adatok között Budapest esetén. Az 1970-2000 közötti adatok alapján megállapították, hogy az időjárási tényezők közül a hőmérséklet hatása a legfontosabb. Szintén budapesti adatok vizsgálata során nem volt kimutatható a „harvesting” hatás, ami a hőhullámok utáni időszakban a halálozás csökkenéseként nyilvánul meg (mediterrán térségekben jellemző), ami megerősíti a hőhullámok okozta többlet halálozás tényét, mert arra enged következtetni, hogy az extrém időjárási feltételek nem csak néhány nappal rövidítették meg az emberi életet (Páldy és Bobvos, 2008).

Mindannyian tudjuk, hogy az emberiség képes adaptálódni a nagyon különböző éghajlati körülményekhez. De hosszú időnek kellett eltelnie ahhoz, hogy az egyes területek éghajlatához a legjobban alkalmazkodjunk (például: a bőr-, haj-, szemszín, testmagasság és alkat terén). Ha szokatlan klimatikus körülmények közé kerülünk, az először nagyon megterheli a szervezetünket, azonban bizonyos idő elteltével már kezdünk hozzászokni a körülményekhez (illetve megváltozik viselkedésünk, és felvesszük a helyi „védekezési” szokásokat). Természetesen az alkalmazkodási idő függ attól, hogy mennyire különböznek az új feltételek a régiektől. A jelenleg zajló felmelegedés azt eredményezi, hogy a hely megváltoztatása nélkül szembesülünk eddig szokatlan időjárási eseményekkel.

A Kárpát-medencében az éghajlatváltozás következtében melegedésre utaló tendenciák jellemzőek. Az 1961-2001 időszak adatsorainak elemzése alapján a legnagyobb mértékben a meleg napok, a nyári napok, a hőségnapok illetve a meleg éjszakák száma növekedett. Nőtt továbbá a hőhullámok hossza. Az Európai Unió V. keretprogramjához tartozó PRUDENCE projekt arra az eredményre jutott, hogy a Kárpát-medence hőmérséklete egyértelműen melegedő tendenciát mutat, mely nyáron és ősszel nagyobb lesz az éves átlagnál (Bartholy et al., 2007). Ha nagyobb ütemben növekednek a nyári hőmérsékletek, az növeli a különbségeket (az évszakok között), és kedvez a hőhullámok kialakulásának.

Kutatások folynak az adaptációs képességek felmérésére. Eddig a hosszú távú adaptációt nem tudták adatsorokból kimutatni, ellenben sikerült bizonyítani, hogy növekszik az adaptációs képesség a nyár folyamán. Tehát egy adott hőhullám, ha májusban következik be, nagy valószínűséggel nagyobb halálozási többletet idéz elő, mintha ugyanaz a hőhullám augusztusban érkezne. Azt is kimutatták, hogy azokon a területeken reagál érzékenyebben a lakosság a hőhullámokra, ahol viszonylag ritkán fordulnak elő (Conti et al., 2005).

A szélsőséges időjárási helyzetek megszorodásának nagyon fontos figyelmet szentelni, mert nemcsak az idősek, krónikus betegek és csecsemők vannak veszélyben, hanem bárkinél érzékeny, majd sérülékeny állapotot idézhet elő. Ezek elkerülése érdekében alakították ki egyre több országban és nagy városokban úgynevezett hőségriasztási rendszert

(1981, Lisszabon; 1995, Philadelphia). Hazánkban 2000-ben indult meg a klímaváltozás egészségkárosító hatásainak vizsgálata a Nemzeti Környezet-egészségügyi Akcióprogram keretein belül. A vizsgálatok kitértek a fent felsorolt közvetlen és közvetett hatásokra egyaránt. Négy évvel később az EC FP5-ös keretprogramja által támogatott PHEWE kutatási program keretén belül kiépítettek Budapesten egy időjárás-egészségi hatás-előrejelző rendszert. Hazánkban ma háromfokozatú riasztási rendszer működik, amely az egészségi kockázat növekedésén alapul. A kísérleti fázisban a nyári időszakban minden nap érkezett jelentés a kockázat növekedéséről a Birminghami Egyetem Meteorológiai Tanszékéről. Az Országos Környezetegészségügyi Intézet (OKI) az előrejelzés és az OMSZ hazai prognózisa alapján döntött a riasztási fokozat elrendeléséről, melyet továbbított az országos tisztifőorvosnak, aki tájékoztatta a megfelelő intézményeket és a lakosságot az egészségi kockázatokról. A PHEWE programtámogatás megszűnte után a hőségriasztás alapját képező meteorológiai előrejelzést az OMSZ küldi az OKI-nak. A riasztás folyamata változatlanul működik.

Riasztási fokozatok: figyelmeztető jelzést belső használatra akkor adnak ki, hogyha az előrejelzések alapján 15%-os halálzárnövekedés várható az adott napon. Készültségi jelzést és a lakosság számára riasztást akkor adnak ki, ha a halálzárnövekedés várhatóan három napon keresztül meghaladja majd a 15%-ot, vagy pedig egy adott napon várhatóan 30% lesz. Riadó jelzést akkor adnak ki, ha három egymást követő napon eléri a halálzárnövekedés kockázata a 30%-ot (ez többek között az 179/1999. (XII. 10) Korm. rendelet 5 § 2. bk. a) pontja alapján „rendkívüli időjárási helyzet”-nek felel meg). Az egyes halálzárnövekedéseket napi középhőmérsékleteknek is megfeleltetik, így a 15%-ot a 25°C-hoz, a 30%-ot pedig a 27°C-hoz rendelik (<http://www.antsz.hu/>).

2.3. A termikus indexek ismertetése

Az emberi test és a környezete közötti hőátvitel leírására számtalan hőmérsékleti indexet fejlesztettek ki az elmúlt években. Az emberi test hőszabályozásával már a 2.2.2. fejezetben foglalkoztam, ezért itt csak a legfontosabb környezeti tényezőket veszem sorra. Ezek: a léghőmérséklet, a sugárzási hőmérséklet, a szélesség és a levegő páratartalma. Nagyon fontos a felhasználandó indexek kiválasztásánál, hogy minden index más-más specifikációval rendelkezik. A különbségek abból következnek, hogy az egyes indexek más-más célból lettek kifejlesztve. Ezért nagyon fontos, hogy kellő körültekintéssel válasszuk ki az indexet vagy az indexeket az általunk végezni kívánt munkához. A hőmérsékleti indexek három csoportba

sorolhatók: racionális (vagy analitikus), empirikus és direkt indexeket különböztethetünk meg.

A racionális indexek alapja az emberi test termikus egyensúlya, melyet a következő képlettel írhatunk fel:

$$M \pm K \pm C \pm R - E = S$$

ahol M az anyagcsere folyamat kapcsán termelt hőmennyiség, K a kondukcióból, C a konvekcióból, míg R a sugárzásból származó hő. E a párolgási hőveszteség (bőrön és légzőszerveken keresztül elpárolgatott nedvesség hőelvonása), S pedig a szervezet hőtárolása. A felírt egyenlet alapján becsülik meg a racionális indexek az emberi test válaszát a hideg, semleges vagy meleg környezetek esetén. A hőtárolási képesség (S) szabja meg, hogy milyen lesz a test maghőmérséklete, ha S nulla, a test hőegyensúlyban van, ha pozitív, nőni, ha negatív, csökkenni fog a test belső hőmérséklete (Harrington és Garrdiner, 1980). A felsorolt tényezők azonban nem elegendők a pontos meghatározáshoz. Figyelembe kell venni ezeken felül még a ruházatot, az aktivitást és a környezeti jellemzőket. Ha a felsorolt összes tényező ismert vagy előrejelezhető, akkor meg tudjuk adni vagy becsülni a hőérzetet. Ezt a gondolatmenetet a dán Povl Ole Fanger alkotta meg, aki egy ideig a Syracuse Egyetem professzora volt (Fanger, 1972).

Az empirikus indexeknek az emberi tapasztalatok szolgálnak alapul. Különböző körülmények közé helyezett alanyoktól gyűjtenek információt a pillanatnyi hőérzetükről, és az így nyert adatok alapján felállítanak egy skálát. Empirikus index például az effektív hőmérséklet (ET, Effective Temperature) és a korrigált effektív hőmérséklet (CET, Correded Effective Temperature). Az ilyen típusú indexek értékei tapasztalati jóslatokat adnak a komfortérzetről, illetve a hőstressz mértékéről, figyelembe véve a különböző hőmérsékleti viszonyokat és a ruházatot (Harrington és Garrdiner, 1980). Míg az ET és CET indexek kifejlesztésük körülményeiből kifolyólag nem veszik figyelembe az aktivitást, addig a prediktált hőérzet index (PMV, Predicted Mean Vote) már úgy lett létrehozva, hogy függjön a munkavégzés mértékétől is. Bővebben a 2.3.3.-as fejezetben foglalkozom az ismertetésével.

A direkt indexek mindegyike egy-egy mérőműszerhez köthető. Például a legismertebb ilyen index a léghőmérséklet, mely bizonyos mértékben reprezentálja a komfortérzetet, azonban tapasztalataink alapján is tudhatjuk, hogy ez a mérték elég kicsi (Harrington és Garrdiner, 1980). Például -30°C esetén egyértelműen hideg stresszt fogunk érezni, még akkor is, ha nem egy vékony pulóver van rajtunk, hanem vastag kabátot viselünk, illetve ha növeljük aktivitásunkat, és például elkezdünk fát vágni az udvaron. Ami azonban ezeknél a

könnyen változtatható tényezőknél fontosabb, pl. a szél sebessége, illetve a levegő páratartalma, ami tovább növelheti a minket érő hideg stressz mértékét. Ha mindezeket 20°C esetén gondoljuk végig, akkor egy szál vékony pulóverben kellemesen is érezhetjük magunkat, míg ha elkezdünk fát vágni, csökken a komfortérzetünk, mert meleg stressznek lesz szervezetünk kitéve. Ha azonban elkezdi fújni a szél, már hideg stresszes állapotba kerülünk. Az egyre modernebb direkt indexek fejlesztésekor már egyre több meteorológiai tényezőt próbáltak meg figyelembe venni, így egyre összetettebb, de alapvetően egyszerű műszereket hoztak létre. A direkt indexek közé soroljuk a WBGT indexet (Wet Bulb Globe Temperature), melyről a 2.3.2. fejezetben lesz bővebben szó.

2.3.1 A léghőmérséklet (Air Temperature)

A legtöbbször használt meteorológiai paraméter, melyet az előző fejezet felosztása alapján a direkt indexek közé sorolunk. Mérését a hagyományos szabvány szerint 2 méter magasságban, hőmérőházban elhelyezett hőmérővel végzik. A házikóra azért van szükség, hogy védelmet nyújtson a szél és a csapadék befolyásoló hatásával szemben. Például, ha a mérőeszközünkre csapadék hull, akkor a vízmennyiség elpárolgása során hőt von el a műszertől, és ezzel befolyásolja a mérési eredményeket. A léghőmérsékletet hazánkban Celsius-fokban mérik, és egy tizedes pontossággal továbbítják az adatgyűjtő központokba. Az összegyűjtött mérési eredményekből számolnak később átlaghőmérsékletet (T_a).

A napi minimum- és maximumhőmérsékleteket külön erre a célra kifejlesztett hőmérőkkel mérik, általában 12 órás intervallumokban előző nap 18 UTC-től 6 UTC-ig a minimumhőmérsékletet (T_n), és 6 UTC-től 18 UTC-ig a maximumhőmérsékletet (T_x).



1.-2. kép: Stevenson-féle hőmérőházak: a bal oldali kép a MILOS-500 automatával felszerelt baja-csávolyi, a jobb oldali pedig a Budapest, Kiatibél Pál utcai hőmérőház (hagyományos T , T_w , T_n , T_x hőmérőkkel).

2.3.2. A WBGT index (Wet Bulb Globe Temperature)

A WBGT indexet az 1950-es években fejlesztették ki az Egyesült Államokban, Dél-Karolinában a tengerészgyalogosok egészségének megóvása érdekében. A kutatók később gyakran használták, ezért széles körben elterjedt a WBGT mint általános hőterhelési index. Figyelembevétele ajánlott például sportesemények rendezésekor, amikor fokozott hőstressznek vannak kitéve a versenyzők. Gyakran beépítették munkahelyi egészségvédelmi és biztonsági előírásokba, a hazai gyakorlatban is szerepet kapott.

A WBGT indexnek két fajtája van: kültéri (1) és beltéri (2), melyeket különböző képletek alapján számítunk ki. Megadásukhoz mindössze három különböző hőmérsékletmérésre van szükség.

$$\text{WBGT} = 0,7T_w + 0,2T_g + 0,1T_a \quad (1)$$

$$\text{WBGT} = 0,7T_w + 0,3T_g \quad (2)$$

A T_w jelölés a természetes (nem védik a mérőeszközt a széltől és a sugárzástól) nedves hőmérsékletet jelenti, ami a páratartalmat, a szélesebességet és a sugárzási viszonyokat hivatott mérni. A T_g a radiációs hőmérséklet (150 mm átmérőjű fekete gömb méri, a közepén egy hőmérővel), ami a sugárzás és szél hatását képes figyelembe venni, és T_a a száraz hőmérő hőmérséklete (Harrington és Garrdiner, 1980).

Az indexek csoportosítása során már említettem, hogy a WBGT egy direkt index, ennek megfelelően tartozik hozzá egy mérőműszer, mely a gyakorlatban egy három részből álló műszeregyüttes.



3. kép: Macquarie Egyetem műszere a WBGT index méréséhez.

Az OMSZ állomásain sajnos nincsenek a képen láthatóhoz hasonló műszeregyüttesek, és nem mérik a radiációs hőmérsékletet. Nemcsak Magyarországon nem folynak ilyen mérések, ezért a kutatók megpróbálták a WBGT megadásához más képletet is megalkotni:

$$\text{WBGT} = 0,567T_a + 0,393e + 3,94 \quad (3)$$

T_a a már említett száraz hőmérő hőmérséklete, e pedig a vízgőz nyomása hPa-ban kifejezve. Az e -t a relatív páratartalomból (jele: p) a következő képlettel számolhatjuk ki.

$$e = p/100 * 6,105 * \exp(17,27 * T_a / (237,7 + T_a)) \quad (4)$$

A (3)-as egyenlet alapján kiszámított WBGT index sajnos nem képes figyelembe venni a nap sugárzásának és a szél intenzitásának a változását, ezért mindkét tényezőt egy közepes szintet vélelmez. Ebből kifolyólag pontatlan becslést ad a hőstressz értékére. (Túlbecslés leginkább felhős, szeles időben, illetve akkor következik be, ha a nap a horizont közelében vagy az alatt van.) (<http://www.bom.gov.au/>) Az említett pontatlanságok ellenére is megpróbálunk kapcsolatot keresni az index és a halálozási adatok között.

2.3.3. A PMV (Predicted Mean Vote) és a PET index (Physiological Equivalent Temperature)

A PMV (prediktált hőérzet index) és PET (fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet) a bioklimatológiában a leggyakrabban használt indexek. Míg a PMV egy empirikus index, addig a PET az emberi test energiaegyenlegének modellezéséből született, így a racionális indexek közé tartozik. „A PET annak a zárt helyiségnek a hőmérsékleteként értelmezhető, amely bizonyos klimatikus és fiziológiai állandó paraméterek mellett ugyanazt a hőterhelést fejt ki az emberi szervezetre, mint a testet éppen aktuálisan körülvevő (külső) környezet” (Unger és Gulyás, 2005), (Höppe, 1999). A PMV egy 8 fokozatú skálán adja meg a termális környezet hatására kialakuló hőérzetet (Fanger, 1972).

A felhasználóbarát kiszámítás érdekében született meg a Freiburgi Egyetem Meteorológiai Intézete által készített RayMan modell. A modellnek beviteli adatként meg kell adni a meteorológiai paramétereken (léghőmérséklet, relatív páratartalom, szélesség, felhőzet) kívül a földrajzi koordinátákat, a személyi, ruházati és aktivitási adatokat. Az adatok alapján a modell először kiszámolja a sugárzási hőmérsékletet (Mean Radiant Temperature) T_{mrt} , ami az emberi energiaegyenleg legfontosabb tényezője, főként napsütéses

időben (Matzarakis et al. 1999). (A Tmrt a PET kiszámításához elengedhetetlen.) A PET azt a

PMV	PET (°C)	hőérzet	fiziológiai stressz szint
-3.5	4	nagyon hideg	extrém hideg stressz
	
-2.5	8	hideg	erős hideg stressz
	
-1.5	13	hűvös	közepesen hideg stressz
	
-0.5	18	kissé hűvös	gyenge hideg stressz
	
0.5	23	komfortos	nincs termikus stressz
	
1.5	29	kissé meleg	gyenge meleg stressz
	
2.5	35	meleg	közepesen meleg stressz
	
3.5	41	forró	erős meleg stressz
	
		nagyon forró	extrém meleg stressz

hőmérsékletet adja meg °C-ban, amely az adott emberi test élettani állapotának megfelel. A PMV a PET-nél nehezebben használható, mert eredetileg beltéri környezetben végezték az adatgyűjtést, és később terjesztették ki a kapott eredményeket (kültérre). A kapott eredmények kiértékeléséhez elengedhetetlen a következő táblázat:

1. táblázat: A hőérzet és a fiziológiai stressz kapcsolata, illetve a PMV és PET küszöbértékek. (Mayer és Matzarakis, 1998)

2.3.4. Az AT (Apparent Temperature) és az AT_{max} (Maximum Apparent Temperature)

1979-ben Steadman és munkatársai alkották meg az apparent temperature fogalmát. A relatív kényelmetlenségi érzetet határozták meg vele, melyet a hőmérséklettől és a harmatponttól tettek függővé. Az apparent temperature magyar fordítása a „látszólagos” hőmérséklet, melyet rövidítsünk a továbbiakban AT-vel, illetve a maximális „látszólagos” hőmérsékletet AT_{max}-szal (Baccini et al., 2008).

Az AT és AT_{max} képlete a következő:

$$AT = -2,653 + (0,994 * T_a) + (0,0153 * T_d^2) \quad (1)$$

$$AT_{max} = -2,653 + (0,994 * T_x) + (0,0153 * T_d^2) \quad (2)$$

ahol T_a a levegő átlag hőmérséklete, T_d a harmatpont, T_x pedig a napi maximumhőmérséklet °C-ban kifejezve. A harmatpont a képletekben a levegő nedvességtartalmának kifejezésére szolgál, mely fontos befolyásoló tényezője az emberi komfortérzetnek.

Számításaim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az AT értéke akkor van a legközelebb a valós hőmérséklethez, ha a harmatpont 13-14°C közé esik. Ekkor a fenti kifejezésben megadott harmatpontot tartalmazó tag kis eltérésekkel megegyezik az első (-2,653) taggal. Ha a harmatpont magasabb, mint 14°C, akkor nagyobb, ha alacsonyabb, akkor kisebb lesz az AT az aktuális hőmérsékletnél. Ha az AT 27°C feletti értéket vesz fel, az már a megnövekedett fiziológiai terhelés következtében kényelmetlenség érzetét kelti. A 41°C-ot

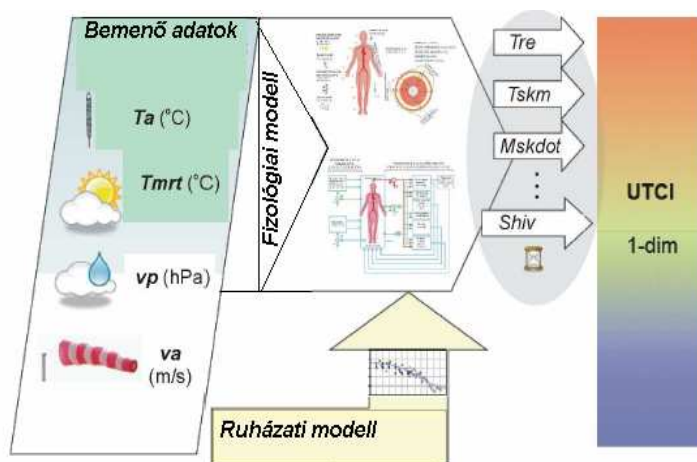
meghaladó AT értéknek már életveszélyes kockázatai vannak, melyek kortól, egészségi állapottól és testfelépítéstől függően más-más csoportokra jelentenek veszélyt.

2.3.5. Az UTCI index (Universal Thermal Climate Index)

1999-ben a Nemzetközi Biometeorológiai Társaság (ISB) felállított egy bizottságot, mely azt a feladatot kapta, hogy fejlessze ki az UTCI indexet. Az erre irányuló erőfeszítéseket 2005-től az European COST 730 Action (Cooperation in Science and Technical Development) is támogatta, összehozva a vezető tudósokat a humán termofiziológia, fiziológiai modellezés, meteorológia és klimatológia területén. Az új index létrehozása akkor éri el célját, ha kiszorítja a használatban lévő korszerűtlen indexeket és bekerül a mindennapi használatba. Mert ma még a tanulmányok készítői és eredményeik felhasználói között nincs általánosan elfogadott index. Ezt a hiányosságot szerette volna orvosolni a Nemzetközi Biometeorológiai Társaság.

Az UTCI az a levegőhőmérséklet, amely az emberi szervezet számára ugyanazt a hőterhet jelentené, mint az aktuális környezete. Tehát a test mindkét esetben ugyanazt a dinamikus fiziológiai választ adja. (A PET-hez hasonlóan a racionális indexek közé soroljuk.) Az UTCI indexet úgy fejlesztették ki, hogy széleskörű kinti időjárási feltételek között megjósolja az átlagos emberi termofiziológiai magatartást.

Nevében az univerzális kifejezés arra utal, hogy bármely külső környezet hőmérsékleti feltételeinek megítélésére alkalmas. Minden klímafajtára, minden évszakra, minden napszakra ugyanúgy alkalmazható, valamint képes értelmezni az akklimatizáció folyamatát is (Jendritzky et al., 2007).



2. ábra: Az UTCI index kiszámításának vázlatja

Az UTCI alapjául a Fiala többcsomós modellt választották, amely az emberi szervezetet két csoportra osztja: irányító (aktív) és irányított (passzív) rendszerre. A modell egy átlag emberre (73,5 kg-os testsúly, 14%-os testzsírtartalom, 1,86 négyzetméteres Dubois-area) számítja ki az UTCI értékeket. „Passzív rendszere adja a test felépítését (testelemek, szövetsomók), míg aktív rendszere a központi idegrendszer termoregulációs válaszát jósolja meg”. A megjósolt reakciókat, (mint például a didergési hőtermelés, az izzadás nedvesség-kiválasztása, a bőrben futó erek összehúzódása és kitágulása) megfelelteti egy bizonyos komfortérzetnek, és ehhez rendel UTCI határértékeket (°C-ban). Az UTCI ekvivalens hőmérséklet kiszámításához az UTCI Calculatornak meg kell adni a meteorológiai paramétereket: a levegő hőmérsékletét (°C), az átlagos sugárzási hőmérsékletet (°C), a vízgőznyomást (hPa) vagy a relatív páratartalmat (%), és végül a szélsébséget (m/s) (a ruházati modell bele van építve) (<http://www.utci.org/>).

UTCI (°C)	Stressz kategóriák
+46 felett	Extrém meleg stressz
+38-tól +46-ig	Nagyon erős meleg stressz
+32-től +38-ig	Erős meleg stressz
+26-től +32-ig	Enyhe meleg stressz
+9-től +26-ig	Nincs hőstressz
+9-től 0-ig	Csekély hideg stressz
0-től -13-ig	Enyhe hideg stressz
-13-től -27-ig	Erős hideg stressz
-27-től -40-ig	Nagyon erős hideg stressz
-40 alatt	Extrém hideg stressz

2. táblázat: Az UTCI index értékeinek megfeleltetett stressz kategóriák.

2.4. Városi hősziget

„...a városi környezetben tapasztalható hősziget jelenség nem közömbös fiziológiai szempontból a városban élők számára” (Unger, Gulyás és Matzarakis, 2005). A mikroklimatikus körülményeket a városok nagymértékben megváltoztatták az eredeti természetes viszonyokhoz képest. A hősziget a város és a környezete között mért hőmérsékletkülönbség alakjában nyilvánul meg. Létrejöttének meteorológiai és városszerkezeti okai egyaránt vannak. A felhőzöttség mértéke tisztán meteorológiai tényező, míg a szélsőséget és a légkör átlátszóságát antropogén tényezők is befolyásolják. A Bowen-arány, ami a szenzibilis és a látens hő aránya, az égboltláthatósági faktor, a terület beépítettségének mértéke, az útszegélyek beépítésének és az utak szélességének aránya, a zöld- és vízfelületek nagysága, a lakosok száma és az antropogén hőkibocsátás pedig a városi struktúrából következnek. A felsorolt tényezők a felhőzöttség, a szélsőség, az égláthatósági faktor illetve a zöld- és vízfelületek nagyságának kivételével mind erősítik a városi hősziget jelenségét (Kuttler, 2008).

Budapest esetében a Terra és Aqua műholdak MODIS és ASTER szenzorai által nyert felszínhőmérsékleti adatok alapján, a 2001-2008 közötti időszakban az éves átlagos hősziget-intenzitás nappal körülbelül $1,5^{\circ}\text{C}$, éjszaka pedig körülbelül $2,0^{\circ}\text{C}$ volt. Ugyanerre az időszakra megadták az egyes hónapok átlagos hősziget-intenzitásait is. A nyári negyedévben ez a következőképpen alakult. A nappali hősziget-intenzitás júniusban volt a legtekintélyesebb, valamivel több, mint 3°C , míg júliusban épphogy kevesebb, mint 3°C , augusztusban pedig alig több, mint 2°C . Az éjszakai hősziget-intenzitás mindhárom hónapban $2-2,5^{\circ}\text{C}$ között volt.

A műholdas mérésekből meghatározott, felszínhőmérsékleti adatokból számított városi hősziget-intenzitás eltér a hagyományos 2 méter magasan mért léghőmérsékleti adatokból számított hősziget-intenzitástól (Bartholy, Pongrácz és Dezső, 2005). Budapest esetében – Szegeddel és Debrecennel ellentétben – hagyományos adatokból számított hősziget-intenzitási értékek nem állnak rendelkezésre.

A városi hősziget a városlakók számára többlet hőt jelent, ami a nyári időszakban plusz hőteherként jelentkezik. Ugyanakkor télen enyhíti a hideg stressz hatását, lerövidítve a komfortérzet szempontjából kedvezőtlen hidegperiódusok hosszát (Unger, Gulyás és Matzarakis, 2005).

3. Szakdolgozatom célkitűzései

A legismertebb bioklíma indexeket (WBGT, PMV, PET, UTCI, AT, AT_{max}), és a három leggyakrabban használt hőmérsékleti fogalmat (T_a , T_x , T_n) szeretném összehasonlítani aszerint, hogy milyen kapcsolatot mutatnak a nyári negyedévben.

Dolgozatomban arra keresem a választ, hogy mely indexek alkalmasak a hőhullámok okozta többlethalálozás becslésére, az összes index közül melyik alapján becsülhetjük a halálozási többletet a legpontosabban. Az indexek kiszámítása után három tartományon végzem a vizsgálatokat. Kísérletet teszek a különböző indexek, illetve az indexek és a napi halálozás között kapcsolat keresésére.

4. Anyagok és módszerek

Szakdolgozatom elkészítéséhez szükségem volt budapesti napi halálozási és napi meteorológiai adatokra. A halálozási adatok az Országos Környezet-egészségügyi Intézet jóvoltából álltak rendelkezésemre, míg a szükséges meteorológiai paramétereket az Országos Meteorológiai Szolgálat biztosította számomra.

A meteorológiai adatok a 2.3.2.-2.3.5. fejezetekben tárgyalt indexek kiszámításához voltak szükségesek. Az általam feldolgozott adatok a pestszentlőrinci állomásról származnak, ezek: az átlaghőmérséklet (T_a), a maximumhőmérséklet (T_x), a minimumhőmérséklet (T_n), a harmatpont (T_d), a szélsébség, a borultság és a relatív páratartalom. Az Országos Környezet-egészségügyi Intézet az 1992-től 2007-ig terjedő időszakra tudta rendelkezésre bocsátani a szükséges adatokat, ezért az indexeket erre a 16 éves időszakra számítottam ki.

A halálozásnak éghajlatunkon, esetünkben Budapesten szembetűnő éves menete van. Az éves átlaghoz képest januárban illetve februárban kb. 9-10%-kal többen, míg júliusban és augusztusban ugyanennyivel kevesebben halnak meg (Páldy-Bobvos, 2008). Azért, hogy a téli halálozási többlet ne rakódjon rá az átlagos halálózásra, és ne csökkentse a hőhullámok jelentőségét, célszerű az éves átlag helyett szezonális átlagot használni viszonyítási alapként. Hazánkban a hőhullámok leggyakrabban a nyári negyedévben (június 1- augusztus 31.) fordulnak elő, ezért a továbbiakban ezzel az időszakkal foglalkozom.

Az indexektől azt várjuk, hogy a legnagyobb értékeik csökkentsék legjobban az emberi komfortérzetet, és ezáltal növeljék a halálozást. Ennek bizonyítása szükséges ahhoz, hogy kapcsolatot tételezhessünk fel egy adott index és a halálozás között.

Ismerve az 1992 és 2007 közé eső nyári negyedévekre a különböző indexek által felvett értékeket, létrehozhatók gyakoriságon alapuló intervallumok. A legterjedelmesebb csoport alapja a hőhullám definíciójában megadott 25°C-os küszöbérték, melyet az átlaghőmérséklet a 16 éves időszak alatt mindössze 296 napon haladott meg. Ez az adatok 20%-ának felel meg, ami egyben azt is jelenti, hogy 80%-os gyakorisággal állíthatjuk, hogy a hőmérséklet nem lépi át a 25°C-os napi átlagot. A százalékos meghatározás könnyen kiterjeszthető a többi indexre, hiszen az adott index szerinti legmelegebb (legnagyobb indexértékkel rendelkező) napok 20%-ának kiválasztásával egyszerűen létrehozható bármely index esetén. A további két csoport már ennek a 296 napnak csak töredékét foglalja magába. A terjedelmesebb csoport a napok legmelegebb 5%-át, míg a kisebb a napok legmelegebb 2%-át tartalmazza. Az 5% 73 napnak, míg a 2% 29 napnak felel meg. (Minden index esetén más-más naptári napok fognak az egyes csoportokba esni, ez teszi majd érdekessé az összehasonlításokat).

5. Az indexek közötti kapcsolat

5.1. Az indexek közötti kapcsolat vizsgálatának módszere

A halálozás és az indexek kapcsolatának vizsgálata előtt célszerű először az indexeket összehasonlítani. Míg a 2.3. részben külön fejezetekben foglalkoztam a különböző indexek tárgyalásával, addig ennek a fejezetnek az a célja, hogy feltárja a statisztikai kapcsolatot az indexek között. Mivel minden indexhez más-más skála tartozik, illetve nem minden indexhez tartozik a hőérzetet leíró kiegészítés, ezért az összehasonlításhoz olyan módszert kell keresni, ahol a skálázásnak nincsen szerepe.

Így az indexek összehasonlítására a két minta közötti lineáris kapcsolatot mérő korrelációt alkalmaztam. A korrelációs együtthatókat a fent megadott három tartományon külön-külön kiszámoltam, hogy pontosabb képet kapjak az indexpárok kapcsolatáról. A korreláció kiszámításához két azonos mintaelemből álló adatsorra van szükség, melyek egyértelmű párokba rendeződnek. Ahhoz, hogy ez a két feltétel teljesüljön és minden olyan adatot vizsgáljunk, amely a megadott (20%, 5% vagy 2%-os) intervallumba esik, szükség volt az intervallumok kibővítésére. Így minden indexpár korrelációját eltérő számú adatból készítettem, amely bár pontatlanná teszi az indexpárok kapcsolatainak összehasonlítását, de lehetővé válik az egyes intervallumok közötti különbségek megfigyelése; azaz, hogy melyik intervallumon erősebb az indexek kapcsolata.

5.2. Az indexek kapcsolatának vizsgálata során kapott eredmények

A kiszámított korrelációs együtthatókat táblázatban foglaltam össze. A táblázatban feltüntettem mind a 9 indexet, mind a három intervallumra felvett értékével. Kék színnel emeltem ki azokat a korrelációs együtthatókat, melyek 0,9-nél nagyobb értéket vettek fel. Piros színezést pedig a gyengébb korrelációt mutató kisebb együtthatók kaptak.

a)	Ta			Tx			Tn		
	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
Ta				0.9835	0.9899	0.9918	0.9433	0.9608	0.9725
Tx	0.9835	0.9899	0.9918				0.9067	0.9449	0.9548
Tn	0.9433	0.9608	0.9725	0.9067	0.9449	0.9548			
AT	0.9888	0.993	0.994	0.9697	0.9814	0.9842	0.9582	0.975	0.9784
Atmax	0.9796	0.9873	0.9894	0.9912	0.9944	0.9953	0.9298	0.9583	0.9637
PMV	0.7326	0.8275	0.8507	0.7196	0.8193	0.8492	0.6756	0.7955	0.8154
PET	0.7187	0.8122	0.8422	0.7062	0.8022	0.8492	0.6578	0.7806	0.8071
UTCI	0.7136	0.8091	0.8391	0.6997	0.801	0.8379	0.6592	0.7819	0.8048
WBGT	0.9689	0.9795	0.9825	0.9553	0.9709	0.9752	0.9293	0.9563	0.9623
b)	AT			Atmax			WBGT		
	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
Ta	0.9888	0.993	0.994	0.9796	0.9873	0.9894	0.9689	0.9795	0.9825
Tx	0.9697	0.9814	0.9842	0.9912	0.9944	0.9953	0.9553	0.9709	0.9752
Tn	0.9582	0.975	0.9784	0.9298	0.9583	0.9637	0.9293	0.9563	0.9623
AT				0.9872	0.992	0.9932	0.9858	0.9907	0.9923
Atmax	0.9872	0.992	0.9932				0.9769	0.9848	0.9873
PMV	0.7331	0.8304	0.8525	0.7269	0.8209	0.8445	0.7317	0.8184	0.8436
PET	0.7184	0.8145	0.8423	0.7128	0.8304	0.835	0.7166	0.8032	0.8322
UTCI	0.7194	0.8161	0.8428	0.712	0.8059	0.8345	0.7202	0.806	0.8344
WBGT	0.9858	0.9907	0.9923	0.9769	0.9848	0.9873			
c)	PMV			PET			UTCI		
	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
Ta	0.7326	0.8275	0.8507	0.7187	0.8122	0.8422	0.7136	0.8091	0.8391
Tx	0.7196	0.8193	0.8492	0.7062	0.8022	0.8492	0.6997	0.801	0.8379
Tn	0.6756	0.7955	0.8154	0.6578	0.7806	0.8071	0.6592	0.7819	0.8048
AT	0.7331	0.8304	0.8525	0.7184	0.8145	0.8423	0.7194	0.8161	0.8428
Atmax	0.7269	0.8209	0.8445	0.7128	0.8304	0.835	0.712	0.8059	0.8345
PMV				0.9979	0.9985	0.9988	0.9909	0.9939	0.9951
PET	0.9979	0.9985	0.9988				0.9939	0.996	0.9966
UTCI	0.9909	0.9939	0.9951	0.9939	0.996	0.9966			
WBGT	0.7317	0.8184	0.8436	0.7166	0.8032	0.8322	0.7202	0.806	0.8344

3. táblázat: Az indexpárok korrelációs együtthatói három különböző intervallumon. Az I.-es a 20%-os, a II-es az 5%-os, míg a III-as a 2%-os gyakorisággal előfordult értékek kibővített intervalluma.

A korrelációs együttható -1 és 1 között veszi fel értékét; amikor a 0 értéket veszi fel, akkor a két vizsgált tényezőt korrelálatlannak nevezzük. Minél jobban közelít az értéke az 1-hez, annál erősebb a kapcsolat a két adatsor között.

Az indexek közötti kapcsolatokról a 3. táblázat alapján a következőket olvashatjuk le. Az átlaghőmérséklet szoros kapcsolatban van a maximumhőmérséklettel, az AT és AT_{max} indexekkel, ennél kevésbé szoros a kapcsolata a minimumhőmérséklettel és a WBGT indexszel, illetve sokkal gyengébb a kapcsolata a PMV, PET és UTCI indexekkel. A maximumhőmérséklettel az AT_{max} index áll a legszorosabb kapcsolatban, és csak ezt követi az átlaghőmérséklet. Az apparent hőmérsékletek definíciója bár nem sokban különbözik, mégis a maximumhőmérsékletből megalkotott AT_{max} áll szorosabb összefüggésben T_x -szel, mint az átlaghőmérsékletből megalkotott AT- T_a páros. Az is kiolvasható a táblázatból, hogy a leggyengébb kapcsolat a minimumhőmérséklet és a PET, PMV, UTCI indexek között van. Ha megfigyeljük a korrelációs együtthatókat, akkor két csoportra oszthatjuk az indexeket a korrelációs együtthatók alapján, azaz a lineáris kapcsolat szerint. Az első csoportba tartozik a táblázat a) és b) részébe rendezett hat index: T_a , T_n , T_x , AT, AT_{max} és WBGT; ezek egymással szoros összefüggésben vannak. A második csoport a táblázat c) részében tömörül, ezek az indexek a PMV, PET és UTCI, melyek egymással nagyon szoros kapcsolatban vannak, de a másik hat indexszel már kevésbé korrelálnak.

A táblázatba rendezett eredményekből jól látszik, hogy a korrelációs együtthatók minden index esetén az I-es intervallumra veszik fel a legkisebb, míg a III-as intervallumra a legnagyobb értéküket. Ez azt jelenti, hogy minden indexnek a legkisebb tartományon a legerősebb a kapcsolata a többi indexszel. Megjegyzem, hogy bár ezek a tartományok minden esetben nagyobbak, mint a számukra alapul szolgáló (20%, 5% és 2%) tartományok voltak, mégsem érhetik el a náluk nagyobb intervallumok elemszámát. (Pl. a 2%-os tartomány kibővített változata nem érheti el az 5%-os elemszámát.) Tehát arra következtethetünk, hogy az indexek között a legmagasabb hőmérsékletek esetén a legerősebb a kapcsolat.

A 2%-os intervallumon kapott korrelációs együtthatók nagyon erős kapcsolatot tételeznek fel az a) és b) táblázatrészbe csoportosított indexek között. Magyarországon a hőségriasztás életbeléptetése az átlaghőmérséklettől függ, melynek küszöbértékét a többlethalalozás várható megnövekedésével összefüggésben határozták meg. Az erős korrelációs kapcsolat azt is előrevetíti, hogy a másik 5 vele jól korreláló index is alkalmas lehet a halalozási többlet előrejelzésére. Természetesen nem zárható ki a többi 3 index sem, viszont amennyiben közülük valamelyik áll szorosabb kapcsolatban a napi halálesetek számával, akkor az átlaghőmérséklet kitüntetett szerepe a hőségriasztás területén meggondolandó.

6. Az indexek és a halálozás kapcsolata



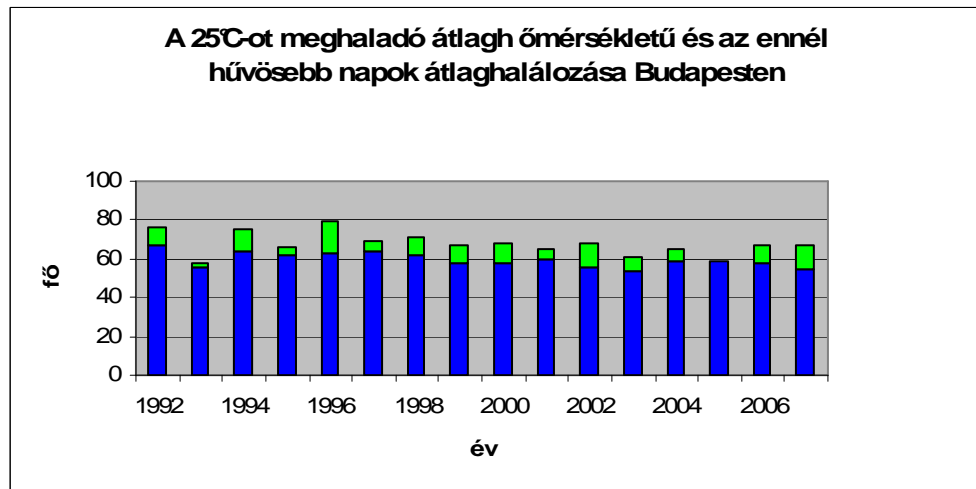
3. ábra: Budapest lakosságának alakulása az 1992-2007-es időszakban

Budapest lakossága a vizsgált évek folyamán állandóan változott, (a 2007-es év kivételével) folyamatosan csökkent. Az állandó változás tükrében a halálozási adatokat úgy kell vizsgálni, hogy közben figyelembe vegyük a háttérben végbemenő folyamatos népességsökkenést. Ahhoz, hogy a fent leírt változás ne befolyásolja az elemzést, minden nap halálozási adatait a saját nyári negyedének átlaghalálozásához kell viszonyítani. Az így megkapott többlethalálozás úgy válik összehasonlítható információvá, ha kiszámoljuk, hogy ez az adott nyár átlagos halálozásnak hány százalékát teszik ki.

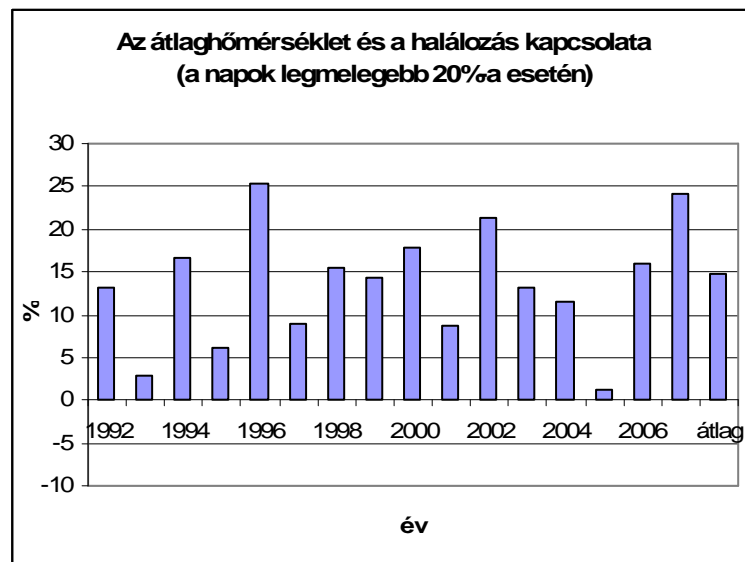
A vizsgálathoz továbbra is a korábban már tárgyalt felosztást alkalmaztam. Az első csoport az összes nap legmelegebb 20%-a, ami egyben azt is jelenti, hogy az esetek 80%-ában az átlaghőmérséklet a mérőállomáson nem haladta meg a 25°C-ot. A második csoport, amikor az átlaghőmérséklet meghaladta a 27,7°C-ot, ez az összes nap 5%-a. A harmadik csoport pedig a napok 2%-a, amikor az átlaghőmérséklet 28,8°C fölé emelkedett. Természetesen a többi index (a minimumhőmérséklet vagy akár az UTCI) esetén is megfeleltethetünk a százalékos felosztásnak egy egyedi küszöbértéket, melynek a PMV index kivételével minden esetben °C lesz a dimenziója (a 4. táblázat 3. oszlopa tartalmazza ezeket az értékeket).

A fent leírt csoportok minden egyes index esetén két részre osztják a napokat, „melegebbekre” és „hűvösebbekre”. A 20%-os gyakorisági intervallum esetén a napok 80%-a fog a hűvösebb részben helyet kapni. Ezekből a napokból számítjuk ki az átlagos halálozást éves bontásban, a lakónépesség számának folyamatos változása miatt. Így minden indexnél

más-más napok halálózási adataiból képezzük az átlaghalálózást. Az 5%-os és 2%-os gyakorisági intervallumok vizsgálatának esetén is a napok 80%-ából számított éves átlagokat vesszük majd alapul. A 20%-os gyakorisági intervallumba eső napok halálózási adatait évenként átlagolva, és ebből kivonva az éves átlagokat megkapjuk az adott év nyári negyedére eső átlagos napi többlethalálózást. Ezt ábrázolja a 4. ábra az átlaghőmérséklet esetén. Természetesen a másik két intervallumra ugyanígy számolható a többlethalálózás.

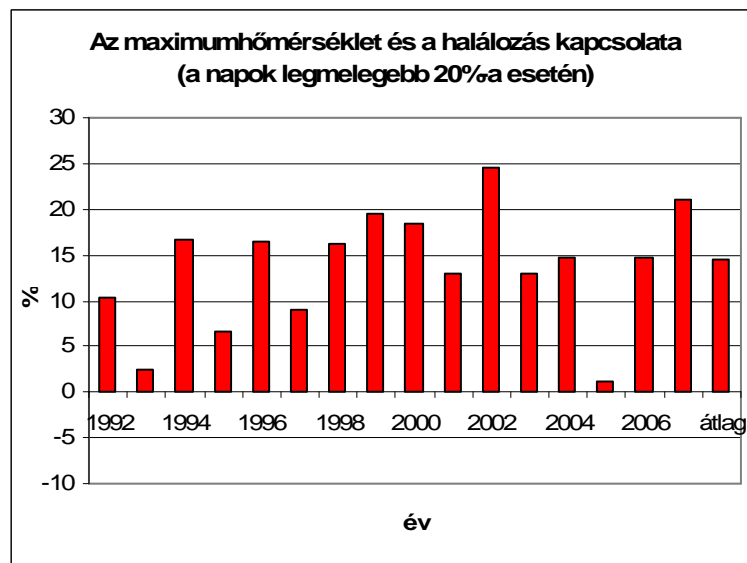


4. ábra: A kék színű rész ábrázolja a 25 °C-ot nem meghaladó napok átlaghalálózását. A zölddel jelölt rész pedig a melegebb napok átlagos halálózási többlete. (Budapest, nyári negyedév)

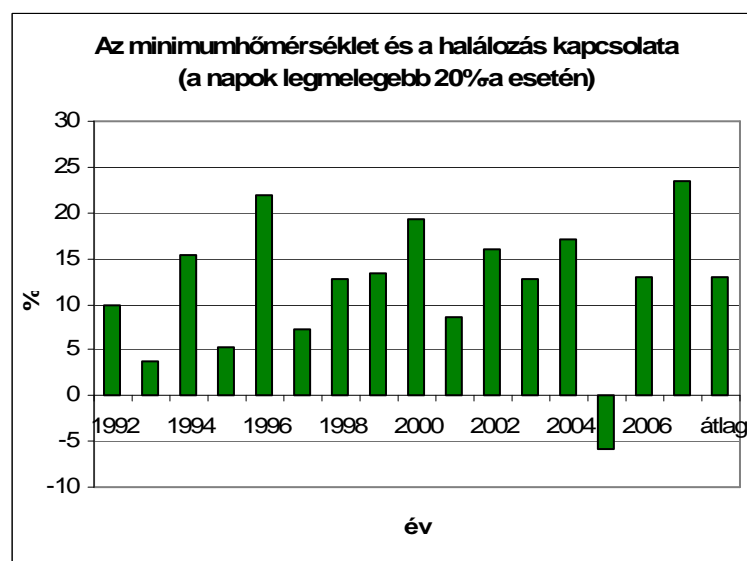


5. ábra: Az átlagos halálózási többlet éves bontásban, százalékos formában. Az utolsó oszlopban a 296 legmelegebb átlaghőmérsékletű napra eső halálózási többlet átlaga szerepel. (Ugyanez elmondható a 6-13. ábrákról is azzal a különbséggel, hogy minden ábrán más index szerepel.)

Annak érdekében, hogy össze tudjuk hasonlítani a különböző indexeket, és figyelembe vegyük Budapest népességének változását, a halálozási többletet a „hűvösebb” napok átlaghalálozásához viszonyítjuk (ezt vesszük 100%-nak). Az 5. ábra szemlélteti ezt a többletet éves bontásban az átlaghőmérséklet esetén. Az utolsó oszlopban szereplő átlagot az adott évre eső napok számának súlyozásával hoztam létre. Így egy 16 éves átlagot kaptam azoknak a napoknak a halálozási többletéről, amelyeken 25°C felett volt az átlaghőmérséklet. A többi index esetén is ugyanígy jártam el külön-külön minden tartományban, az így kapott 16 éves átlagértékek megkönnyítették a diagramok összehasonlítását.

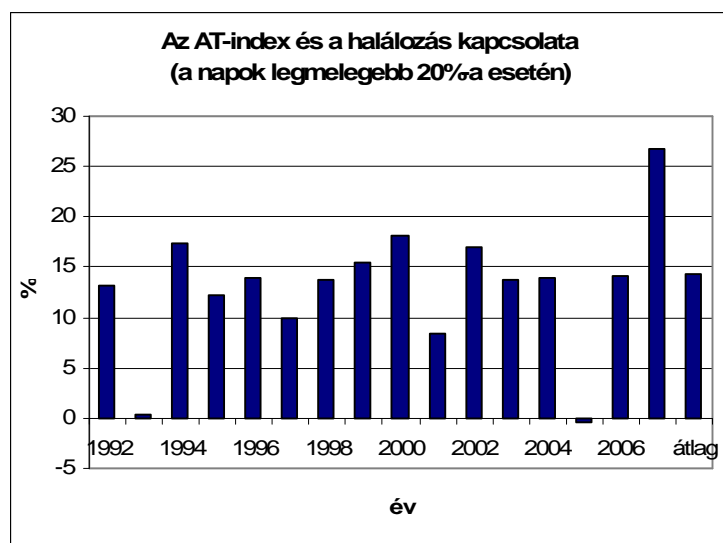


6. ábra

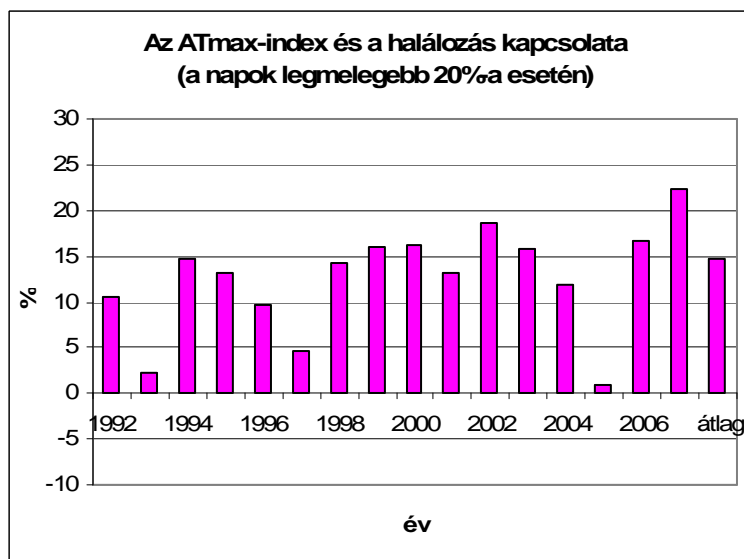


7. ábra

A 6.-7. ábra a maximum- és minimumhőmérsékletek és a halálozás kapcsolatát kívánják szemléltetni. A két ábra nem csak egymással, hanem az átlaghőmérséklettel is hasonlóságot mutat. A három eddig tárgyalt index közül a minimumhőmérséklet veszi fel általában a legkisebb értékeket, így átlagosan is hozzá kapcsolódik a legkisebb halálozási többlet. Míg az átlag- és maximumhőmérsékletek átlagos értéke megközelíti a 15%-ot (14,8% és 14,5%), addig a minimumhőmérsékletre eső érték csak 13%. A mellékletben elhelyezett 5% és 2%-os intervallumokra kapott eredményeket ábrázoló diagramokon erős átrendeződések mutatkoznak. Egyes években teljesen eltűnnek akár magas értéket képviselő oszlopok is. Például az átlaghőmérséklethez tartozó 5%-os intervallumot bemutató ábrán (*Melléklet: 1. ábra*) az 1996-os esztendőben 48%-os halálozási többletet jelöl, de a 2%-os intervallumon már nem tűnik fel ez a kiugróan magas érték (*Melléklet: 4. ábra*). Ez valójában egyetlen egy nap kifejezetten magas halálozási többletének eredménye. Az átlagolással finomíthatjuk ezeknek a kiugró értékeknek a figyelembevételét. Az így kapott eredmények az 5%-os intervallum esetén 24-25% között mozognak. A (T_a -re 24,7%; T_x -re 24,5%; T_n -re 24,3%) pontos értékek bemutatásával arra kívánok rámutatni, hogy még ezen a tartományon is a három index közül az átlaghőmérséklet adja a legnagyobb értéket, a 20%-os intervallumon is ugyanez volt a sorrend egy kicsit nagyobb eltérésekkel. Ezzel szemben azonban a legkisebb, 2%-os tartományon már a maximum- és minimumhőmérséklet is megelőzi az átlaghőmérsékletet (T_x -re 36,1%; T_n -re 33,9%; T_a -ra 32,9%). Ezekhez a százalékos halálozási többletekhez a következő hőmérsékletek tartoznak: 35,6°C feletti maximumhőmérséklet, legalább 23°C-os minimumhőmérséklet és legalább 28,9°C-os átlaghőmérséklet. Ha ezek valamelyikét eléri vagy meghaladja a hőmérséklet, akkor várhatóan jelentős többlethalálozásra kell számítanunk.

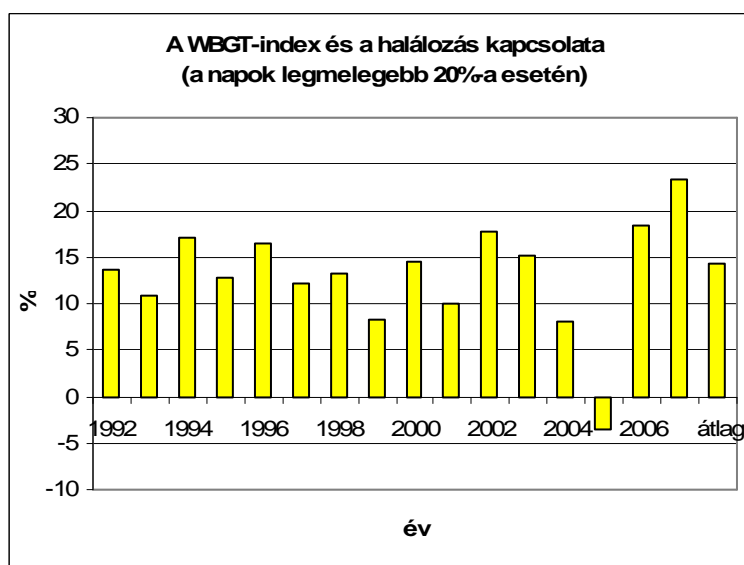


8. ábra



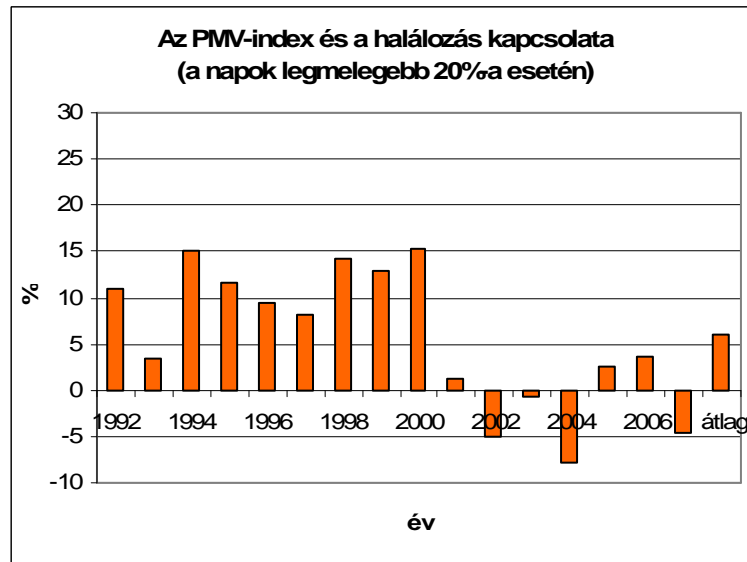
9. ábra

Az AT és az AT_{max} indexek, képletükből eredendően nagyon hasonlítanak egymáshoz, de nem csak egymáshoz, hanem az átlag- és maximumhőmérsékletek ábráihoz is, és ez a tulajdonság még a halálozással való kapcsolatukban is fellelhető. Az átlag-, maximum- és minimumhőmérsékletek ábráival összevetve azt a képzetet keltik, hogy sokkal biztosabban várhatunk 10%-os vagy afeletti halálozási többletet. Ezt azonban túlzás lenne egy ilyen diagram alapján megállapítani, ezért megvizsgáltam az adatok szórását (amelyből a 5.-9.-es ábrák készültek), és arra az eredményre jutottam, hogy lényeges különbség nincs az öt eddig taglalt index értékeinek szórása között (18,5-17,6 között alakulnak). Ez arra enged következtetni, hogy az éves átlagolás alakítja ki ezt a téves képet. A WBGT indexről ugyanez mondható el (10. ábra).

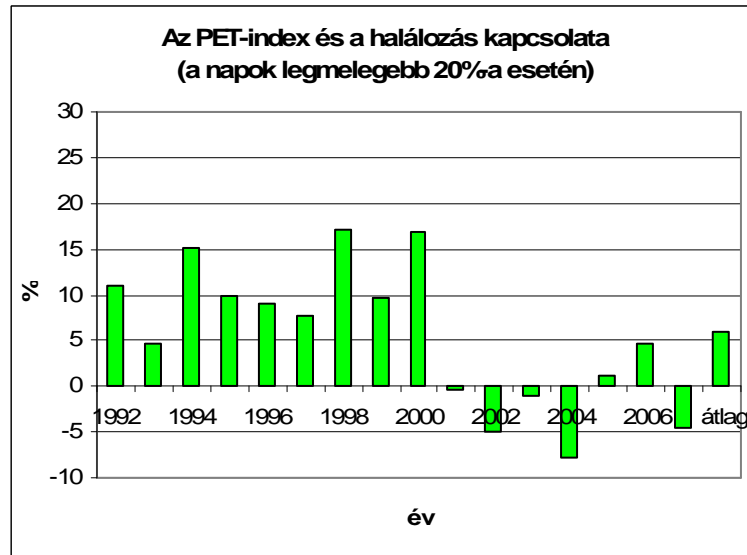


10. ábra

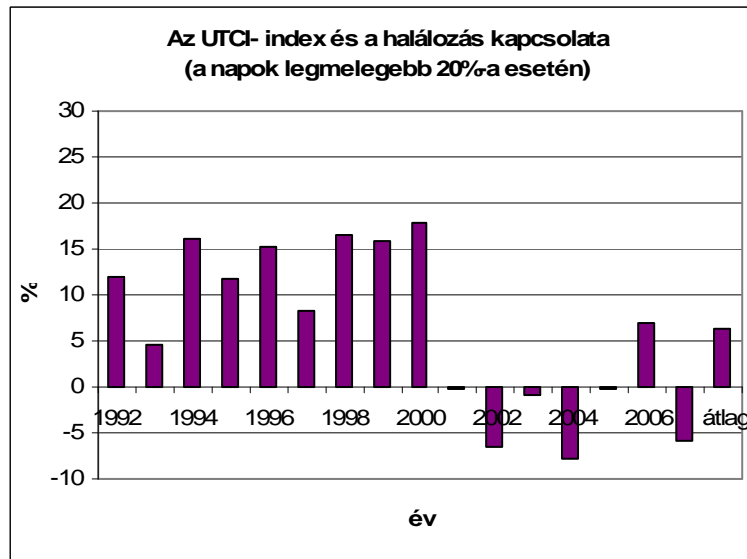
A PMV, PET és UTCI indexek esetén nagyon hasonló ábrákat kapunk (11-13. ábrák). A többi indexhez képest több helyen vesznek fel az éves átlagos halálozási többletre negatív értéket. A teljes intervallumra vett átlag pedig mind a három esetben 10% alatt marad. Ez arra enged következtetni, hogy a szóban forgó a tartományokon ezek az indexek nem képesek a halálozási többlet kimutatására.



11. ábra



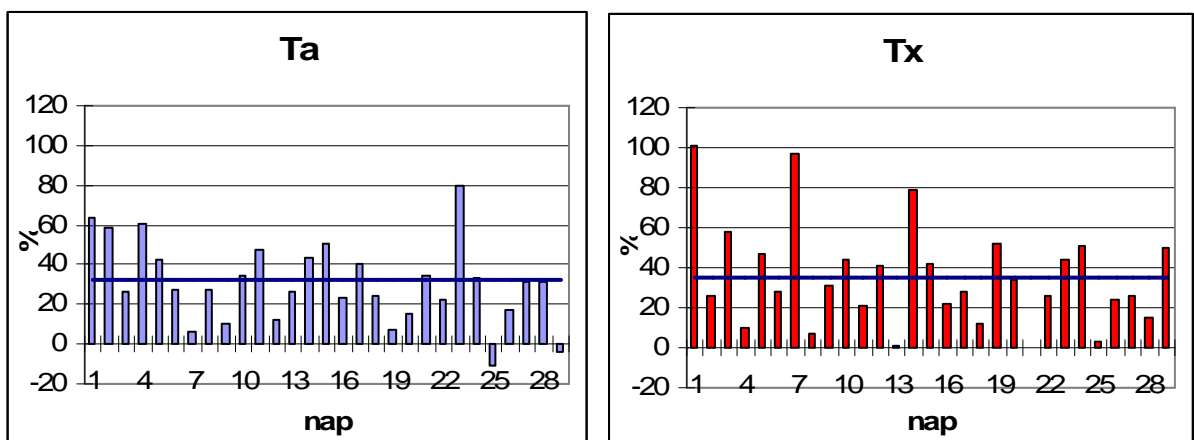
12. ábra

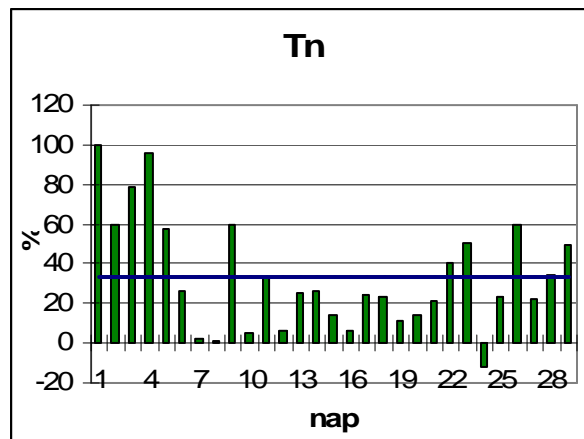


13. ábra

Az 5% és 2%-os intervallumokra is elkészítettem minden indexre az éves felbontású ábrákat (Melléklet: 1-18. ábrák). Továbbra is megfigyelhető a T_a , T_x , T_n , AT , AT_{max} és $WBGT$ ábrák hasonlósága, melyek jól elkülönülnek a PMV , PET és $UTCI$ indexek ábráitól. Az átlagokat összevetve láthatjuk, hogy a napok legmelegebb 5%-a esetén a legnagyobb átlagos halálozási többleteket az AT (26,62%) és az AT_{max} (25,78%) indexek adják, a 2%-os tartományon pedig a T_x (36,14%). Ettől az előbbi esetben 15%-kal, míg az utóbbi esetben több mint 20%-kal maradnak le a PMV , PET és $UTCI$ indexek. (A 20%-os tartományon a feljebb tárgyalt T_a adja a legnagyobb halálozási többletet.)

6.1. A halálozási többlet becslése





14-16. ábrák: A 2%-os intervallum napi többlethalálózása, az adott indexnek megfelelően a legmelegebb nappal kezdve. A kék folytonos vonal az átlagos halálózási többletet mutatja meg.

A 14.-16. ábrák bemutatják, hogy mekkora különbségek vannak még ebben a tartományban is az egyes napok halálózási többlete között. A legkisebb eltérések az átlaghőmérséklet ábráján láthatók, melyeket a kiszámolt tapasztalati szórás is alátámaszt. T_a -ra ez az érték mindössze 20,19, a maximumhőmérsékletre 25,23, és a minimumhőmérsékletre már nagyobb értékeket, 27,39-et ad. Ebből azonban nem következik egyenesen az, hogy az átlaghőmérséklet alapján tudjuk a legpontosabban becsülni egy adott nap halálózási többletét.

Az is megfigyelhető a három diagramon, hogy a maximumhőmérséklet ábráján kívül mind felvesz negatív értéket is. Tehát míg azt elmondhatjuk, hogy a maximumhőmérséklet a 35,6°C felett minden esetben halálózásnövekedéssel járt, addig ez az átlag és a minimumhőmérséklet esetében nem mondható el. Azonban az intervallumot alkotó 29 elem kevés ahhoz, hogy messzemenő következtetéseket lehessen levonni.

A Magyarországon alkalmazott hőségriasztási rendszer fokozatai a várható halálózási többlet alapján lettek meghatározva. **Figyelmeztető jelzést** adnak ki, ha 15%-os halálózási többlet várható egy adott napon. **Készültség jelzést**, ha a halálózási többlet egymás utáni három napon meghaladja a 15%-ot vagy egy nap eléri a 30%-ot. **Riadó jelzést** pedig akkor bocsátanak ki, ha három egymást követő napon 30%-os halálózásnövekedés várható.

A riasztási rendszer felépítése adta az ötletet, hogy megpróbáljam az indexeket összehasonlítani a várható halálózás „beválásának” szempontjából. A mintaelemszám kicsi volta miatt (nem bizonyítható egyértelműen az 5 és 2%-os tartományon, hogy a minta normális eloszlású, ezért a konfidencia-intervallumok helyett) relatív gyakorisággal becsültem annak valószínűségét, hogy mekkora bizonyossággal várható egy adott halálózási többlet.

Mind a három általam eddig használt gyakorisági intervallumra, és minden indexre kiszámoltam és táblázatba rendeztem a relatív gyakoriságokat. Ezzel azt szeretném szemléltetni, hogy bizonyos hőmérséklet felett mekkora halálozási többlet mekkora valószínűséggel számíthatunk.

			0	5	10	15	20	25	30
Ta	20%	25°C	20.94595	68.58108	56.08108	42.90541	33.10811	26.68919	20.27027
	5%	27.7°C	9.589041	82.19178	72.60274	63.0137	56.16438	49.31507	39.72603
	2%	28.9°C	6.896552	93.10345	89.65517	79.31034	72.41379	68.96552	51.72414
Tx	20%	31.1°C	20.60811	67.22973	56.08108	42.56757	32.09459	25	18.58108
	5%	34.1°C	8.219178	79.45205	73.9726	65.75342	56.16438	47.94521	35.61644
	2%	35.6°C	0	93.10345	89.65517	82.75862	75.86207	72.41379	48.27586
Tn	20%	19.7°C	25.33784	63.85135	50.33784	40.2027	31.08108	25.33784	17.22973
	5%	22°C	9.589041	82.19178	75.34247	64.38356	54.79452	47.94521	34.24658
	2%	23°C	3.448276	93.10345	82.75862	75.86207	68.96552	68.96552	44.82759
AT	20%	25.5°C	22.97297	67.22973	55.06757	41.55405	31.75676	25.33784	18.24324
	5%	28.5°C	8.219178	86.30137	80.82192	72.60274	63.0137	54.79452	39.72603
	2%	29.6°C	10.34483	82.75862	75.86207	72.41379	65.51724	62.06897	41.37931
Atmax	20%	31.4°C	21.28378	66.55405	56.75676	43.24324	32.43243	24.66216	18.58108
	5%	34.9°C	8.219178	80.82192	78.08219	68.49315	60.27397	49.31507	35.61644
	2%	36.4°C	10.34483	82.75862	79.31034	72.41379	65.51724	62.06897	41.37931
WBGT	20%	27°C	22.63514	64.86486	55.40541	42.90541	32.09459	25	18.58108
	5%	29.2°C	10.9589	84.93151	75.34247	65.75342	49.31507	43.83562	32.87671
	2%	30.1°C	17.24138	75.86207	68.96552	62.06897	48.27586	44.82759	31.03448
PMV	20%	2.7	40.2027	46.62162	37.16216	28.04054	20.60811	14.52703	9.797297
	5%	3.5	30.13699	60.27397	53.42466	42.46575	32.87671	28.76712	20.54795
	2%	3.8	24.13793	65.51724	55.17241	51.72414	41.37931	37.93103	27.58621
PET	20%	37°C	40.2027	46.62162	37.16216	28.71622	20.94595	14.86486	10.13514
	5%	41°C	32.87671	58.90411	52.05479	38.35616	32.87671	27.39726	21.91781
	2%	42.9°C	27.58621	62.06897	55.17241	44.82759	34.48276	31.03448	27.58621
UTCI	20%	34.2°C	39.18919	47.63514	39.18919	29.72973	21.62162	15.54054	10.47297
	5%	37.4°C	31.50685	63.0137	56.16438	41.09589	32.87671	27.39726	20.54795
	2%	38.6°C	27.58621	65.51724	58.62069	44.82759	41.37931	37.93103	27.58621

4. táblázat: A sorokban az indexek és a hozzájuk tartozó gyakorisági intervallumok vannak feltüntetve. A <0 oszlop annak a relatív gyakorisága, amikor a halálozási többlet értéke negatív. Az 5, 10, 15, 20, 25, és 30 jelölésű oszlopok pedig annak a valószínűségét becsülik, hogy a 3. oszlopban adott küszöbérték felett mekkora annak a valószínűsége, hogy a halálozási többlet legalább 5, 10, 15, 20, 25 és 30% legyen.

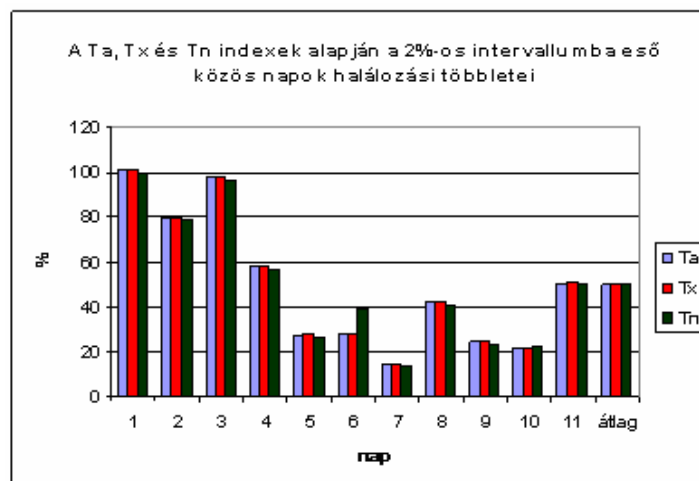
A táblázat könnyebb áttekinthetősége érdekében félkövér piros számokkal írtam az összes index közül a legkedvezőbb értéket. (Piros színt kaptak még azok az értékek is, amelyek csak kicsit maradtak el a legjobbtól.) Így a táblázatból könnyen kiolvasható, hogy a maximumhőmérséklet alapján mondhatjuk el a halálozásról legbiztosabban, hogy növekedni fog az átlaghoz képest. Összességében mind három intervallumon a maximumhőmérséklet adta a legalacsonyabb értékeket, míg az átlag- és minimumhőmérséklet csak egy kicsit maradt el tőle. A 20%-os gyakorisági intervallumon az átlaghőmérséklet és az AT_{max} mutatták a

legjobb eredményeket, de összességében az átlaghőmérséklet bizonyult jobbnak. Az 5%-os intervallumon végig az AT index vette fel a legnagyobb értékeket, míg a 2%-os intervallumon a T_x és T_a indexek szerepeltek a legjobban.

Végeredményben elmondható, hogy a vizsgált intervallumokon sem a PMV, PET és az UTCI, sem a WBGT nem alkalmasak arra, hogy küszöbértékként használjuk hőhullámok meghatározására. Hiszen minden tartományon volt olyan index, ami jobbnak bizonyult náluk, tehát képes nagyobb valószínűséggel megadni a várható többlethalálózást.

6.2. Indexpárok és kombinációk

A T_a , T_x és T_n indexek páronként való vizsgálatához kiválogattam azokat a napokat, amelyek mind a két csoportosításban beleestek a 2%-os gyakorisági intervallumba, az elkészített diagramokat a mellékletben helyeztem el. Eredményül azt kaptam, hogy azok az indexek, amelyek között szorosabb volt a kapcsolat, több közös nappal rendelkeztek, és összességében kevésbé bizonyultak használhatónak a halálózási többlet bekövetkezésének becslésére. A szorosabb kapcsolat eredményeként az átlagos halálózási többlet szempontjából kevésbé kedvező eredmények születtek a T_a - T_x párosítás esetén, mint a másik két esetben. Amíg a T_n - T_x párosítás esetén 42,5%; 42,2%-os, a T_n - T_a párosítás esetén pedig 43,7%; 43,8%-os halálózási többletek jelentkeztek, addig a T_a - T_x párosítás csak 37,7%; 37,8%-os eredményeket adott. (Azért adtam meg két értéket, mert természetesen a T_n indexnek a viszonyítási alapja itt is a hűvösebb T_n napok átlaga, ami T_a , T_x esetén is elmondható, ezért születnek kettős eredmények.) A párosítások után elkészítettem a három index legmelegebb napjainak metszetét, melynek eredményeként azt kaptam, hogy 11 olyan nap van, amely mind a három index szerint a vizsgált nyári napok legforróbb 2%-ába tartozik.



17. ábra

Ezt mutatja a 17. ábra, itt már nem jelentkezik negatív halálozási többlet, és a legkisebb érték, amit felvesz a diagram a 7. napon (1998. aug. 4.) az 13,8% a minimumhőmérsékletek és 15% az átlag- és maximumhőmérsékletek 98%-os gyakorisági intervallumának átlagát véve alapul. A többi napon a halálozási többlet minden esetben meghaladta a 20%-ot. Átlagosan pedig ezek a napok majdnem 50%-kal növelték a halálozást. Tehát amennyiben az átlaghőmérséklet meghaladja a 28,9°C-ot, a maximumhőmérséklet a 35,6°C-ot és a minimumhőmérséklet a 23°C-ot, akkor a halálozási többlet várhatóan 20% fölött alakul. (A minta nagysága sajnos itt sem elég nagy ahhoz, hogy pontosabb következtetéseket lehessen levonni.)

A 20% és 5%-os intervallumok és még néhány további index-pár ($AT-AT_{max}$, $AT-T_n$, $AT_{max}-T_n$, $AT-AT_{max}-T_n$) esetén foglalkoztam a többlethalálozás bevalásának becslésével. Az így kapott eredményeket a *Melléklet 1. táblázata* tartalmazza.

A táblázat alapján elmondható, hogy a 20%-os intervallumon a T_x-T_n és AT_x-T_n párok adják a legjobb eredményeket, és ezek átlagosan 3-5% körüli értékekkel előzik meg a 20%-os tartományon legjobb becslést adó átlaghőmérsékletet. ($AT-T_n$ pár 2-3%)

Az 5%-os tartományon az indexek közül az AT veszi fel a legmagasabb értékeket, melyet az $AT-T_n$ párosítás mindenütt fölülmúl. (Egyes esetekben 8-10%-kal is meghaladja, míg máskor csak 1,5-2%-os a fölénye.)

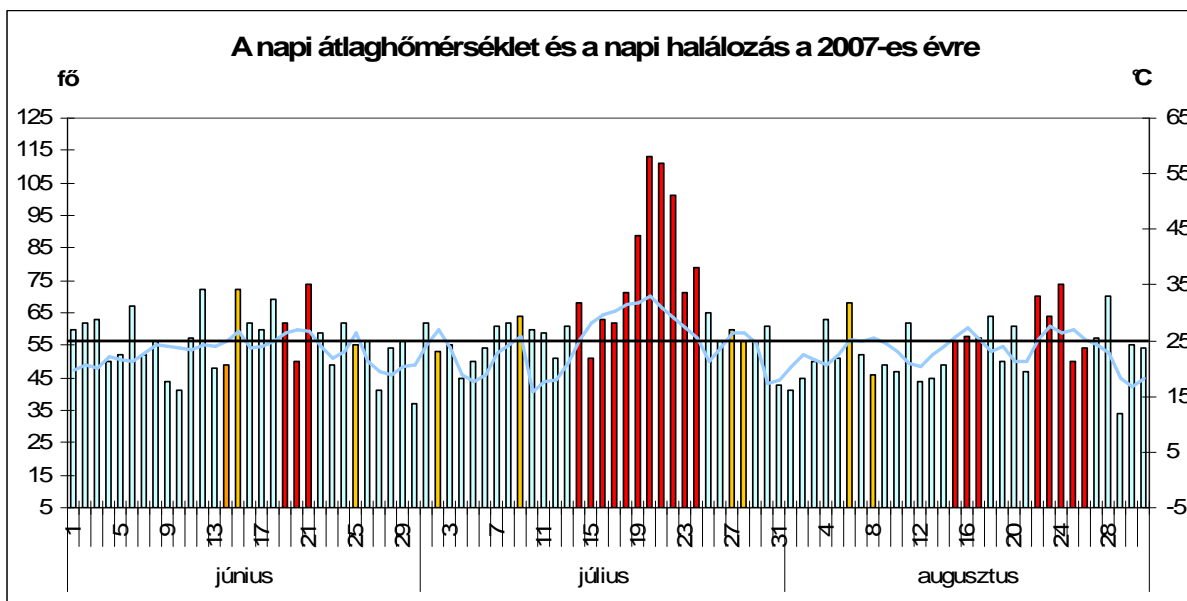
A 2%-os intervallumon arra az eredményre jutottam, hogy az $AT-T_n$ párosítás szintén jobbnak bizonyul a tartományon vezető T_a és T_x indexeknél. Egészen a 25%-os halálozási többletig magasan vezet 8-10%-kal.

A vizsgált $T_a-T_x-T_n$ és $AT-AT_{max}-T_n$ indexhármások általában néhány százalékkal jobb eredményeket adnak, mint a párok, de előfordul ennek az ellenkezője is. A $T_a-T_x-T_n$ hármas az 5%, 25% és 30%-os halálozási többleteket becsüli biztosabban, az $AT-AT_{max}-T_n$ hármas pedig a 10-20% többleteket.

7. Esettanulmány

A 2007-es esztendő nyári negyedében a hivatalos definíció alapján négy hőhullám érte el Budapestet. A július 14-től 24-ig tartó 11 napos időszak alatt rekord meleg hőmérsékleteket mértek hazánkban, ezen kívül három kisebb hőhullám hatását érezhettük ugyanebben az évben. Ezek rövidebb ideig tartó, és a júliusnál kevésbé meleg időszakok voltak.

A 2007. évi magyarországi hőhullámok egészségi hatásainak elemzése - előzmények és tapasztalatok (Páldy és Bobvos, 2008) című cikkben megjelent átlaghőmérséklet és az otthoni és kórházi halálos esetek számát feltüntető ábra adta az alapötletét a 18.-24. összehasonlító ábráknak.

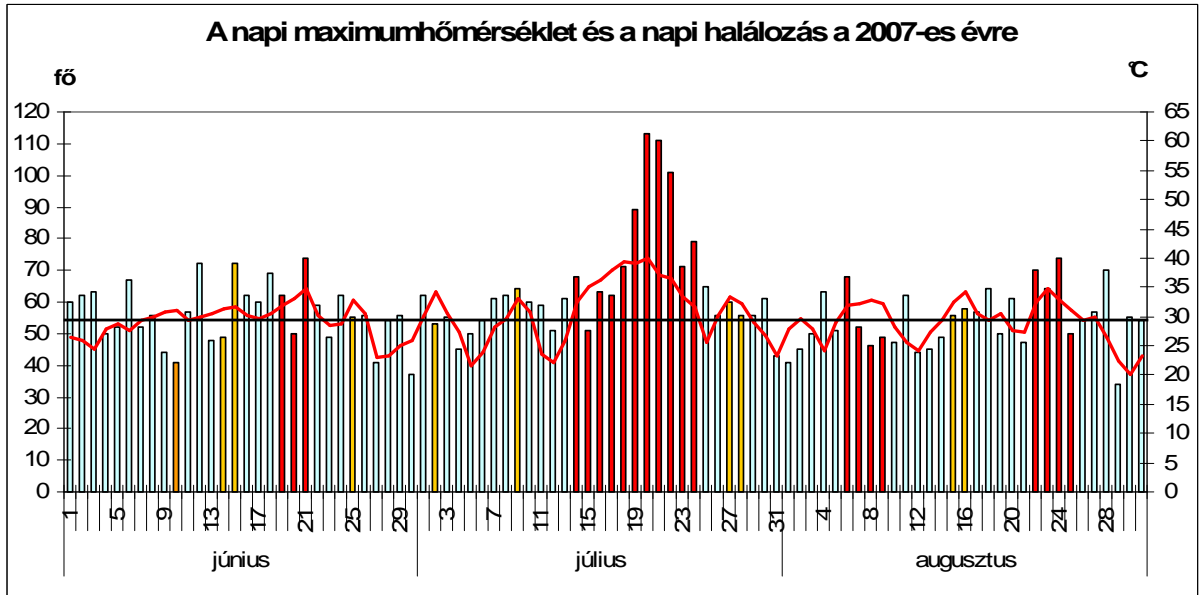


18. ábra: Az ábrán feltüntetett oszlopok a napi halálos esetek számát jelentik. A folyamatos görbe vonal az átlaghőmérséklet alakulását mutatja, míg az egyenes vonal egyszerre hivatott a halálos esetek átlagos számát jelölni és a hőhullám küszöbértéket (25°C).

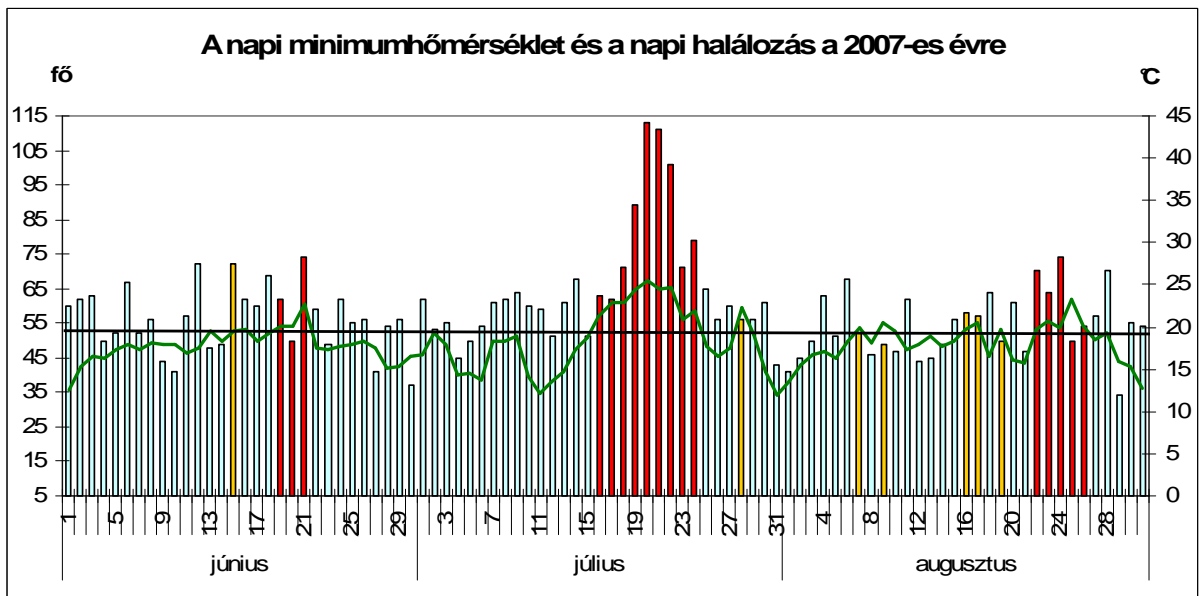
Az 18. ábrán pirossal jelöltem azokat a napokat, amikor az átlaghőmérséklet meghaladta a 25°C-ot legalább három napig, narancssárga színt azok a napok kaptak, amelyek meghaladták a 25°C-ot, de három napnál rövidebb ideig, halványzöldek pedig az előbbieknél hűvösebb napok lettek.

Elkészítettem a maximum- és minimumhőmérsékletek ábráit is, ahol a maximumhőmérséklet görbéje a piros, a minimumhőmérsékleté pedig a zöld színt kapta. A

küszöbértékeket az indexektől függően (maximumhőmérséklet esetében $31,1^{\circ}\text{C}$, minimumhőmérséklet esetében $19,7^{\circ}\text{C}$) választottam meg, míg a színezés szisztémáját változtatlanul hagytam. A tengelyek összehangolása minden esetben nehéz feladat volt, de megpróbáltam az optimális skálázásokat használni, minden diagram esetén a saját adatainak megfelelően.



19. ábra: A maximumhőmérséklet 2007-es évi alakulását a piros görbe jelzi, az oszlopok a napi halálozást adják meg.



20. ábra: A minimumhőmérséklet 2007-es évi alakulását a zöld görbe jelzi, míg az oszlopok a napi halálozások számát mutatják.

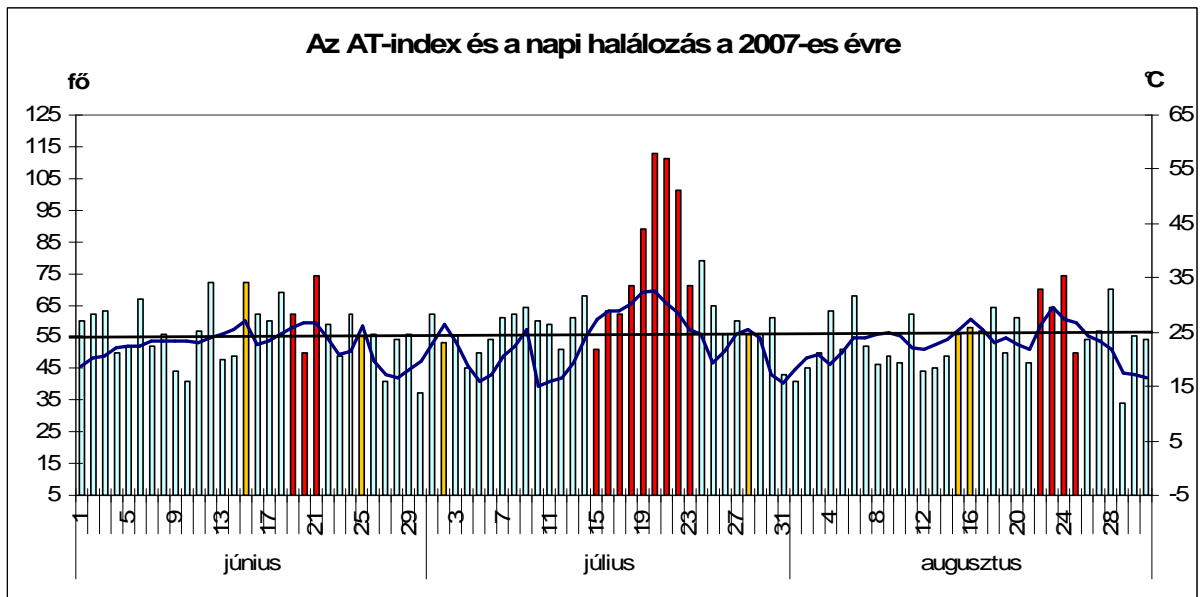
Az 19-20. ábrák esetében meghatározott küszöböket a már korábban tárgyalt 20%-os gyakorisági intervallum alapján választottam meg, ami lehetővé tette, hogy különböző számú nap kerüljön az egyes ábrákra a kritikus tartományba. Ez bonyolítja az összehasonlítást, mivel nem elég megadni, hogy a pirossal vagy narancssárgával jelölt napok esetén hányan haltak meg, hanem azt is ki kell számolni, hogy ez az érték hány napra oszlik el, és természetesen az sem elhanyagolható, hogy az átlagos napi halálozáshoz képest ez hány százalékos többletet jelent. Azt kaptam eredményül, hogy az indexek közül az átlaghőmérséklet (20%-os intervallumának, 25°C) küszöbértékének meghaladása esetén volt a legnagyobb a többlet halálesetek száma (386,5 fő). A minimumhőmérséklet esetén a küszöbérték átlépése csak 313,6 fő többletet eredményezett a 2007-es esztendőben. A két érték között több mint 70 haláleset a különbség, azonban míg az előbbi 31, addig az utóbbi mindössze 24 nap alatt következett be. Ennek folytán az egy napra eső halálesetek száma már a minimumhőmérséklet esetén a nagyobb: 13,1 a 12,5-höz képest. A hűvösebb napok átlagától vett százalékos eltérés szintén a minimumhőmérséklet esetén vette fel a nagyobb értéket, 23,6%-ot a 22,9%-hoz képest. Amikor csak a pirossal jelölt napok halálozási adatait vizsgáltam, szintén azt kaptam, hogy mind a halálesetek számának egy napra eső többlete, mind pedig a százalékos értéke a minimumhőmérsékletre adta a nagyobb értéket. A maximumhőmérsékletre minden esetben gyengébb eredményeket kaptam, mint az átlaghőmérsékletre.

	narancssárga+piros tartomány		
	Többlethalálzás (fő)	Egy napra eső többlethalálozás (fő)	%
T _a	386.5	12.5	22.92
T _x	350.3	10.9	19.98
T _n	313.6	13	23.6
	piros tartomány		
	Többlethalálzás (fő)	Egy napra eső többlethalálozás (fő)	%
T _a	352.5	16	29.66
T _x	333.7	15.2	27.69
T _n	317	18.7	33.69

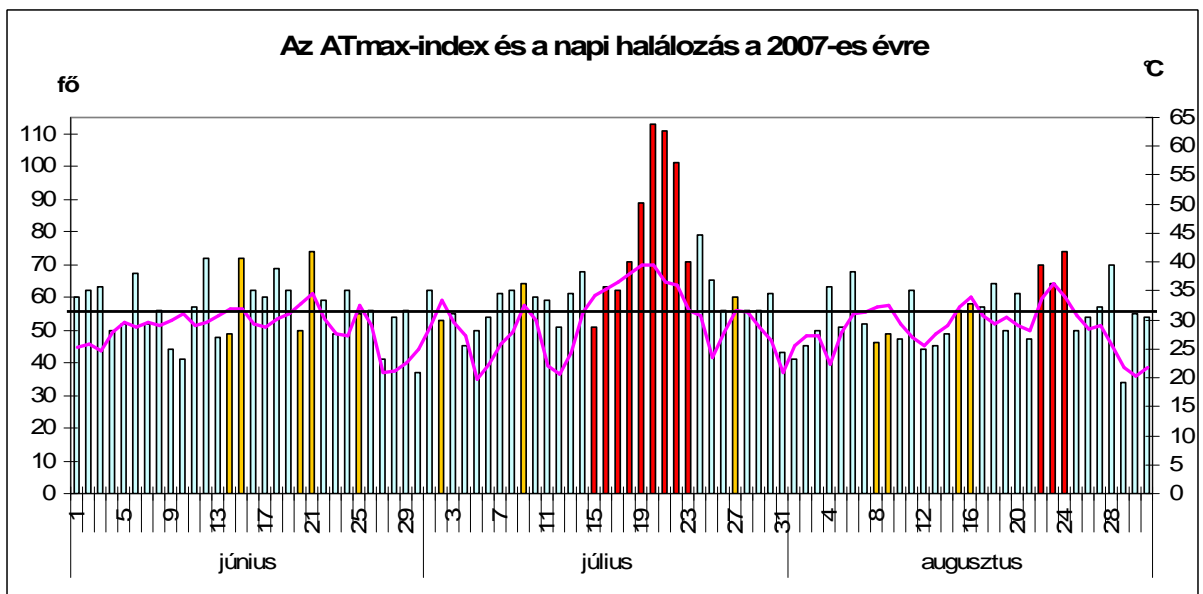
5. táblázat: A 2007-es év nyarára eső többlethalálozás a T_a, T_x és T_n indexek szerint, külön az összes küszöbértéket meghaladó hőmérsékletű napra (narancssárga+piros tartomány), és külön azokra a napokra, amelyek legalább egymás után 3 napon keresztül meghaladták a küszöbértéket (piros tartomány).

Az AT és az AT_{max} indexekkel is ugyanúgy elkészítettem a diagramokat, mint az előző három esetben. Látható, hogy a minimumhőmérséklet diagramjához hasonlóan itt is kisebb a piros és narancssárga tartomány. Az is szembetűnő, hogy az AT_{max} ábráján már csak két

pirossal jelölt időszak van. A második piros tartományra (augusztus 25-28.) csak figyelmeztető jelzést adtak ki, míg az az időszak, amelyet csupán két narancssárga oszlop jelöl (július 20-21.) másodfokú riadó jelzést kapott. A szembetűnő különbség ott mutatkozik meg legjobban, ha kiszámoljuk a riadójelzés (július 19-23.) és a figyelmeztetés (augusztus 22-25.) alatti halálestek számát, és levonjuk belőle az átlagos halálestszámot. Ekkor azt az eredményt kapjuk, hogy kétszer akkora többlethalálozással járt az az időszak, amelyre csak az egyszerű figyelmeztetés volt kiadva.



21. ábra: A sötétkék görbe vonal az AT index által felvett értékeket mutatja, az oszlopok a napi halálestek számát Budapesten.



22. ábra: A rózsaszín görbe vonal az AT_{max} index által felvett értékeket mutatja Budapesten a 2007-es év nyári negyedére, az oszlopok pedig a napi halálestek számát.

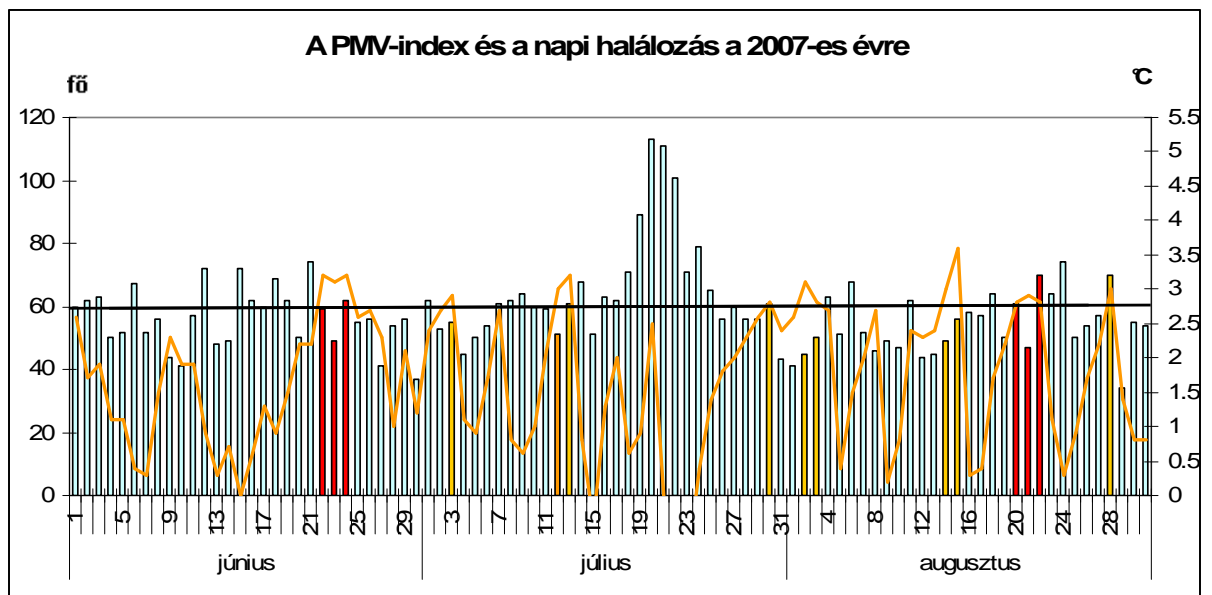
Ha összehasonlítjuk az 18.-20. ábrákat a 21-22. ábrákkal, láthatjuk, hogy kevesebb az olyan narancssárgával vagy pirossal jelzett nap, amelyen a napi halálesetek száma az átlagérték alatt marad. Ezért az 5. táblázathoz hasonlóan táblázatba foglaltam a többlethalálózást mindkét indexre. Ha az AT és az AT_{max} indexek meghaladják a saját küszöbértéküket (AT = 25,5°C, AT_{max} = 31,4°C) akkor az AT-indexre nagyobb többlethalálózást kapunk. Ha viszont csak a három napos vagy annál hosszabb időszakokat vizsgáljuk, arra az eredményre jutunk, hogy az AT_{max} index ad magasabb halálózási többletet.

narancssárga+piros tartomány			
	Többlethalálzás (fő)	Egy napra eső többlethalálzás (fő)	%
AT	310.9	14.1	25.58
Atmax	297.1	12.4	22.35
piros tartomány			
	Többlethalálzás (fő)	Egy napra eső többlethalálzás (fő)	%
AT	292.3	18.3	33.07
ATmax	275.5	22.9	41.47

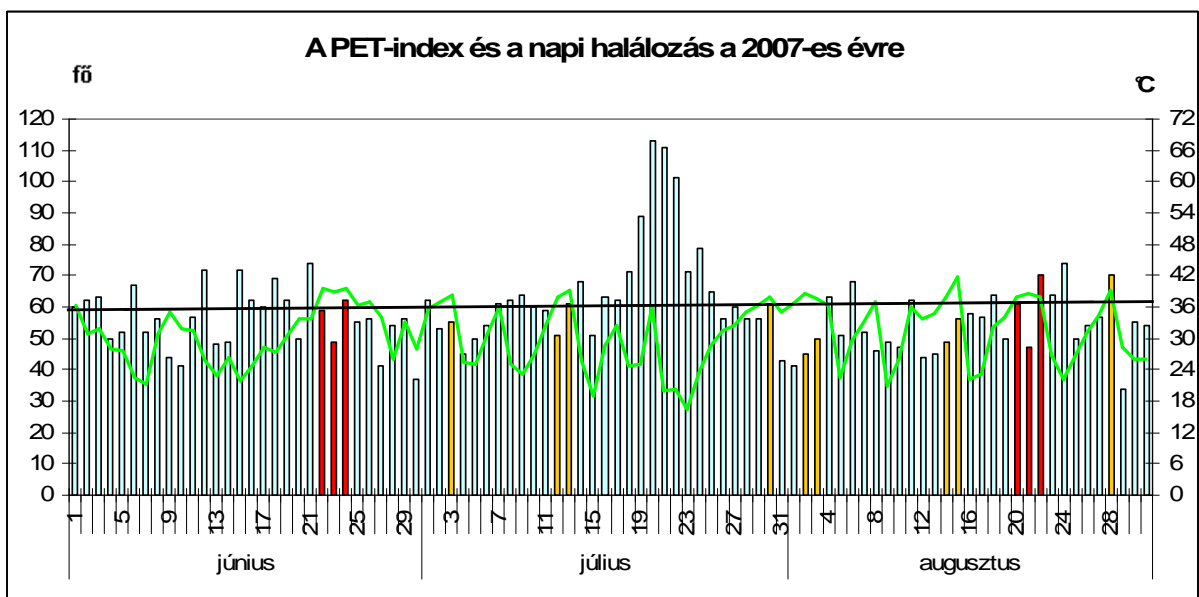
6. táblázat: A 2007-es év nyarára eső többlethalálózás az AT és AT_{max} indexek szerint.

Külön az összes küszöbértéket meghaladó hőmérsékletű napra (narancssárga+piros tartomány), és külön azokra a napokra, amelyek legalább egymás után három napon keresztül meghaladták a küszöbértéket (piros tartomány).

A továbbiakban a PMV, PET és UTCI indexeket vesszem sorra. Azonban csak a PMV és PET ábráit ágyaztam bele a dolgozatomba, az UTCI értékek alapján elkészített diagramot a PET indexével mutatott erős hasonlóság miatt a mellékletben helyeztem el.



23. ábra: A narancssárga görbe vonal az AT index által felvett értékeket mutatja, az oszlopok a napi halálesetek számát Budapesten.



23. ábra: A PET index értékeinek 2007-es évi alakulását a zöld görbe jelzi, az oszlopok a napi halálozást adják meg.

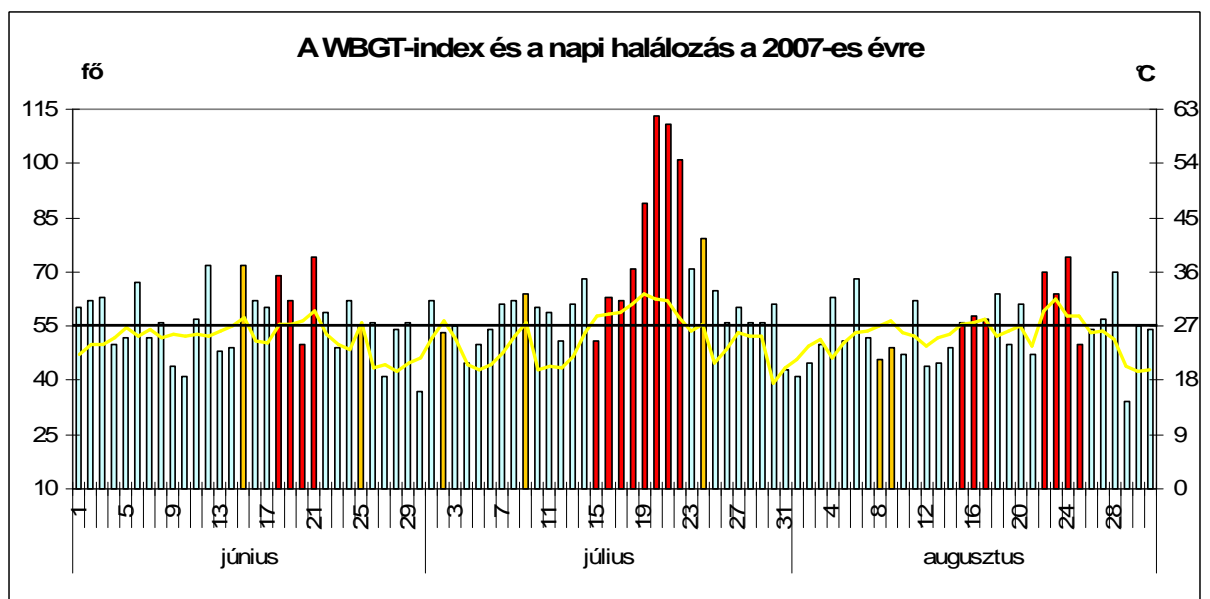
Ezekon a diagramokon is a már megszokott színezéseket használtam (piros, narancssárga). Mivel minden egyes indexhez a saját 80%-os gyakorisági intervallumára felvett átlaghalálozását vettem, ezért a PMV és PET ábráin a korábbi ábrák 55 körüli napi halálozási átlagától eltérően itt egy 60 körüli szám szerepel, melynek eredményeként kevesebb nap esik az átlag feletti tartományba. A 22-23. ábrákon két-két piros tartomány szerepel csak. Mindkettő egy-egy három napos időszakot takar és ugyanazokat a naptári napokat fedi le. A narancssárga oszlopokkal is hasonló a helyzet, ezek is egybeesnek. Vizsgálva a narancssárga-piros közös és külön a piros tartományt, halálozási többlet címén negatív értékeket kaptam. A 7. táblázat ezeket az eredményeket foglalja össze.

narancssárga+piros tartomány			
	Többlethalálzás (fő)	Egy napra eső többlethalálozás (fő)	%
PMV	-41.5	-2.7	-4.5
PET	-39.4	-2.6	-4.33
UTCI	-59.1	-3.5	-5.83
piros tartomány			
	Többlethalálzás (fő)	Egy napra eső többlethalálozás (fő)	%
PMV	-7	-1.2	-2
PET	-6.2	-1	-1.66
UTCI	-7.4	-1.2	-2

7. táblázat: A PMV, PET és UTCI indexek alapján a 2007 nyarára eső többlethalálozás, külön az összes küszöbértéket meghaladó hőmérsékletű napra (narancssárga+piros tartomány), és külön azokra a napokra, amelyek legalább egymás után 3 napon keresztül meghaladták a küszöbértéket (piros tartomány).

Ezek a negatív eredmények egyáltalán nem meglepőek, már a korábban tárgyalt éves bontású diagramokon is negatív értékeket adott ez a három index a többlethalálózás vizsgálatakor. De nem csak a 7. táblázatba foglalt adatok érvek mellett, hogy a három index közül egy sem alkalmas a jelenleginél jobb hőhullám-definíció megalkotásának alapjául. Ennél sokkal szemléletesebb és meggyőzőbb, ha arra a tartományra összpontosítunk a 24-25. ábrákon, ahol a legnagyobb többlethalálózást figyelhetjük meg. Ez az eddig taglalt indexek szerint 9-11 napos intervallum; a „nagy” júliusi hőhullám, melyből négy napon a többlethalálózás minden eddig tárgyalt index esetén meghaladta az 50%-ot. A két ábrán továbbá az is megfigyelhető, hogy ezen a július 14-től 24-ig terjedő tartományon egyik index sem vesz fel a küszöbértékénél nagyobb értéket. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy sem a PMV, sem a PET nem képes egy 50%-os, de még egy 100%-os halálózási többlet biztos kimutatására sem, míg a korábban taglalt öt másik index egyöntetűen kimutatta ezeket a napokat. (Látható az ábrákon, hogy július 18-án a PMV és PET indexek erősen megközelítik a küszöbértéküket, de ha ezt a napot beleszámolnánk a halálózási többletbe, akkor sem kapnánk olyan magas eredményeket, mint a többi index esetén.)

A WBGT index, melynek ábráján a rá vonatkozó küszöbérték (27°C) alapján négy tartományt jelöltem piros színnel, az átlag- és a maximumhőmérsékletek diagramjaihoz hasonlóan. A többlethalálózás számolása közben a következő eredményeket kaptam: a piros tartományon az átlaghőmérséklet és a maximumhőmérséklet közé sorolható be a WBGT index alapján számolt halálózási többlet, míg a kettős tartomány esetén ez a többlet megelőzi az AT_{max} indexet is, de még így is megelőzi az átlag-, a minimum- és az apparent hőmérséklet.



24. ábra

Az ábrák összehasonlításakor az is látszik, hogy az átlaghőmérséklet pirossal jelölt tartományai lefedik a WBGT pirossal jelölt részét, és már azt is tudjuk, hogy a számok az átlaghőmérséklet javára döntenek.

8. Összefoglalás

Dolgozatomban a budapesti halálozási adatok és meteorológiai paraméterek, illetve a belőlük számolt indexek között kerestem a kapcsolatot a nyári hónapokban. Ehhez egy 16 éves adatsor állt rendelkezésemre (1992-2007).

Először megvizsgáltam a különféle indexek kapcsolatát három különböző gyakorisági tartományon. A tartományok az indexek által felvett értékek legnagyobb 20, 5 és 2%-át foglalják magukba. A különböző tartományokon kiszámolt korrelációs együtthatók alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a 20%-os tartományon a leggyengébb, és a 2%-os intervallumon a legszorosabb az indexek kapcsolata, továbbá az indexek két csoportba sorolhatók kapcsolatrendszerük alapján. (Első csoport: T_a , T_x , T_n , AT, AT_{max} , WBGT; második csoport: PMV, PET, UTCI)

A meteorológiai paraméterek és a halálesetek számának nyári megnövekedése közötti kapcsolatot bioklímaindexek alakjában kerestem. Céloom az volt, hogy kimutassam, mely indexek alkalmasak Budapest esetében a hőhullámok okozta többlethalálozás előrejelzésére, és mekkora bizonyossággal képesek erre.

Ahhoz, hogy a folyamatosan változó népességszám és a téli hónapok magasabb halálozási értékei ne befolyásolják az eredményeket, minden index esetén csak a nyári negyedév adatait vizsgáltam, ezek közül vettem a 80%-os gyakorisági intervallumba eső napok haláleseteinek számát, és ezeket átlagoltam évenként. Az átlag és a napi halálesetek száma közti különbség adja a többlethalálozást, melyet az átlaghoz viszonyítva (százalékos formában) válik összehasonlíthatóvá a többi év többlethalálozásával. A rendelkezésemre álló adatsor alapján azt az eredményt kaptam, hogy a 20% intervallumokon az átlaghőmérséklet, az 5%-os intervallumon az AT, míg a 2%-os tartományon a maximumhőmérséklet esetén kapjuk a legnagyobb halálozási többletet.

Relatív gyakorisággal becsültem minden index esetén annak valószínűségét, hogy a különböző tartományokon adott indexhez tartozó küszöbérték túllépése várhatóan mekkora halálozási többlettel jár. Mind a többéves átlagok halálozási többlete alapján, mind a valószínűség becslésében az átlaghőmérséklet (20%-os tartományon), az AT (5%-os tartományon) és a maximumhőmérséklet (2%-os tartományon) szerepeltek a legjobban, míg a PMV, PET és UTCI indexek nagyon gyenge eredményekkel zártak.

Indexpárok létrehozásával biztosabbá tehető a halálozási többlet értékének becslése. Azok az indexpárok adnak lényegesen jobb becslést, amelyek között gyengébb a kapcsolat.

(Az AT-T_n párosítás mind a három tartományon jobbnak bizonyult az egyes indexeknél. Érdemes lenne más módszerekkel is vizsgálni, hogy mennyire megbízható, és érdemes-e a gyakorlatban való hasznosításra.)

A 2007-es évre készített esettanulmány alapján elmondható, hogy a 20%-os gyakorisági intervallumokon az összes index közül a minimumhőmérséklet vette fel a legnagyobb értékeket. Tehát a vizsgált évben az 19,7°C feletti minimumhőmérsékletű napok jobban növelték a halálzási többletet, mint a többi index küszöbértékeit meghaladókat. Az esettanulmányból az is kitűnik, hogy a tartós meleg (legalább 3 nap) indexenként más-más mértékben (7%-10%) növeli az átlagos halálzási többletet. A PMV, PET és UTCI indexek vizsgálatakor negatív értéket adtak a halálzási többletre. Ráadásul a legnagyobb (50-100%) halálzási többleteket sem voltak képesek teljes bizonyossággal kimutatni, ezért a vizsgált intervallumokon nem alkalmasak a halálzás és a meteorológiai paraméterek közötti kapcsolat leírására.

Végül azzal zárnám dolgozatomat, hogy a jelenleg hazánkban használatban lévő hőségriasztási rendszer az általam vizsgált indexek közül a 20%-os intervallumban legjobb eredményeket felmutató átlaghőmérsékletet használja. Ez az intervallum éppen úgy lett megalkotva, hogy küszöbértéke (25°C) egybeessen a riasztási küszöbértékkel. A riasztási rendszer második és harmadik fokának küszöbe azonban nem esik egybe sem az 5%-os, sem a 2%-os tartományokkal. Így bár lehetségesnek tartom, de vizsgálataim alapján nem tudom bizonyítani, hogy az apparent hőmérséklet a szűkebb tartományokon pontosabb becslést tudna adni a halálzási többletre, mint a jelenleg használt átlaghőmérséklet. Ennek kimutatásához vagy megcáfolásához azonban további vizsgálatok szükségesek.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni a rengeteg segítséget Dr. Páldy Annának és Bobvos Jánosnak, akik építő ötletekkel, a témához kapcsolódó anyagokkal láttak el, és az adatok elemzésében is segítséget nyújtva támogatták munkámat.

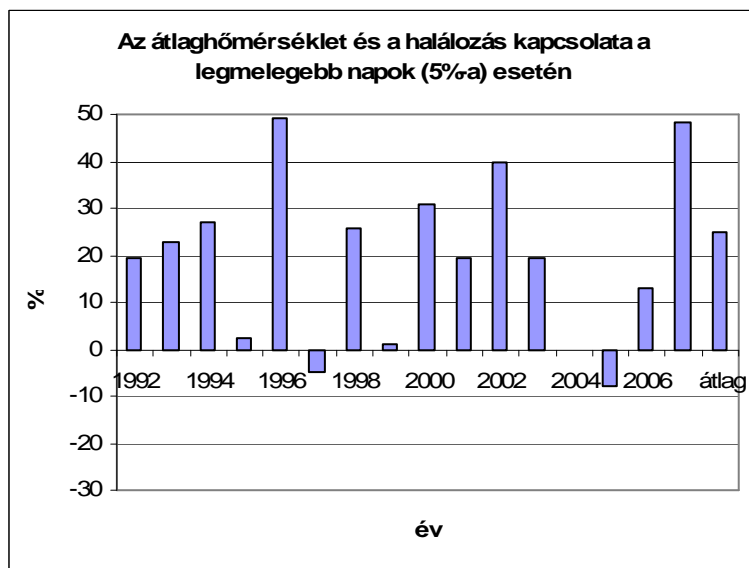
Köszönetemet fejezem ki Németh Ákosnak is, aki témafelvetésével inspirálta dolgozatomat, és biztosította számomra a meteorológiai adatokhoz való hozzáférést.

Hálával tartozom Dr. Havasi Ágnesnek, aki észrevételeivel támogatta és szabadidejét nem sajnálva segítette dolgozatom határidőre történő befejezését.

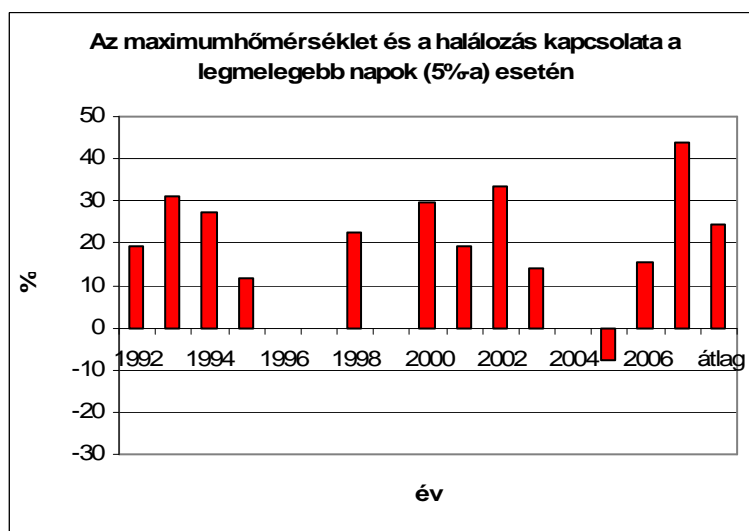
Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni a segítséget dr. Paszternák Zalánnak, aki segítséget nyújtott az angol nyelvű szakcikkek fordításában.

Mellékletek

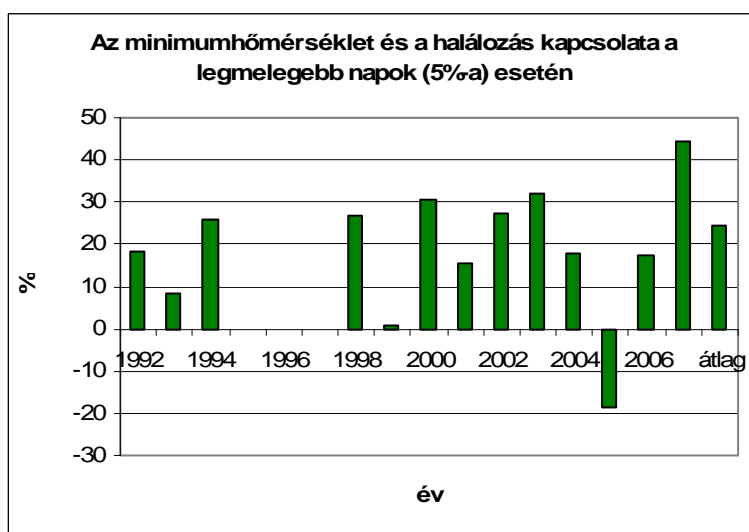
Az *1-3. ábrák* az 5%-os, a *4-6. ábrák* pedig a 2%-os gyakorisági intervallumon ábrázolják a halálzási többletet éves bontásban a T_a , T_x és T_n indexekre.



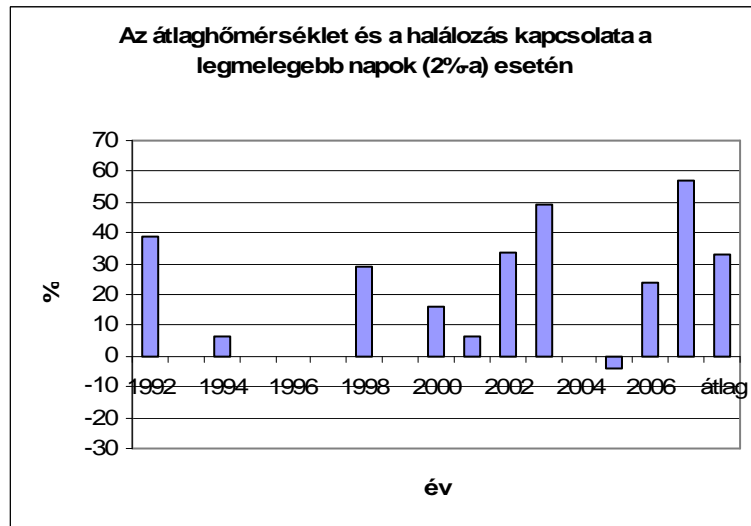
1.ábra



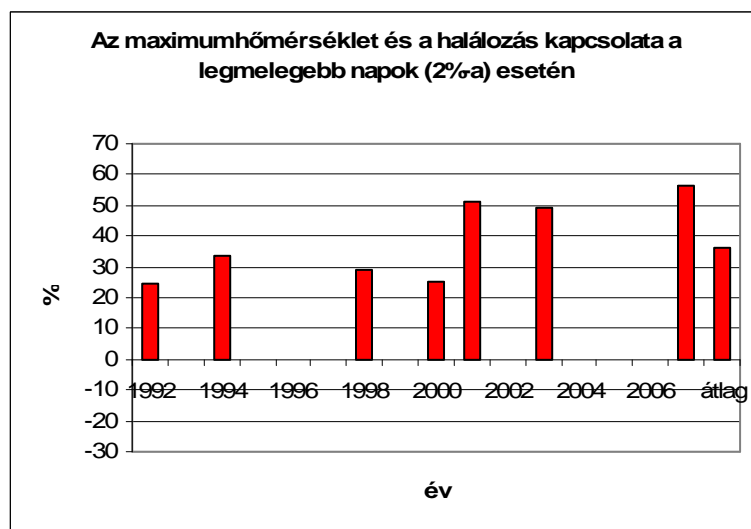
2.ábra



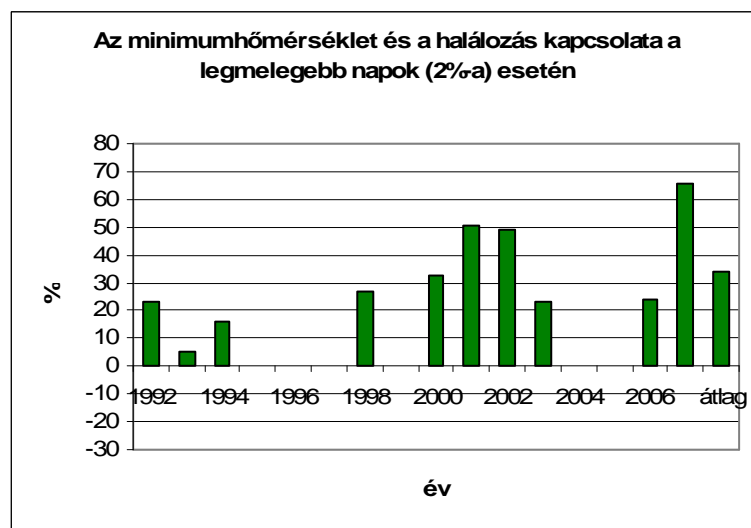
3.ábra



4.ábra

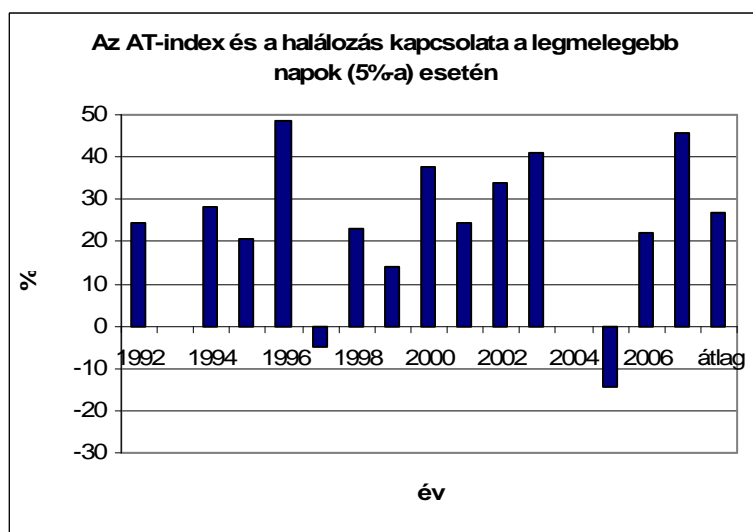


5.ábra

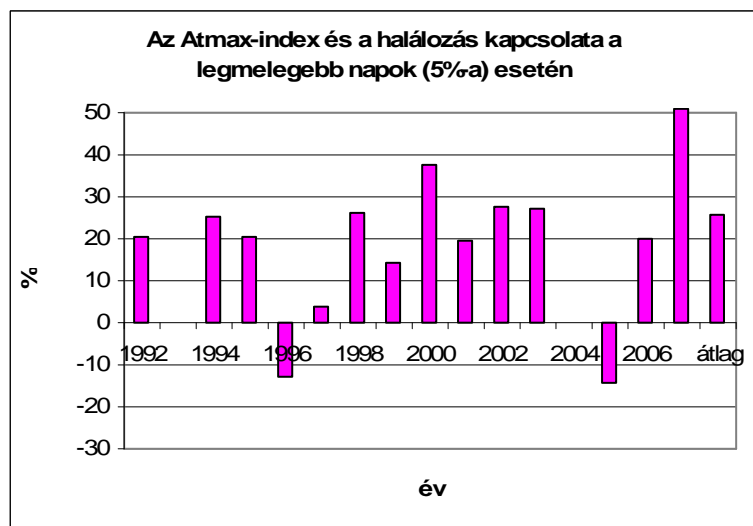


6.ábra

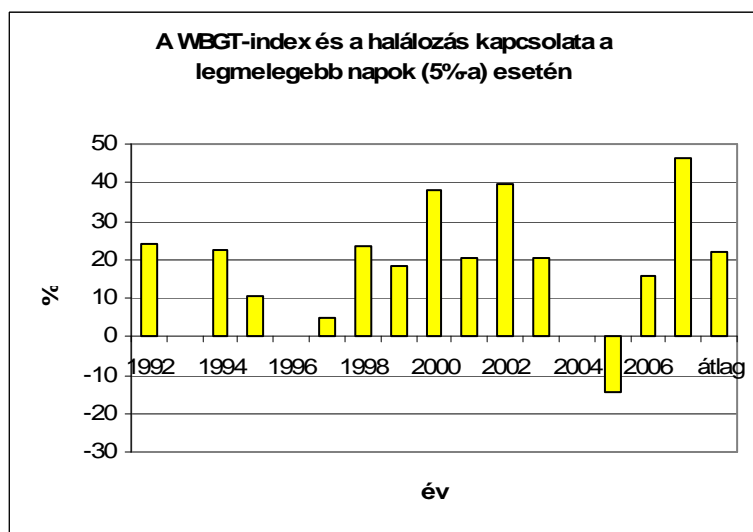
Az **7-9. ábrák** az 5%-os, a **10-12. ábrák** pedig a 2%-os gyakorisági intervallumon ábrázolják a halálzási többleteket éves bontásban a AT, AT_{max} és WBGT indexekre.



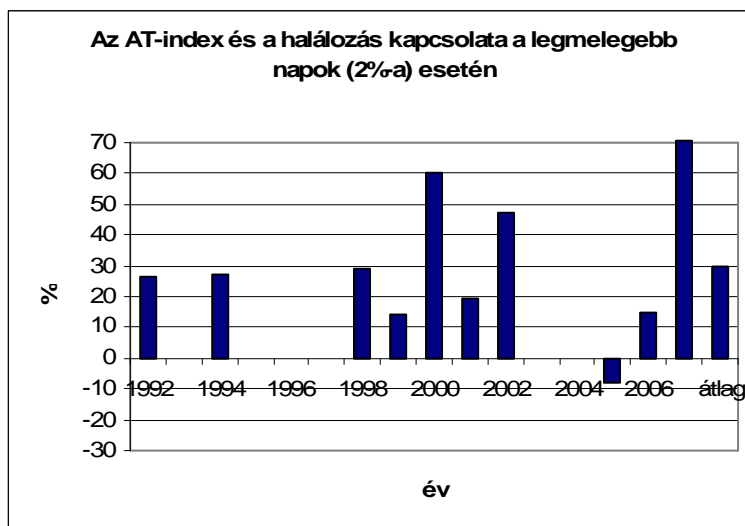
7.ábra



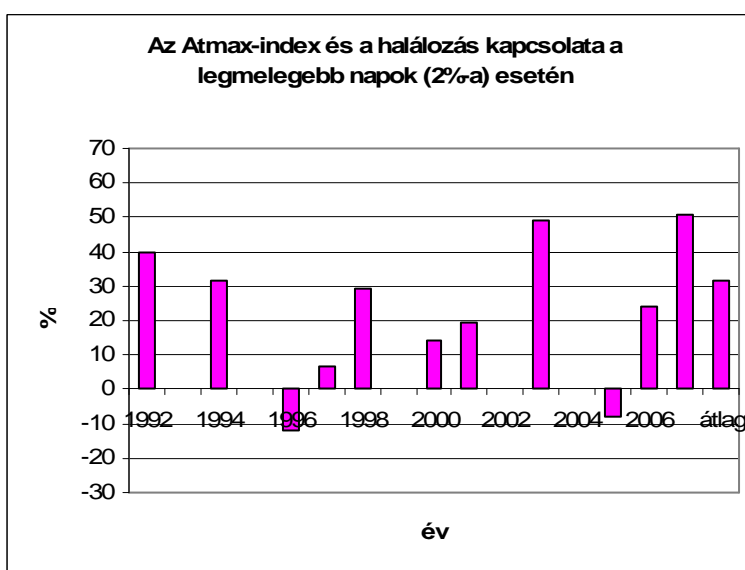
8.ábra



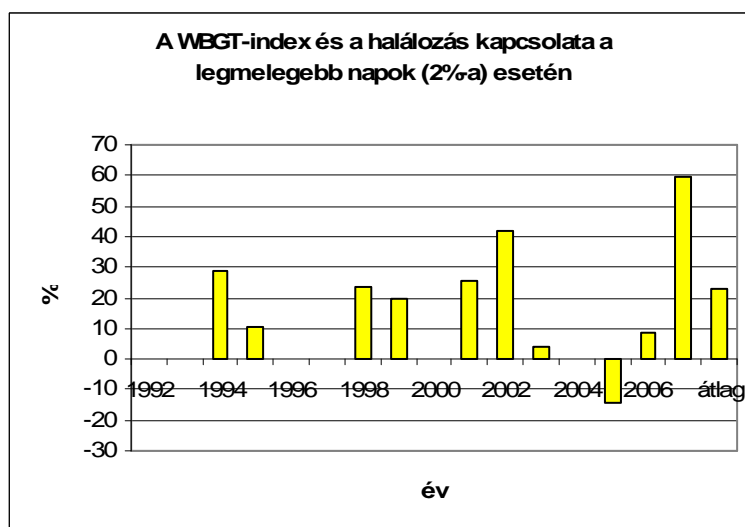
9.ábra



10.ábra

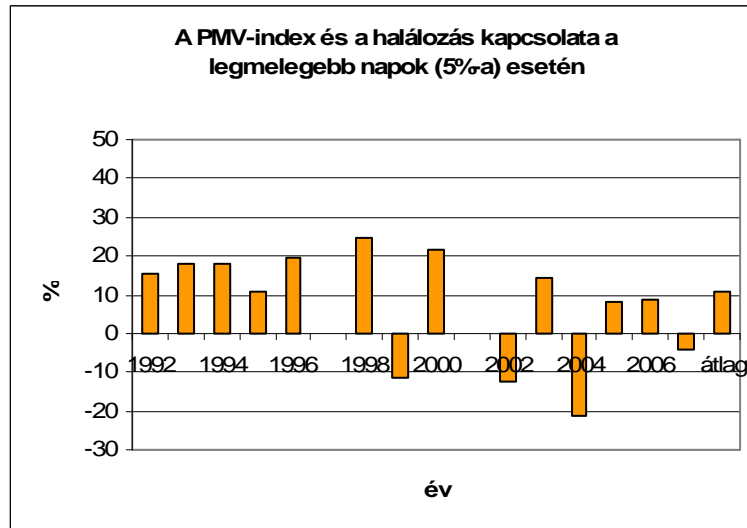


11.ábra

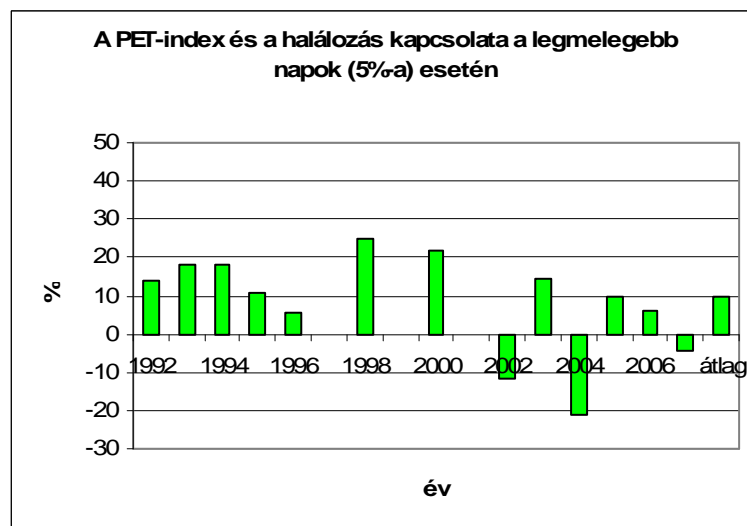


12.ábra

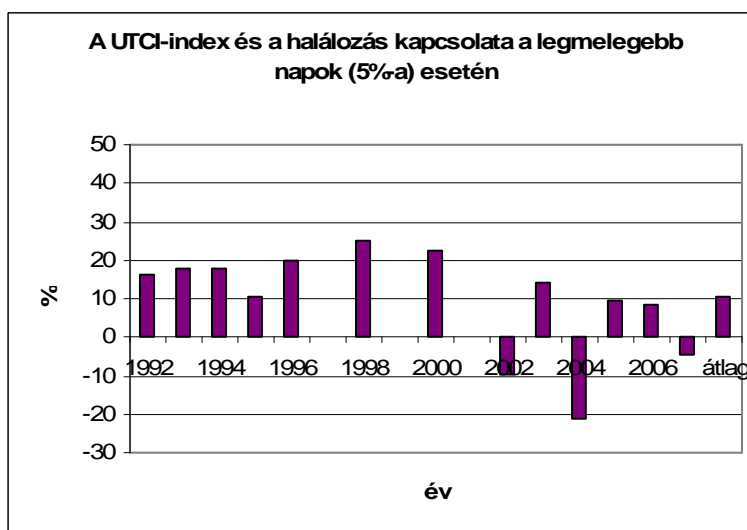
Az **13-15.ábrák** az 5%-os, a **16-18. ábrák** pedig a 2%-os gyakorisági intervallumon ábrázolják a halálzási többleteket éves bontásban a PMV, PET és UTCI indexekre.



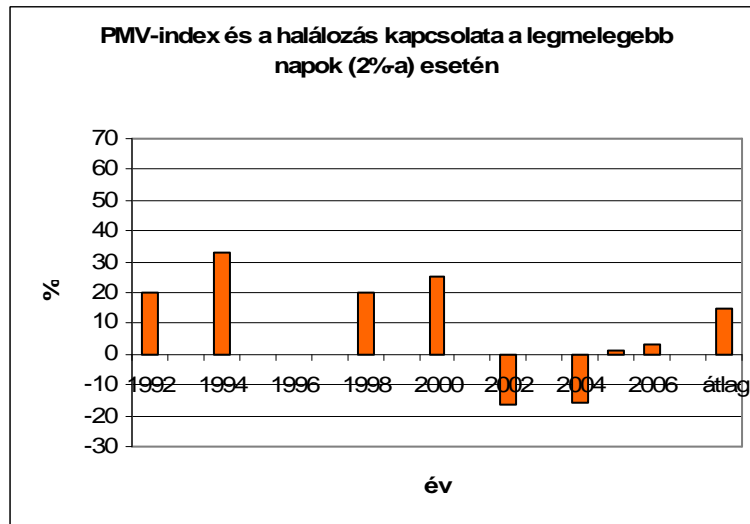
13.ábra



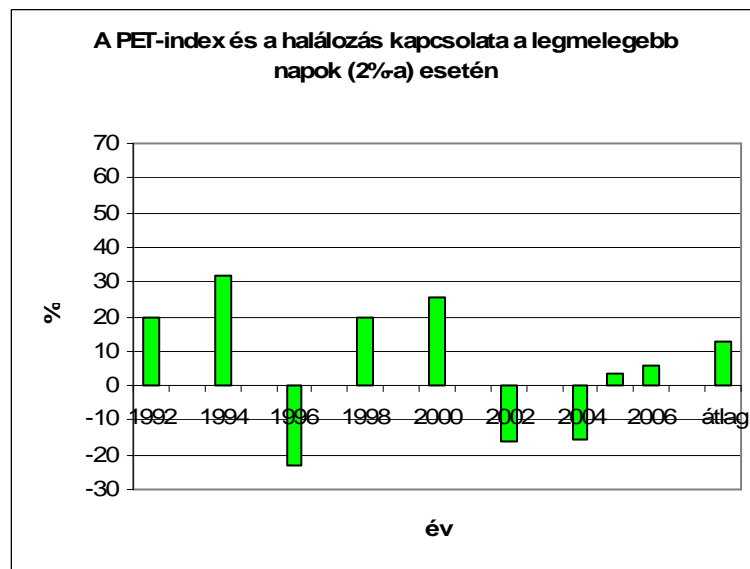
14.ábra



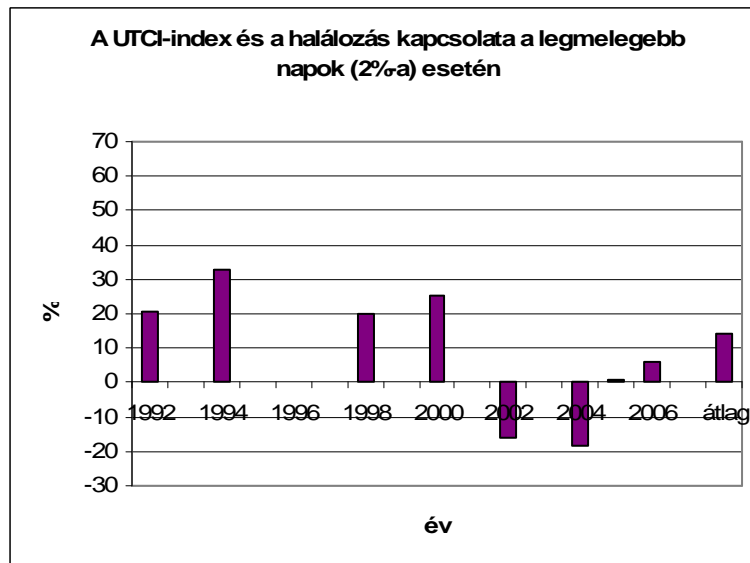
15.ábra



16.ábra

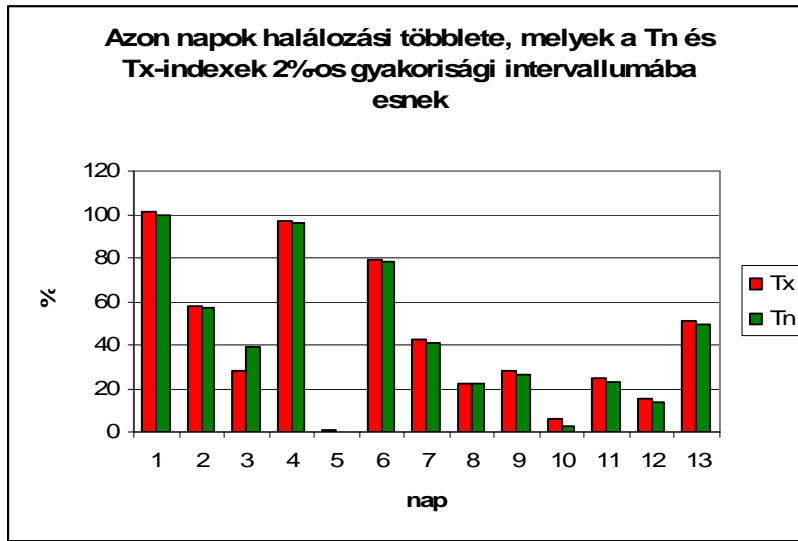


17.ábra

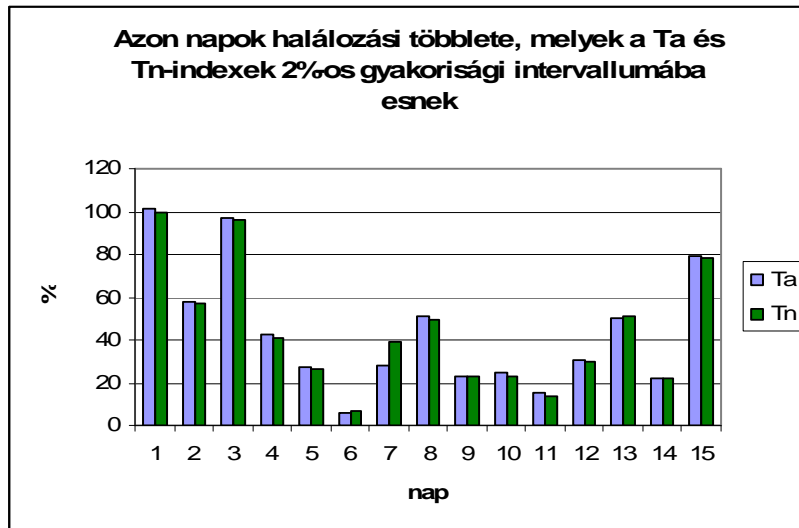


18.ábra

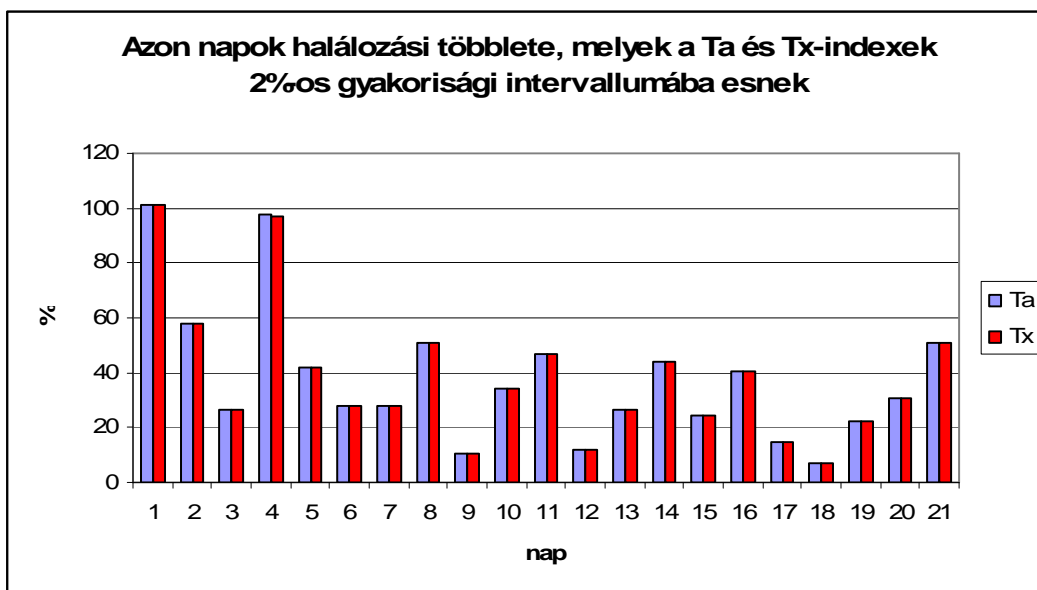
A **19-21.ábrák** azon napokon ábrázolják a halálozási többletet, amelyek mind a két index rangsorolása szerint bele estek a napok legmelegebb 2%-ába.



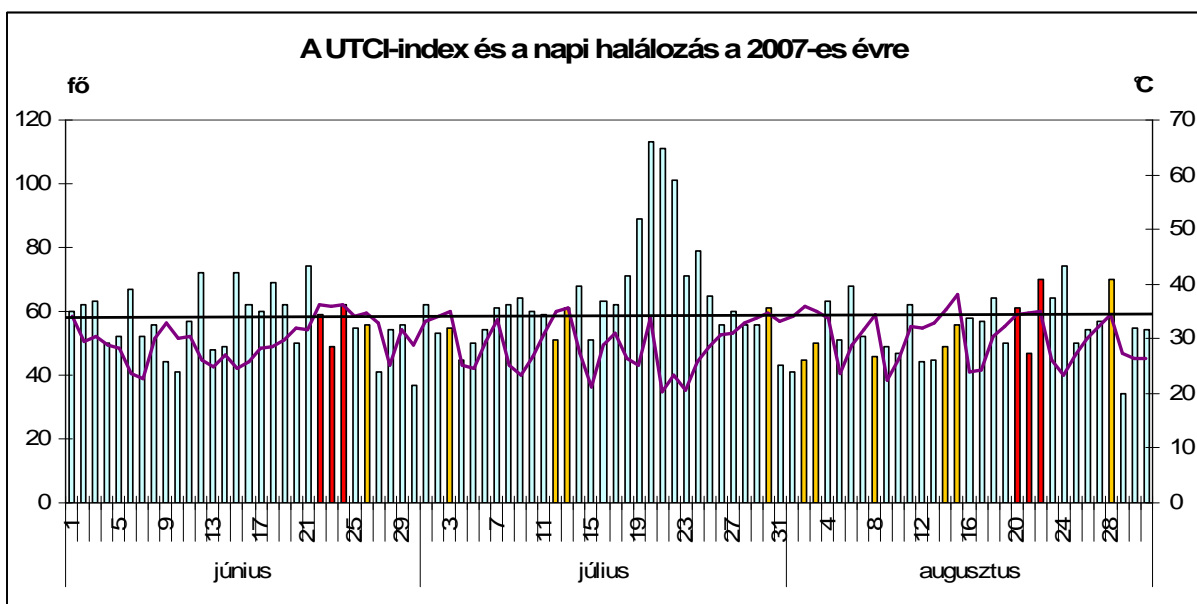
19.ábra



20.ábra



21.ábra



22.ábra: A 2007-es év esettanulmányához készített diagram, mely a halálozás és a UTCH-indexek menetét ábrázolja.

Párok	Halálozási többlet-->	Halálozási többlet						
		<0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Ta-Tx	20%	18.08	69.62	58.08	45	34.23	26.92	20
	5%	9.84	75.41	72.13	62.3	55.74	50.82	34.43
	2%	0	100	81.82	63.64	63.64	45.45	18.18
Ta-Tn	20%	17.76	71.5	59.35	48.13	37.38	30.84	22.9
	5%	4.35	86.96	80.43	71.74	67.39	60.87	43.48
	2%	0	100	93.33	86.67	86.67	66.67	60
Tx-Tn	20%	16.92	71.64	61.19	49.25	37.81	31.34	23.88
	5%	4.76	85.71	80.95	73.81	66.67	61.9	45.24
	2%	0	84.62	84.62	84.62	76.92	61.54	53.85
AT-Atx	20%	19.84	68.09	59.53	45.91	34.63	26.85	19.84
	5%	19.67	88.52	83.61	73.77	65.57	54.1	39.34
	2%	15	80	75	75	70	65	40
AT-Tn	20%	19.09	71.82	59.09	47.27	36.82	30	21.82
	5%	6.25	87.5	85.42	79.17	72.92	62.5	41.67
	2%	0	100	100	92.31	84.62	84.62	53.85
Atx-Tn	20%	17.73	71.43	61.58	49.75	38.92	31.03	23.65
	5%	6.52	84.78	82.61	76.09	69.57	58.7	41.3
	2%	0	90.91	90.91	90.91	81.82	81.82	45.45
Hármasok								
Ta-Tx-Tn	20%	15.79	72.63	61.58	49.47	37.89	31.58	24.21
	5%	5.26	86.84	81.58	73.68	68.42	63.16	44.74
	2%	0	100	100	100	100	81.82	81.82
AT-Atx-Tn	20%	17.01	71.65	62.37	50.52	39.18	30.93	23.2
	5%	6.98	88.37	83.72	76.74	72.09	60.47	41.86
	2%	0	100	100	100	88.89	88.89	55.56

1. táblázat: A táblázatban foglalt értékek annak a valószínűségét becsülik, hogy adott indexpárok és hármasok esetén mekkora a valószínűsége egy adott halálozási többletnek. A három intervallumon (2%,5%, és 20%) külön-külön.

Irodalomjegyzék

- Baccini, M. et al. (2008): *Effects on Mortality in 15 European Cities*. *Epidemiology*, **19/5**, 711-719.
- Bartholy, J. (2007): *A hőmérsékleti extrémumok várható alakulása a Kárpát-medence térségében a XXI. század végén*. „KLÍMA-21” Füzetek **51**, 3-17.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Dezső, Zs., (2005): *A hazai nagyvárosok hősziget hatásának elemzése finomfelbontású műholdképek alapján*. „AGRO-21” Füzetek **44**, 32-44
- Fanger, P. O. (1972): *Thermal Comfort*. McGraw Hill, New York
- Harrington, J. M., Gardiner, K. (1980): *Occupational Hygiene*. Blackwell Science, Oxford
- Hornýák, I. (2008): *Elsősegélynyújtás*. Semmelweis Egyetem, Budapest.
- Höppe, P. R. (1999): The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.*, **43/2**, 71-75
- Jendritzky, G., et al. (2007): *The Universal Thermal Climate Index UTCI. Goal and state of COST Action 730*. I.B. Mekjavic, S.N. Kounalakis, N.A.S. Taylor, eds. Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Ergonomics. August 19-24, 2007, Piran Slovenia. Ljubljana, Biomed., p. 509-512.
- Kishonti, K., Páldy, A., Bobvos, J.(2007): *A hőhullámok egészségre gyakorolt káros hatásainak ismerete Magyarországon a városi lakosság körében*. „KLÍMA-21” Füzetek **50**, 13-28.
- Kovats, S., Ebi, K. (2006): *Heatwaves and public health in Europe*. *European Journal of Public Health*, **16/6**, 592-599.
- Kuttler, W. (2008): *Zum Klima im urbanen Raum*. Deutscher Wetterdienst, Klimastatusbericht 2008, 6-12
- Láng, I., Csetre, L., Jolánkai, M. (2007): *A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- Magyar, I., Petrányi Gy. (1977): *A belgyógyászat alapjai I*. Medicina Könyvkiadó, Budapest.
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M. G. (1999): *Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature*. *Int. J. Biometeorol.*, **43/2**: 76-84
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. (2007): *Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model*. *Int. J. Biometeorol.*, **51/4**: 323-334

- Mayer, H., Matzarakis, A. (1998): *Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component*. Proceedings of the Int. Symposium on Monitoring and Management of Urban Heat Island, Fujisawa-Japan, p. 155-168
- Páldy A. et al. (2003): A klíma egészségi hatásai. „AGRO-21” Füzetek **32**, 62-76.
- Páldy.A et al. (2005): *The effect of temperature and heat waves on daily mortality in Budapest, Hungary, 1970-2000*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, p. 99-107.
- Páldy, A., Bobvos, J. (2008): *A 2007. Évi Magyarországi hőhullámok egészségi hatásainak elemzése- előzmények és tapasztalatok*. „KLÍMA-21” Füzetek **52**, 3-15.
- Robinson, P. J. (2001): *On the Definition of a Heat Wave*. Journal of applied meteorology, **40**, 762- 775.
- Schuh A. (2007): *Biowetter. Wie das Wetter unsere Gesundheit beeinflusst*. Verlag C.H. Beck oHG, München.
- Unger, J., Gulyás, Á., Matzarakis, A. (2005): *Eltérő belvárosi mikrokozmoszok hatása a humán bioklimatikus komfortérzetre*. Légkör, **50/1**: 9-14

Felhasznált internetes oldalak:

Australian Government Bureau of Meteorology/Ausztrál Meteorológiai Kormányiroda:
<http://www.bom.gov.au/>

UK climate projections: <http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/>

European Commission/Európai Bizottság: <http://ec.europa.eu/>

Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat: <http://www.antsz.hu/>

NYILATKOZAT

Név: Marton Annamária

ELTE Természettudományi Kar, szak: Földtudomány BSc, meteorológia szakirány

ETR azonosító: MAAPABT.ELTE

Szakdolgozat címe: Hőhullámok vizsgálata Budapesten bioklímaindexek felhasználásával

A **szakdolgozat** szerzőjeként fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Budapest, 2010. 05. 14.

a hallgató aláírása