

A globális klímaváltozás egészségügyi hatásai Európában és Magyarországon

**SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNY ALAPSZAK
METEOROLÓGIA SZAKIRÁNY**



Készítette: Bartha Enikő-Boglár

Témavezető: Dr. Pongrácz Rita

**Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudomány Intézet
Meteorológiai Tanszék**

Budapest, 2010.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. A klímaváltozás egészségügyi hatásai	4
2.1. Közvetlen hatások	4
2.2. Közvetett hatások	5
2.2.1. Légzőszervi megbetegedések.....	5
2.2.2. UV sugárzás.....	6
2.2.3. Vektor által terjesztett vírusos és bakteriális fertőzések.....	7
2.3. Katasztrófák okozta fertőzések	7
3. Hőhullámok egészségügyi hatásai	8
3.1. Az emberi szervezet hőérzete	8
3.2. A hőhullámok hatása	9
3.3. A hőségriasztás hazai fokozatai	13
3.4. A 2003-as európai hőhullám	14
4. Magyarországi hőhullámok várható változása szimulált hőmérsékleti adatok alapján	19
4.1. A felhasznált regionális modell: RegCM	19
4.2. A hőségriadós napok átlagos éves számának várható tendenciái.....	20
4.2.1. I. fokozatú hőségriadós napok	20
4.2.2. II. fokozatú hőségriadós napok.....	22
4.2.3. III. fokozatú hőségriadós napok.....	24
4.2.4. A hőségriasztási napok átlagos éves száma Magyarország rácspontjaira ...	25
4.3. A hőségriadó éven belüli átlagos előfordulási időszakának várható tendenciái ...	26
4.3.1. I. fokozatú hőségriadós napok előfordulási időszaka az éven belül	26
4.3.2. II. fokozatú hőségriadós napok előfordulás időszaka az éven belül.....	29
4.3.3. A hőségriadó átlagos előfordulási időszaka Magyarország rácspontjaira ...	32
4.4. A hőségriadós napok átlagos májusi számának területi eloszlása.....	33
4.4.1. I. fokozatú hőségriadós napok májusban	34
4.4.2. II. fokozatú hőségriadós napok májusban.....	35
4.4.3. III. fokozatú hőségriadós napok májusban	35
5. Összefoglalás	37
Köszönetnyilvánítás	38
Irodalomjegyzék	39

1. Bevezetés

A világ kutatóinak döntő többsége egyetért abban, hogy megkezdődött a globális felmelegedés időszaka. Nemzetközi adatok szerint 1950 és 2003 között a Föld felszínének átlaghőmérséklete 13,87 °C-ról 14,52 °C-ra növekedett (Láng et al., 2006). Míg a fosszilis energiaforrásokból 1950-ben 1612 millió tonna szén jutott a légkörbe, addig 2003-ban már 6999 millió tonna (IPCC, 2007). Ez a nagy mértékű kibocsátás-növekedés egyre jobban érezteti hatását földi környezetünkben.

A globális felmelegedés egyik következménye a szélsőséges meteorológiai események számának és intenzitásának növekedése, ami a globális vagy regionális klíma megváltozását eredményezheti (IPCC, 2007). A földi klímaváltozásnak a környezetre, ökoszisztémára, gazdaságra és a társadalomra gyakorolt hatása mellett komoly egészségügyi hatásai is lehetnek (pl.: Haines et al., 2000; Patz és Khaliq, 2002; Confalonieri et al., 2007).

A szakdolgozat célja, hogy az alábbi fő kérdésekre válaszoljunk.

- A globális klímaváltozás mely tényezői hatnak az emberi egészségre?
- Melyek a globális klímaváltozás várható humán-egészségügyi hatásai?
- Milyen hatásokkal számolhatunk a hőhullámok esetén?
- Milyen változások várhatóak a magyarországi hőhullámok alakulásában?

A dolgozatban összefoglaljuk az éghajlatváltozás humán-egészségügyi hatásaira vonatkozó hazai és nemzetközi kutatásokat, ezt követően pedig a hőhullámokra fókuszálunk. Esettanulmány formájában részletesen bemutatjuk a 2003. évi európai hőhullámot és humán-egészségügyi következményeit. A szakdolgozat 4. fejezetében arra keressük a választ, hogy milyen jövőbeni változások várhatók a hazai hőhullámok előfordulásában. Ehhez a 10 km-es felbontású RegCM modell A1B globális scenáriót figyelembe vevő szimulált adatbázisát használjuk fel. Az eredményeket térképek, illetve szimulált idősorokat tartalmazó grafikonok segítségével értékeljük, végül az összefoglalásban összegezzük a vizsgálatainkból levonható következtetéseket.

2. A klímaváltozás egészségügyi hatásai

Az éghajlatváltozással összefüggésbe lévő egészségügyi hatásokat McMichael (1993) az alábbi három kategóriába sorolta:

- direkt, azonnali hatások, melyeket a szélsőséges időjárási helyzetek (kánikula, fagyok) közvetlen módon idéznek elő;
- indirekt, vagyis ökológiai hatások, amelyek közvetett módon betegítenek meg (pl.: allergia, vektor által terjesztett vírusos és bakteriális fertőzések);
- katasztrófák okozta fertőzések, a klímaváltozás következtében kialakult extrém helyzetek (árvizek, hurrikánok, stb.) okozta fokozódó fertőzésveszély.

Az alábbiakban e csoportokkal kapcsolatban foglaljuk össze az egészségügyi hatásokra vonatkozó hazai és nemzetközi kutatásokat.

2.1. Közvetlen hatások

A klímaváltozás hatásai rendkívül érzékenyen érintik az emberi szervezetet. A korábbi éghajlati viszonyokhoz szokott embert, s az egész emberi kultúrát új helyzet elé állítja a gyorsuló éghajlatváltozás és annak hatásai. A lakosság egészségi állapotát a jövőben nagymértékben közvetlenül befolyásolni fogják az egyre gyakrabban, intenzívebben előforduló szélsőséges időjárási események.

A szélsőséges időjárási események közül elsősorban a melegrekordok és a hirtelen növekvő hőmérséklet érintik negatívan a lakosság egészségügyi állapotát. Az éghajlatváltozással összefüggő egészségügyi hatások eltérően érintik a lakosság egyes csoportjait. Az Egészségügyi Világszervezet 2006-os jelentésében megállapította, és a hazai vizsgálatok is megerősítették, hogy a 4 év alatti gyerekek, a 65 év feletti idősök, a túlsúlyos emberek és az ágyban fekvő betegek a legérzékenyebbek (WHO, 2006). A hőség hullámok idején várható magas hőmérséklet, nyári melegrekordok miatt az elkövetkezendő időszakban valószínűsíthető a többlethalálozás, illetve a sürgősségi mentőhívások számának jelentős növekedése (McMichael, 2006), erről majd bővebben a 3. fejezetben lesz szó. A magasabb nyári hőmérséklet különösen a városban élőket érinti kedvezőtlenül, ugyanis a városokban 2-8 °C-kal melegebb is lehet az építészeti és beépítettségi körülményektől függően (Thommen Dombois és Braun-Fahrländer, 2004). Az intenzív frontthatások fokozhatják a balesetveszélyt, valamint munkateljesítmény-csökkenést is okozhatnak. A városokban a magasabb halálozási ráta a hősziget-hatással magyarázható: Az épületek és

építkezések sokaságával magasabb hőmérsékletek várhatók, mivel az éjszakai lehülés csekélyebb, mint vidéken (Thommen Dombois és Braun-Fahrländer, 2004). Általánosan a városklíma külterülethez rögzített eltéréseit az alábbiakban foglaljuk össze Schirmer és munkatársai (1993) alapján:

- alacsonyabb globálsugárzás (akár 20%-kal kevesebb)
- magasabb hőmérséklet (akár 1,5 °C-kal több)
- alacsonyabb relatív nedvesség tartalom (akár 10%-kal kevesebb)
- kisebb párolgás (akár 60%-kal kisebb)
- kisebb szélsébség (akár 30%-kal kevesebb).

2.2. Közvetett hatások

Ebben a fejezetben bemutatjuk az éghajlatváltozás egészségügyi hatásai közül a légzőszervi megbetegedéseket, az UV sugárzás káros hatásait, valamint a vektor által terjesztett vírusos és bakteriális fertőzéseket.

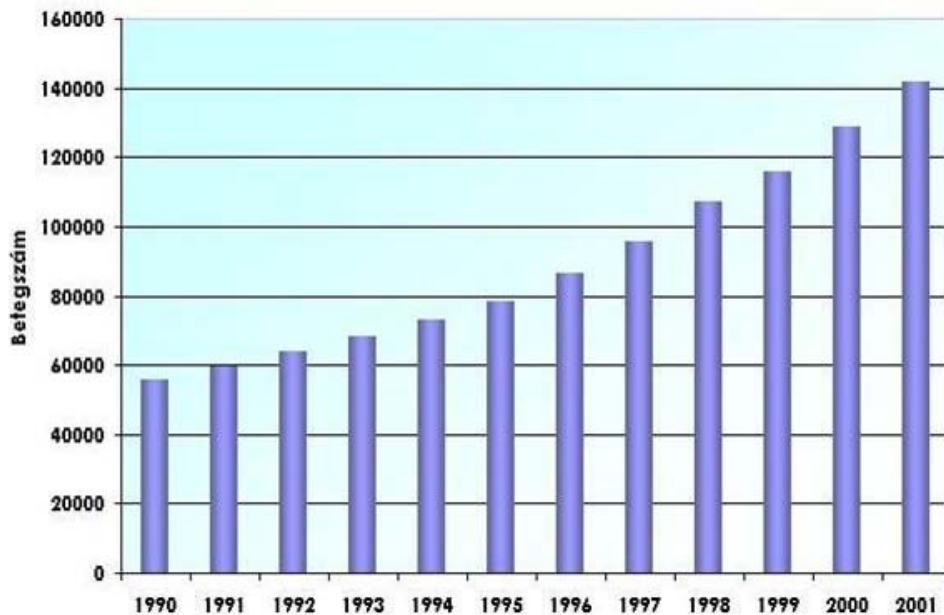
2.2.1. Légzőszervi megbetegedések

A klímaváltozás közvetett módon hat az allergiásokra. Ők általa válnak mindinkább érintetteké, mivel az éghajlatváltozás megváltoztatja az allergiát okozó pollen kiporzásának időszakát, valamint a pollen mennyiségét. Az emelkedő légköri CO₂ koncentráció és a melegebb hőmérséklet kitolhatja például a parlagfű pollenjének levegőben történő tartózkodását, s meghosszabbíthatja a parlagfű pollenszezont (Emberlin et al., 2002). Az eddigi allergének fokozottabb jelenléte mellett újabbak is megjelenhetnek. Például komoly kockázati tényező lehet az elkövetkező tíz évben, hogy a mediterrán éghajlaton őshonos és ott jelentős allergénnek számító növények – olajfűz, tiszafa, ciprusfélék – hazánkban is kezdenek elterjedni, és az arra érzékenyek esetében allergiás tüneteket okozhatnak. Ezek a tényezők az allergiás szénanáthában szenvedők korai tavaszi gyulladási tüneteinek fokozódását, és az allergiás időszak meghosszabbodását jelenthetik.

Az éghajlatváltozás bizonyos időjárási körülmények között kedvezőtlen hatással van a légszennyező anyagok koncentrációjára is. Hosszan tartó napsütés és csekély légmozgás következtében például megemelkedik a felszínközeli ózon koncentrációja a nagyvárosokban és azok környezetében (Casimiro és Calheiros, 2002). Reális veszélyt jelenthet a közlekedésből származó nitrogén-oxidok, nitrogén-dioxidok különösen magas koncentrációja, amely könnyen szmog kialakulásához is vezethet. A légszennyező anyagok

magas koncentrációja egyértelműen növeli a légzőszervi megbetegedések számát (de Grujl et al., 2003). Az ózon akut hatásaihoz tartozik a nyálkahártya irritáció, gyulladásreakciók a légutakban, a tüdő működésének zavarásai, életveszélyes légzési problémák, sőt, akár idő előtti halálozások.

Az ózonnal való érzékenység személyfüggő, mivel az ózonterhelés a kisgyerekeknek, asztmás személyeknek és idős embereknek nagyobb problémát jelent, mint az egészséges felnőtteknél. Egy kaliforniai tanulmány (McConnell et al., 2002) szerint azoknál a gyerekeknél, akik a szabadban sportolnak és emellett rendszeresen magas ózonkoncentrációjú környezetben tartózkodnak, nagyobb a kockázata, hogy asztmásak legyenek. Az asztmás betegek száma Magyarországon is növekvő tendenciát mutat, mint ahogy ezt az 1. ábra is szemlélteti.



1. ábra: Magyarországon nyilvántartott asztmás betegek számának alakulása, 1990-2001 (Pataki et al., 2002)

2.2.2. UV sugárzás

A felhőzet csökkenése következtében megnövekszik az ultraibolya sugárzás (UVB), ami összefügg a bőr rosszindulatú daganatainak kialakulásával, valamint elősegíti a szürkehályog kialakulását (IPCC, 2007). Az országos rákregiszter adatai szerint a 2001-2005 közötti időszakban a rosszindulatú festékes bőrdaganatok (melanoma) száma mintegy 40%-kal növekedett Magyarországon (Páldy et al., 2005). A megnövekedett UVB-sugárzás károsan hat az immunrendszerre is (Thommen Dombois, 2005): fokozódik a fertőzésekre való fogékonyság, gyengül a sejtes immunválasz, csökken a megelőző

célzatú immunizálás ereje, valamint aktivizálódnak a szervezetben bujkáló vírusok (pl.: herpesz).

2.2.3. Vektor által terjesztett vírusos és bakteriális fertőzések

A klíma folyamatos felmelegedése az állatvilág szerkezetében ökológiai változásokat okoz. Bizonyos melegkedvelő fajok – például szúnyogok, kullancsok – száma jelentősen növekedhet, szélesebb körben terjesztve az általuk hordozott fertőző betegségeket. A kullancsok által terjesztett vírusos és bakteriális fertőzések – Lyme-kór, fertőző agyhártyagyulladás – száma 2004 óta lassan emelkedik (IPCC, 2007), annak köszönhetően, hogy az állatok szaporodási – és ezzel fertőzési ideje is – meghosszabbodik, valamint a téli enyhe időjárás miatt több ízeltlábú éli túl a hideg időszakot. Már Magyarországon (a Dunántúlon, Észak-Magyarországon és az Észak-Alföldön) is megjelent a rágcsálók által terjesztett hantavírus-fertőzés, valamint a szúnyogok által terjesztett nyugat-nílusi vírusherpesz is, amelyek eddig nem fordultak elő nálunk (Pejoch és Kriz, 2006).

2.3. Katasztrófák okozta fertőzések

A klímaváltozás következtében kialakult extrém időjárási helyzetek, mint például a gyakoribb áradások rendszeres velejárója az ivóvíz szennyeződése, ami fertőző betegségek terjedéséhez vezethet (Miettinen et al., 2001; Hunter, 2003). A tartósan fennálló hőség különösen az állóvizekben, felszíni víztározókban, mesterséges tavakban növelheti meg az elsősorban bélfertőzést okozó – például Salmonella – baktériumok számát (Kovats et al., 2004a).

Kovats és munkatársai (2004b) 10 európai országnak az 1999-2002 közötti időszak adatait vizsgálva megállapították, hogy a Salmonella megbetegedés gyakorisága és a hőmérsékletváltozás között lineáris kapcsolat van. Svájc esetében ez a lineáris összefüggés a 6 °C-os többlethőmérséklet fölött jelentkezik. Fontos hangsúlyozni, hogy a hirtelen lezúduló esőzések és az emiatt kialakuló áradások – a szennyvízkiömlések és bemosódások révén – szennyezhetik a sérülékeny ivóvízbázisokat és ezzel növelik a fertőzésveszélyt, továbbá tömeges megbetegedést okozhatnak. Galea és munkatársai (2005) tanulmánya szerint az árvíz után hosszú időre megnövekedik bizonyos mentális betegségek előfordulási gyakorisága. Az árvíz után hónapokig, sőt akár talán évekig is eltarthat az idegesség vagy depresszió, és így az árvizek valódi betegséget is okozhatnak csak ritkán értékelik valóságosan.

3. Hőhullámok egészségügyi hatásai

Az éghajlatváltozás egészségügyi hatásai közül jelen dolgozatban a hőhullámokat emeljük ki, amelynek az intenzitás- és gyakoriságnövekedése a globális felmelegedés egyik közvetlen klimatikus következménye.

3.1. Az emberi szervezet hőérzete

Az ember hőháztartása nem csak a levegő hőmérsékletére reagál közvetlenül, hanem más időjárási paraméterek (pl.: a szélesebbesség, a légnedvesség, a napsugárzás és a légkör hosszuhullámú sugárzása) is lényegesen befolyásolják hőérzetünket. Az emberi szervezet energiacseréje konvekció, párolgás, sugárzás és légzés útján valósul meg. Az egyes energiaátadási folyamatoknál döntő szerepet a *1. táblázatban* felsorolt meteorológiai paraméterek játsszák.

Az energiacsere formája	Jellemző meteorológiai paraméter
Konvekció	léghőmérséklet, légmozgás
Párolgás	légnedvesség, légmozgás
Sugárzás	sugárzásmérleg a rövid- és hosszuhullámú tartományban
Légzés	léghőmérséklet, légnedvesség

1. táblázat: Az energiaátadási folyamatok jellemző meteorológiai paramétere

A ruházat a hőátadás feltételeit döntően megváltoztathatja (Jendritzky et al., 1990). Ezen ismeretek alapján a biometeorológiában meghatározták az ún. „effektív hőmérsékletet” is. Ez az a hőmérsékleti érték vagy hőérzet, amit az ember valójában érzékel adott hőmérsékleti és időjárási viszonyok mellett. Az effektív hőmérséklet nem szükségszerűen egyezik meg a hőmérőről leolvasott tényleges hőmérséklettel. Az érzékelt effektív hőmérséklet függ a levegőhőmérséklet mellett még a szélesebbeségtől és a légnedvességtől is. Mivel a hőmérsékletet egyénekenként különbözően érzékeljük, a kiszámításához kísérletekkel meghatározott szubjektív észleléseket vesznek alapul. Ehhez egy ún. „mintaember modellt” (Rayman-Modell) hoztak létre (Tinz és Jendritzky, 2003). A vizsgálatok azt mutatják, hogy meleg, napos, magas páratartalmú, szélcsendes, nyárias feltételek mellett az érzékelt hőmérséklet sokkal gyorsabban növekszik, mint a

levegőhőmérséklet. Kellemes, enyhe és száraz feltételeknél, mérsékelt szél esetén az érzékelt hőmérséklet akár kisebb is lehet, mint a levegőhőmérséklet. Hideg, különösen szeles időjárási feltételek mellett az érzékelt hőmérséklet akár már 15 °C-kal is a levegőhőmérséklet alatt lehet.

3.2. A hőhullámok hatása

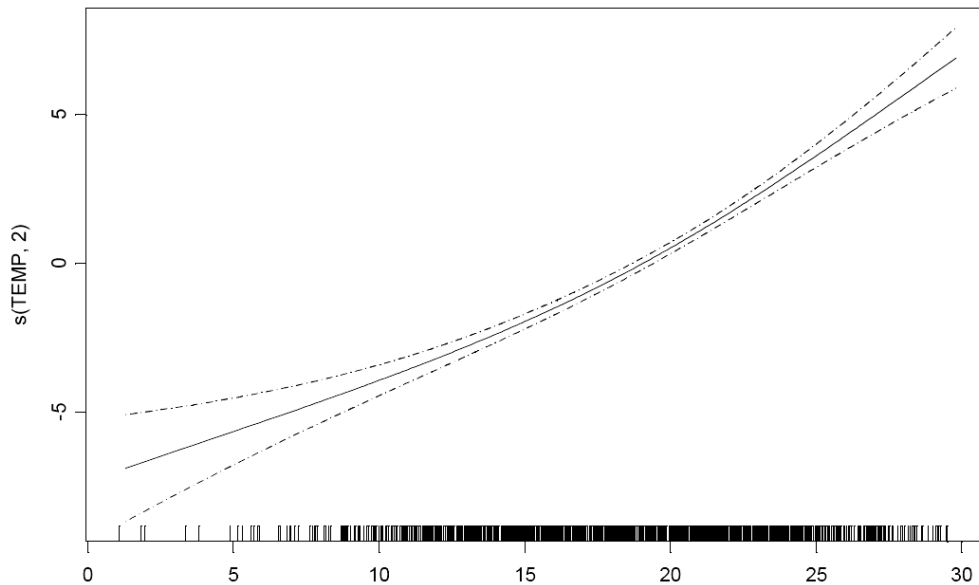
Korábban a hőhullámokat nem tekintették igazán komoly, emberi egészségre veszélyes kockázatnak, amelynek sok embert egyidejűleg érintő, járványszerű hatása lehet egy-egy földrajzi régióban, például Európában. A globális felmelegedés jelensége azonban egyre többször, egyre intenzívebben megnyilvánuló hőhullámokat eredményez világszerte (IPCC, 2007).

A hőhullám meghatározása nemzetközi szinten nem egységes. Általában a kimagasló hőmérsékleti értékek hosszabb ideig való fennállását tekintik hőhullámnak, amikor súlyosbító tényező lehet a magas páratartalom, valamint a magas éjszakai hőmérsékletek állandósulása. A WMO (World Meteorological Organization, Meteorológiai Világszervezet) meghatározása szerint hőhullámról akkor beszélünk, ha a napi maximumhőmérséklet több mint öt egymást követő napon át 5 °C-kal meghaladja az arra a naptári napra jellemző hőmérsékleti maximumértéket (Frich et al., 2002).

A francia és az amerikai meteorológusok akkor beszélnek hőhullámról, ha a maximum hőmérsékleti értékek a 30 °C, illetve 32,2 °C-os küszöbértéket meghaladják (IVS, 2003; Sheridan és Kalkstein, 2004). Angliában definíció szerint akkor van hőhullám, ha a hőmérséklet az adott hely adott hónapra vonatkozó 30 éves átlagánál legalább 4 °C-kal magasabb (Robinson, 2001). Magyarországon hőhullámnak tekintjük azt az időszakot, amikor a napi átlaghőmérséklet legalább 3 egymást követő napon meghaladja a 25 °C-ot (Páldy et al., 2005).

Kaiser és munkatársai (2007) az Egyesült Államok egészségügyi ellátó szerveinek adatait elemezték, elsősorban a napi sürgősségi kórházi betegfelvételeket. Eredményeik azt mutatják, hogy a hőhullámok hatására egyértelműen megnövekszik a sürgősségi kórházi betegfelvételek száma. Ez az arány az 1995-ös Chicago-i hőhullám idején 11%-kal nőtt a teljes lakosság körében, a 65 évnél idősebbeknél pedig 35%-kal (Kaiser et al., 2007). A betegfelvételek 59%-a a hőmérséklettel kapcsolatos kórképek miatt következett be (kiszáradás, hőkimerülés és hőséguta) olyan egyéneknél, akik valamilyen krónikus betegségben szenvedtek.

Magyarországon Páldy és Bobvos (2008) vizsgálták a hőmérséklet és a napi sürgősségi mentőhívások közötti összefüggést. 1998-2004 közötti időszakra vonatkozó elemzéseikben megállapították, hogy a mentőhívások esetszámai a hőmérséklettel közel lineáris kapcsolatot mutatnak, amit a 2. ábra illusztrál.

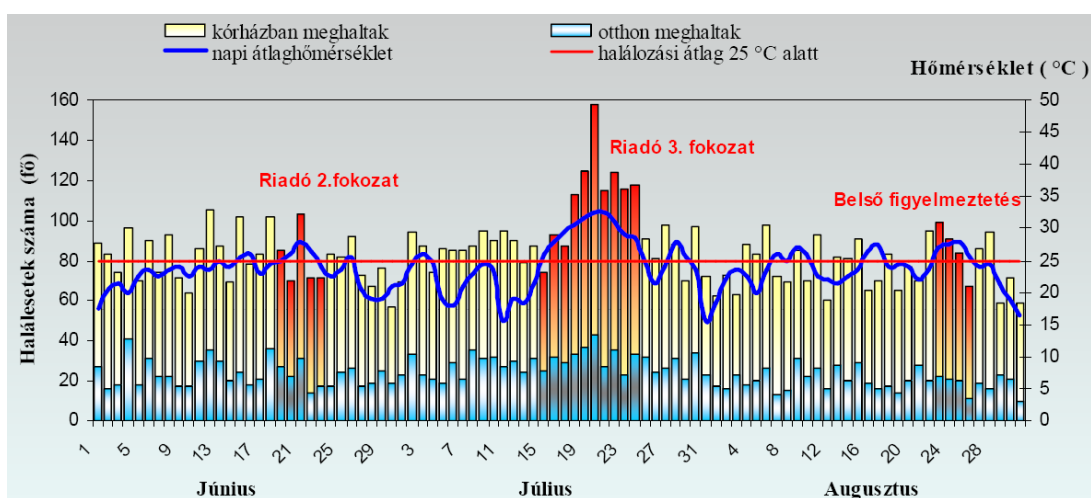


2. ábra: A hőmérséklet és a napi sürgősségi mentőhívások összefüggése budapesti adatok alapján, 1998-2004 (Páldy és Bobvos, 2008)

Semenza és munkatársai (1999) által végzett klinikai tanulmány szerint a hóhullámokat követően a mortalitás jelentősen megemelkedett vesebetegek, cukorbetegség körében. Hasonló jellegű növekedést regisztráltak a hóhullámok után néhány nappal Braga és munkatársai (2002) a szívinfarktus és krónikus légzőszervi megbetegedések miatti halálozásban. Szintén kiemelten veszélyeztetettek az idősek, különösen a magányos, rossz szocio-ökonómiai feltételek között élők. Kaiser és munkatársai az 1995-ös Chicago-i hóhullám esetén megállapították, hogy a fekete bőrű lakosság körében is magasabb volt a halálozás, ami az általában rosszabb szociális körülményeiknek lehet következménye (Kaiser et al., 2007).

A kutatók valószínűsítik, hogy a hőség okozta halálesetek egy része olyan embereket érintett, akik eredetileg is kritikus egészségi állapotban voltak, és ezért a hóhullám nélkül is meghaltak volna (Grize et al., 2005). A hóhullámok időpontjához kapcsolódó erősen megnövekedett halálozási arány azonban nem magyarázható egyedül ezekkel az egyébként is kritikus egészségi állapotú esetekkel. Ha csak ez az ún. „harvesting” hatás – azaz a súlyos betegek idő előtti halála – jelentkezne, akkor a hőség utáni mortalitás már jelentősen lecsökkenne a hosszú idejű átlagokhoz képest. A

valóságban azonban ez nem következik be, mivel sok olyan ember is meghal, akinek a halála a hőhullám előtti hetekben nem várható (Thommen Dombois, 2005). Hasonló következtetésre jutott Páldy és Bobvos (2008) is az otthoni és kórházi halálos esetek naponkénti számát a napi átlaghőmérséklet függvényében vizsgálva. A 3. ábrán jól látható, hogy a 2007. júliusi hőhullám alatt tartósan és jelentősen megemelkedett a napi halálos esetek száma, melyet nem követett azonnali halálos arány csökkenés a hőhullám megszűnésével. A legtöbb halálos esetet július 20-án regisztrálták, amikor otthon 43 fő, a kórházakban 115 fő hunyt el – ez az arány a 25 °C alatti középhőmérsékletű napokon jellemző átlagos halálos esetszámnak majdnem a kétszerese.

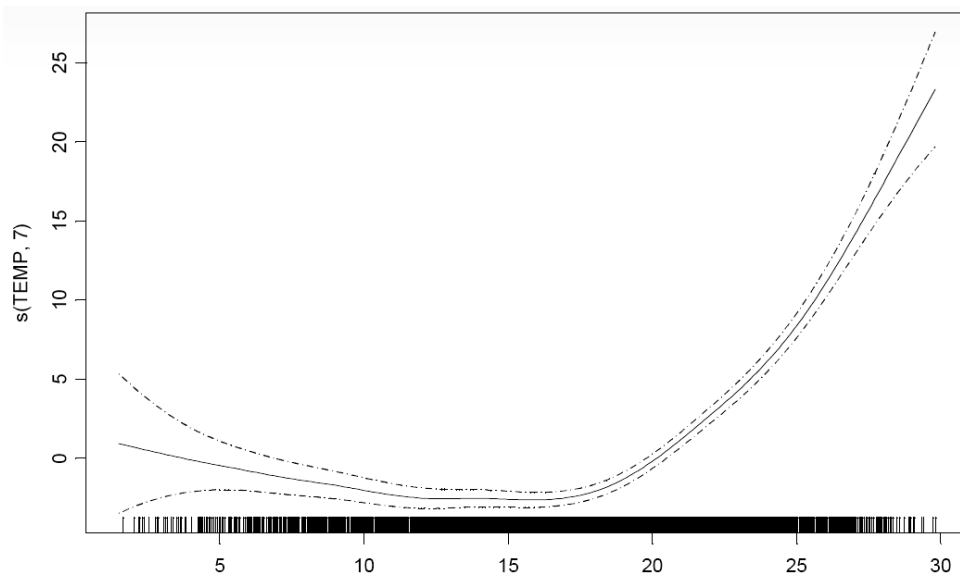


3. ábra: Az otthoni és kórházi halálos esetek naponkénti száma a Középmagyarországi Régió területére a napi átlaghőmérséklet függvényében 2007 nyarán (Páldy és Bobvos, 2008)

Az egyes hőhullámoknak nem teljesen egyforma a hatásuk a mortalitásra. A hőhullám intenzitása mellett döntő tényező a hőhullám időtartama és az éven belüli megjelenése (Smoyer, 1998). Például a kora nyáron fellépő nagy hőségnek nagyobb hatással van a morbiditásra és halálos esetre, mint azok a hőhullámok, amelyek a nyár vége felé fordulnak elő (Hajat et al., 2002). Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy az év korábbi szakaszában fellépő hőhullámok áldozatai a különösen érzékeny emberek, akiknek kisebb az alkalmazkodó képességük, például a szív- és érrendszeri betegségekben vagy a légúti megbetegedésben szenvedő személyek, az idős és szegény emberek, valamint a kisgyerekek (Hajat et al., 2006).

Budapesti 31 éves (1970-2000) hőmérsékleti és halálos esetszám idősorok elemzése alapján Páldy és Bobvos (2008) megállapították, hogy a napi összes halálos eset és a napi középhőmérséklet közötti összefüggés nyáron a legszorosabb. A 4. ábrán jól látható, hogy

a legalacsonyabb halálozási arány a 18 °C-os napi átlaghőmérsékletéhez kapcsolódik. E fölött a hőmérsékleti érték fölött meredeken emelkedik a napi halálesetszám. 20-25 °C között az összefüggés nagyjából lineáris, majd 25 °C felett már jóval nagyobb napi többlethalálozást regisztrálhatunk, a hőség okozta halálozási arány akár a 15%-ot is meghaladhatja. Tehát a nagyon meleg időszakokban egy 5 °C-os napi átlaghőmérséklet-emelkedés közel 10%-kal növeli meg a keringési rendszer összeomlásából következő halálozás kockázatát. A hőmérséklet változékonysága az összhalálozás esetében 7%-os kockázatonövekedést jelent, a szív- és érrendszeri halálozás kockázata pedig 6%-kal nő a nyári hónapokban. A többi meteorológiai elem jóval kisebb kockázati tényezőt jelent. Például a relatív páratartalom növekedése csak kb. 1%-kal növeli meg a légzőszervi halálozás kockázatát, azt is elsősorban a téli időszakban. A légnyomás emelkedését viszont kifejezetten kedvezőnek tekinthetjük: a magas nyomású légtömegek kimutathatóan csökkentik az összhalálozást (Páldy et al., 2003).



4. ábra: A hőmérséklet és a napi halálozás összefüggése budapesti adatok alapján, 1970-2000 (Páldy és Bobvos, 2008)

3.3. A hőségriasztás hazai fokozatai

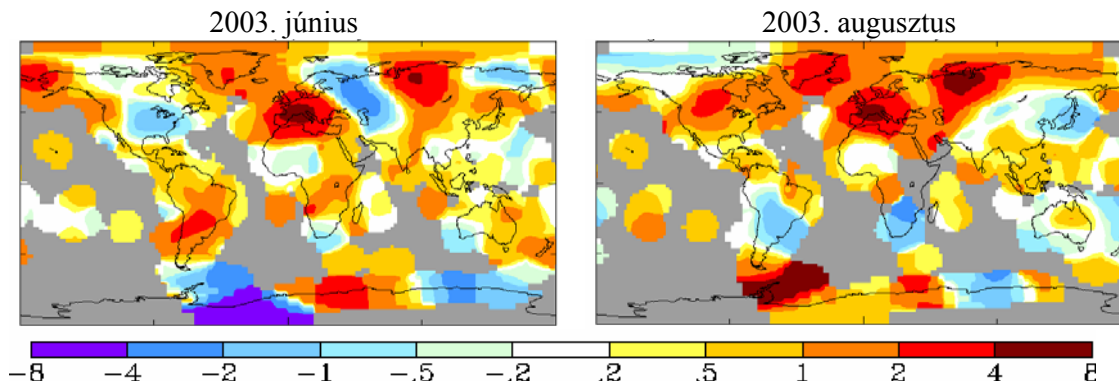
Magyarországon 2004-ben a hőségriasztás egyes fokozatait a hőmérséklet szignifikáns egészségkárosító hatása alapján az Országos Környezet-egészségügyi Intézet (OKI) az ÁNTSZ Budapest Főváros Intézetével, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálattal együttműködve dolgozta ki (Bujdosó és Páldy, 2006). A három fokozatból álló rendszer alapjául Budapest 31 éves (1970-2000) halálozási és meteorológiai adatainak idősor analízise szolgált. A hőségriasztás egyes fokozatai a hőmérsékleti küszöbérték meghaladásának szintjétől és az előrejelzett időtartamtól függenek (2. táblázat).

Hőségriasztás fokozatai	Kritérium	Teendő	Intézkedések
I. Fokozat Figyelmeztető jelzés belső használatra	Az előrejelzések szerint a napi középhőmérséklet 1 napig meghaladja a 25 °C-ot.	A Tisztiorvosi Szolgálat belső információs rendszerét érinti.	A mentőszolgálat felkészül a várhatóan megnövekvő betegforgalomra.
II. Fokozat Készültség jelzés riasztás a lakosság számára	Az előrejelzések szerint a napi középhőmérséklet legalább 3 napig meghaladja a napi 25 °C-ot.	Az országos tisztifőorvos a regionális tisztifőorvosokon keresztül figyelmezteti az egészségügyi intézményeket, a mentőszolgálatot, az önkormányzatokat és a lakosságot, hogy az egészségünket érintő megelőző intézkedéseket tegye meg.	<ul style="list-style-type: none"> – Média közlemények (TV, rádió), web oldal és hírlevél, szórólapok – Telefonos segélyszolgálat – Víz-, ventilátorosztás – Légh kondicionált helyiségek megnyitása – Vízművek, elektromos művek felfüggesztik a nem fizetők kikapcsolását
III. Fokozat Riadó jelzés	Az előrejelzések szerint a napi középhőmérséklet legalább 3 napig meghaladja a 27 °C-ot.	A II. fokozatnál megtett intézkedések szigorú ellenőrzése.	Az országos tisztifőorvos értesíti a Kormányzati Koordinációs Bizottság titkárságát, kérve, hogy az esetlegesen szükségessé váló ágazati intézkedéseket koordinálja.

2. táblázat: A hőségriasztás három fokozata esetén szükséges intézkedések

3.4. A 2003-as európai hőhullám

Egy kivételesen súlyos hőhullám söpört végig Európa nagy részén 2003-ban, mely júniustól augusztus közepéig tartott (De Bono et al., 2004). Ilyen nagy melegre az utóbbi mintegy 500 évben nem volt példa Európa-szerte: 2003. június, július és augusztus hónapok 1659 óta a legmelegebb voltak (Luterbacher et al., 2004). A hőhullám Európa nagy részén a szokásoshoz képest 3-5 °C-kal magasabb nyári átlaghőmérsékletet eredményezett (5. ábra). Július nem volt ennyire forró, az átlagosnál csak 1-3 °C-kal regisztráltak melegebbet. A legnagyobb hőmérsékleti anomáliák (melyek elérték a 7 °C-ot) augusztus első felében jelentkeztek (Fink et al., 2004).

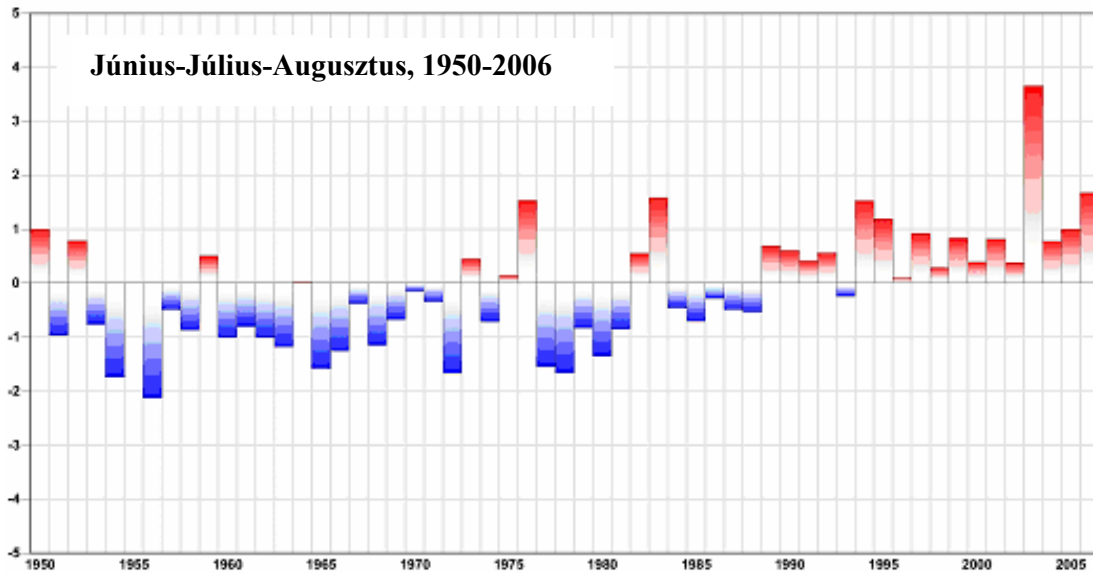


5. ábra: A 2003. júniusi és augusztusi havi átlaghőmérsékletek eltérése (°C) az 1961-1990 időszak középértékeitől (Fink et al., 2004)

Franciaország történetében például a kialakult hőhullám intenzitása és kéthetes időtartama egyedülállónak tekinthető. Az átlagosnál melegebb június és július után augusztus 4-12. között a különböző hőmérsékleti rekordok sorra dőltek meg (6. ábra). A Météo-France (2003) adatai alapján ebben az időszakban a francia meteorológiai állomások kétharmada 35 °C feletti hőmérsékletet mért. Párizsban a napi maximum-hőmérséklet meghaladta a 39 °C-ot, amire az 1873 óta folyamatos mérések során még nem volt példa. A hőhullám időtartama alatt a városok 15%-ban 40 °C feletti értékeket jegyeztek fel. Bretagne-ban a hőségrekord szintén 40 °C felett volt.

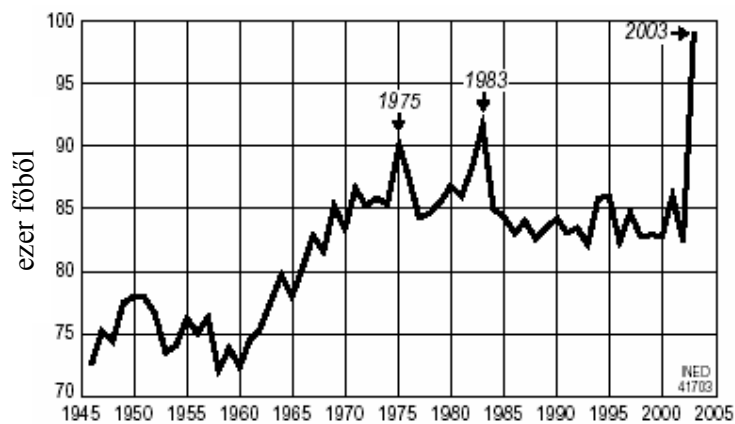
A hőhullám fő okozója a 2003. augusztus 1-14. közötti Michaela nevezésű ún. omega-helyzet volt (Fink et al., 2004). Ez a nagyon stabil időjárási helyzet a görög Ω betű formájához hasonlít: Közép-Európa felett egy nagy kiterjedésű magasnyomású terület alakul ki, amelyet nyugatra és keletre egy-egy alacsonynyomású térség határol. Ilyenkor azokban a régiókban, ahol a magas légnyomás a jellemző, felhőmentes időjárási viszonyok

uralkodnak, továbbá nyáron napokig vagy akár hetekig is eltartó forróság alakul ki, télen pedig nagyon alacsony a hőmérséklet. 2003 nyarán gyakorlatilag egész Európa Franciaországtól Németországon keresztül Lengyelorszáig, illetve Spanyolországtól Olaszországon keresztül Görögorszáig az említett omega-helyzet hatása alá került.



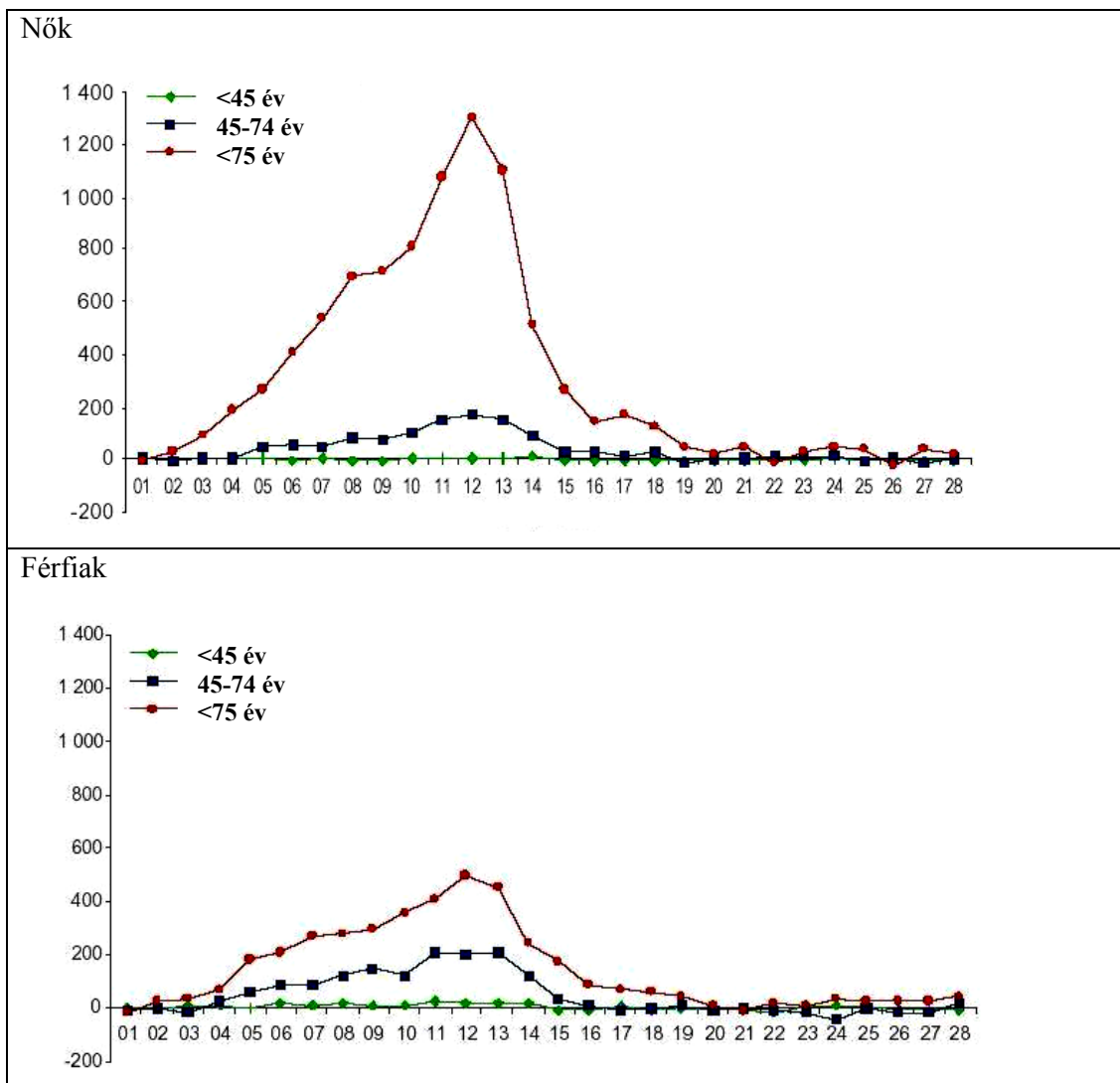
6. ábra: Franciaország nyári átlaghőmérsékleti anomáliái (°C) 1950-2006 között 22 állomás adatai alapján (Météo-France, 2006)

A 2003-as nyár nem csak rendkívülien meleg volt, hanem nagyon száraz is. A szárazság már februárban elkezdődött, s a csapadékhiány a rákövetkező hónapokban tovább fokozódott (Bader, 2004). Ezáltal erősen csökkent a párolgás, ami hozzájárult a levegő felmelegedéséhez (Keller és Fuhrer, 2004).



7. ábra: A halálozási arány Franciaországban július és augusztusban, 1946-2003 (Jouglu, 2003)

Európa egészében összesen mintegy 35000-re teszik a 2003-as hőség okozta halálozást (Kovats et al., 2004). Például Svájcban a szokásoshoz képest kb. 1000-rel több haláleset volt ebben a néhány hétben (Grize et al., 2005). A különösen súlyosan érintett Franciaország nagyvárosaiban csak augusztus 1-20. között mintegy 15000 főre becsülik a halálozási arányt (Vandentorren et al., 2004), mely összességében 60%-os többletnek felel meg. A hőhullám okozta jelentős halálozási arány növekedést szemlélteti a 7. ábra.

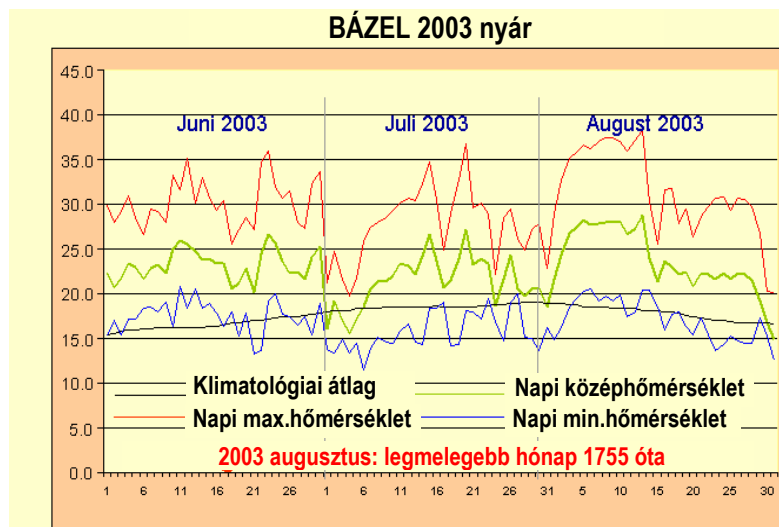


8. ábra: A többlethalálozás alakulása Franciaországban 2003. augusztus 1. és 28. között kor és nem szerint (Jouglá, 2003)

Az anticiklonális jellegű időjárási helyzethez magas légszennyezettségi értékek is társultak, a többlethalálozás mértéke augusztus 4-én 300 fő volt, augusztus 8-án 1200, augusztus 12-én pedig már 2200 (Hémon és Jouglá, 2003). A 8. ábráról leolvasható, hogy a több haláleset elsősorban az időseket sújtotta (70%-ot a 75 év feletti korosztály

képviselt), de a 45-74 év közötti korosztály esetében is súlyos volt (30%). A nők halandósága az összes korosztályban 15-20%-kal meghaladta a férfiakét (Jouglu, 2003). A hőség miatt bekövetkezett halálesetek megszorodása a déli országrészben volt a legkisebb (mintegy 20%-os), Párizs környékén viszont rendkívül magas, 130%-os. Az elhunytak száma az idősök szociális otthonaiban volt a legmagasabb, ahol a megfigyelt érték a szokásos esetszám kétszeresét tette ki (Pirard, 2003).

Olaszországban a teljes népesség átlagos halálozása 15%-kal volt magasabb, mint 2002 hasonló időszakában; mely a 75 év fölötti korosztály esetén még nagyobb mértékű volt, 21%-ot tett ki (Conti, 2003). Megjegyzendő, hogy az időskori halálozás a teljes többletalálozás több mint 90%-át képviselte. Portugáliában az előző öt év átlagához viszonyítva 2003 augusztusában 26%-kal több halálesetet regisztráltak (Martinez Navarro et al., 2004). Ezekon kívül Spanyolországban, Németországban (Jendritzky et al., 2003), Hollandiában (Fisher et al., 2004) és Angliában (Stedman, 2004) is számoltak be hőség okozta halálozásról.



9. ábra: A 2003. június, július és augusztus hónap hőmérsékleti menete Bazelben (Thommen Dombois, 2005)

Svájcban különösen az idősebb korosztály és a városi lakosok voltak érintettek a 2003-as hőhullám hatásaira nézve, például Bazelben, Genfben és Lausanne-ban különösen magas volt a mortalitás (Grize et al., 2005). A halálesetek száma ezekben a városokban 13-14%-kal az átlagos érték felett volt az intenzív hősziget-hatás miatt (Thommen Dombois és Braun-Fahrländer, 2004). Főként Bazelben és Genfben emelkedett a maximumhőmérséklet 35 °C fölé, mellyel párhuzamosan éjszaka is csak alig csökkent 20 °C alá a hőmérséklet (9. ábra és 3. táblázat). A nagyon magas nappali hőmérsékletek és

az ehhez társuló kis mértékű éjszakai lehülések az egyik oka arra, hogy ezekben a városokban miért volt olyan magas a mortalitás (Thommen Dombois, 2005).

hónap	T_{közép}	T_{min}	N_{nyár}	N_{forró}	R	P
2003. június: klimatológiai átlagérték:	23,3 °C 16,6	17,5 °C 11,4	30 nap 9	15 nap 1	313 W/m² 206	19,7 mm 87
2003. július: klimatológiai átlagérték:	21,3 °C 18,9	15,7 °C 13,4	22 nap 15	9 nap 5	281 W/m² 241	62,2 mm 80
2003. augusztus: klimatológiai átlagérték:	23,7 °C 18,1	17,1 °C 13,1	29 nap 14	19 nap 3	311 W/m² 215	55,5 mm 88

3. táblázat: 2003. június, július és augusztus hónapok éghajlati jellemzése a mindenkori klimatológiai átlagértékekkel (Thommen Dombois, 2005). *T_{közép}*: napi középhőmérséklet, *T_{min}*: napi minimumhőmérséklet, *N_{nyár}*: nyári napok száma, amikor $T_{max} > 25\text{ °C}$, *N_{forró}*: forró napok száma, amikor $T_{max} > 30\text{ °C}$, *R*: napsugárzás, *P*: csapadék

A hőség okozta halálesetekért és a fokozódó betegségekért közvetett és közvetlen hatások egyaránt felelősek. A hőhullám közvetlen egészségi hatásaiként például szív-, illetve keringési problémák jelentkeznek, hóguta, valamint dehidratáció (Koppe et al., 2004). A közvetett hatásokhoz tartoznak a légszennyező anyagok hatásai, azon belül is a magas ózonkoncentráció és a szálló por jelenléte. A 2003-as nyári szmog miatt kb. 130-300 fővel több volt a halálozás, s hasonló mértékű növekedést tapasztaltak a kórházba került betegek számában (EKL, 2004). A hőség további közvetett következményét alkotják a vízminőség-romlás és az élelmiszerek okozta betegségek. A leggyakrabban bélfertőzést előidőző baktériumok – a *Campylobacter* és a *Salmonella* – jellemző éves menetet mutatnak nyári maximummal. Tíz európai ország 1999-2002 közötti adatai alapján végzett idősor-analízis (Thommen Dombois és Braun-Fahrländer, 2004) azt támasztotta alá, hogy a jelentett szalmonellafertőzések száma és a mért hőmérséklet között lineáris kapcsolat fedezhető fel. A szárazság és a magas hőmérséklet együttes megjelenése jelentősen befolyásolja az allergiát okozó növények pollen-kiporzásának időszakát. 2003-ban a legnagyobb hatást a fűpollennél észlelték: a pollenszezon a megszokottnál 2 héttel korábban kezdődött, és májusban, valamint június elején nagyon intenzív volt (Gehrig et al., 2004). A szárazság a szokásosnál 7-33 nappal korábban véget vetett a fűvek virágzásának. A szárazságtűrő növények (mint például a libatop és az útifű-fajok) viszont nagy pollenmennyiséget produkáltak (Gehrig, 2005).

4. Magyarországi hőhullámok várható változása szimulált hőmérsékleti adatok alapján

Ebben a fejezetben (az előző fejezethez hasonlóan) az éghajlatváltozás egészségügyi hatásai közül szintén a hőhullámokat emeljük ki, amelyekhez kapcsolódva a hazai gyakorlatban alkalmazott hőségriadó fokozatok definícióit a 3. fejezetben az 1. táblázatban közöltük. Célunk, hogy az ezekhez a fokozatokhoz tartozó időtartamok Magyarországra várható változásait elemezzük a 2021-2050 és 2071-2100 jövőbeli időszakra az 1961-1990 referencia időszakhoz viszonyítva, a 10 km-es horizontális felbontású RegCM modell szimulált adatbázisát felhasználva.

4.1. A felhasznált regionális modell: RegCM

A RegCM (Regional Climate Model) regionális klímamodellt az amerikai Légköri Kutatások Nemzeti Központjában (National Center for Atmospheric Research, NCAR) fejlesztették ki (Giorgi, 1989, Dickinson et al., 1989), és világszerte használják regionális klímakutatásokra és évszakos előrejelzésekre. Az NCAR RegCM modell első generációjának kidolgozásául az NCAR-Pennsylvaniai Állami Egyetem 4-es verziószámú mezoskálájú modellje (MM4) szolgált alapul, mely egy összenyomható, véges differenciál hidrosztatikus modell (Giorgi et al., 1993a, 1993b). A RegCM jelenlegi verziójának dinamikai magja hasonló az 5-ös verzió számmal jelzett hidrosztatikai mezoskálájú modellhez (MM5). A modell jelenleg a trieszti Elméleti Fizikai Kutatóintézetben (ICTP) keresztül hozzáférhető. Az ELTE Meteorológiai Tanszéken a CECILIA (Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment) Európai Unió projekt keretében került sor a RegCM regionális modell adaptálására a Kárpát-medence térségére (Torma et al., 2008).

A 10 km-es felbontású RegCM modell az A1B scenáriót, azaz a gyors növekedést és konvergenciát, kiegyensúlyozott technológiai fejlődéssel veszi figyelembe. A vizsgált A1B scenárió esetén a 2100-ra becsült CO₂ szint 717 ppm (Nakicenovic és Swart, 2000), ami az ipari forradalom előtti szint (280 ppm) több mint 2,5-szerese. Ez az éghajlati forgatókönyv a teljes földi népesség növekedésével számol a XXI. század közepéig, amikorra várhatóan eléri a 8,7 milliárd főt (Michaelis, 1998), s utána a század végére lecsökken 7,1 milliárdra. A RegCM modell szimulációi három időszakra állnak

rendelkezésre: 1961-1990 (mely a vizsgálatok során a referencia időszakot adja), 2021-2050 és 2071-2100.

4.2. A hőségriadós napok átlagos éves számának várható tendenciái

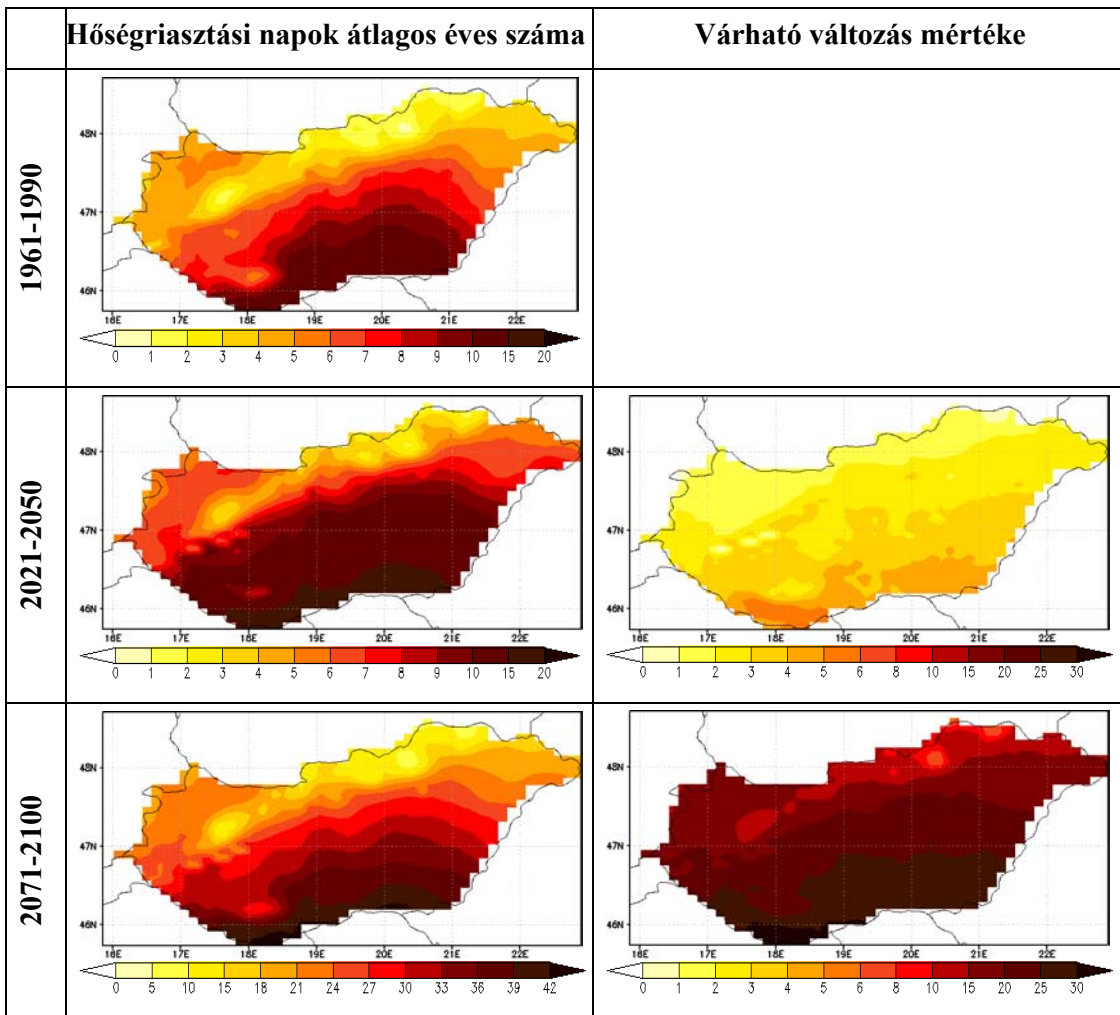
Ebben a fejezetben elemezzük a hőségriadós napok számának éghajlati szimulációk alapján meghatározott átlagos éves értékeit, valamint a 2021-2050-re és 2071-2100-ra várható változások mértékét. A térképes formában bemutatott eredményeink bal oldali oszlopában a vizsgált 30 éves időszakokra vonatkozó átlagos érték szerepel, a jobb oldalon pedig a várható változások mértéke.

4.2.1. I. fokozatú hőségriadós napok

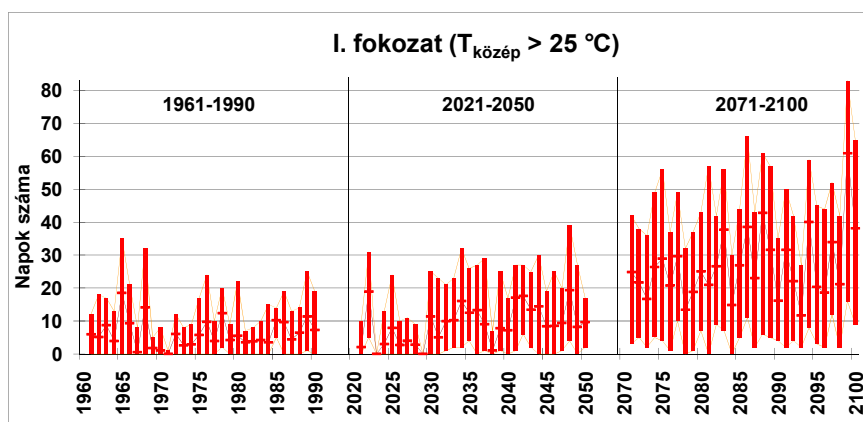
Amikor a napi középhőmérséklet meghaladja a 25 °C-ot I. fokozatú hőségriadó lép életbe. A *10. ábrán* található az I. fokozatú hőségriadó várható gyakoriságváltozása a térségben. Mindhárom időszak esetében zonális szerkezetet figyelhetünk meg hazánk térségében, mivel az ország déli és északi-északkeleti tájai között igen jelentős különbségek vannak, például az 1961-1990 időszakban északon a hőségriadós napok átlagos éves száma 1-3 nap, délen ugyanakkor ez az érték 9-12 nap. A *10. ábra* jobb oldalán lévő térképek az időszakok közötti különbséget szemléltetik, ahonnan észrevehető, hogy a 2021-2050 időszakban az 1961-1990 időszakhoz képest (*10. ábra* jobb felső térképe) átlagosan 2-5 nappal növekedhet a hőségriadós napok gyakorisága, míg a 2071-2100 időszakra ez a növekedés átlagosan 10-20 nap körüli, sőt Dél-Dunántúlon akár 30 napos is lehet a növekedés mértéke (*10. ábra* jobb alsó térképe). Mivel ekkora nagy az 1961-1990 és a 2021-2050 időszak, valamint a régiók közötti különbség, a *10. ábrán* kénytelenek voltunk különböző skálán ábrázolni az I. fokozatú hőségriadós napok átlagos éves számát.

A regionális melegedési tendencia (Bartholy et al., 2009) miatt a hőségriadós napok számában is megjelenik a várható növekedő trend, mint ahogyan ezt a *11. ábra* is szemlélteti. Megfigyelhető, hogy a RegCM szimuláció alapján a kontroll időszakban egy olyan év van, amikor Magyarország egyik rácspontjában sem fordul elő hőségriadó; 2071-2100-ban ilyesmi már nem tapasztalható. Az is észrevehető a *11. ábrán*, hogy 1961-1990 időszakban szinte minden évben található olyan rácspont (főleg az ország magasabban fekvő területein: Északi-középhegység, Dunántúli-középhegység), ahol a RegCM szimulációk során nem fordult elő I. fokozatú hőségriasztási nap. A XXI. század végére az évek 90%-ában az ország egész területén valószínűsíthető hőségriadó, azaz a

minimális érték nagyobb, mint 0 (0-10 között mozog). Míg az éghajlati szimulációk alapján a referencia időszakban az I. fokozatú hőségridős napok éves számának maximális értéke 35 volt, addig 2071-2100 időszakban ennek több mint a 2-szeresével, akár 83 nappal is lehet számolni. 1961-1990-ben az évek nagy többségében maximálisan 10-20 napot tekinthetünk Magyarországon I. fokozatú hőségridős napnak. 2021-2050-re ez az érték várhatóan még nem változik jelentősen (10-30 között valószínűsíthető), de 2071-2100-ra minden évben 30 fölötti érték a maximális (gyakran még az 50 napot is meghaladja).



10. ábra: I. fokozatú hőségridős napok 30 éves átlaga, illetve különbsége (nap) a RegCM regionális éghajlati modell eredményei alapján az 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 időszakra

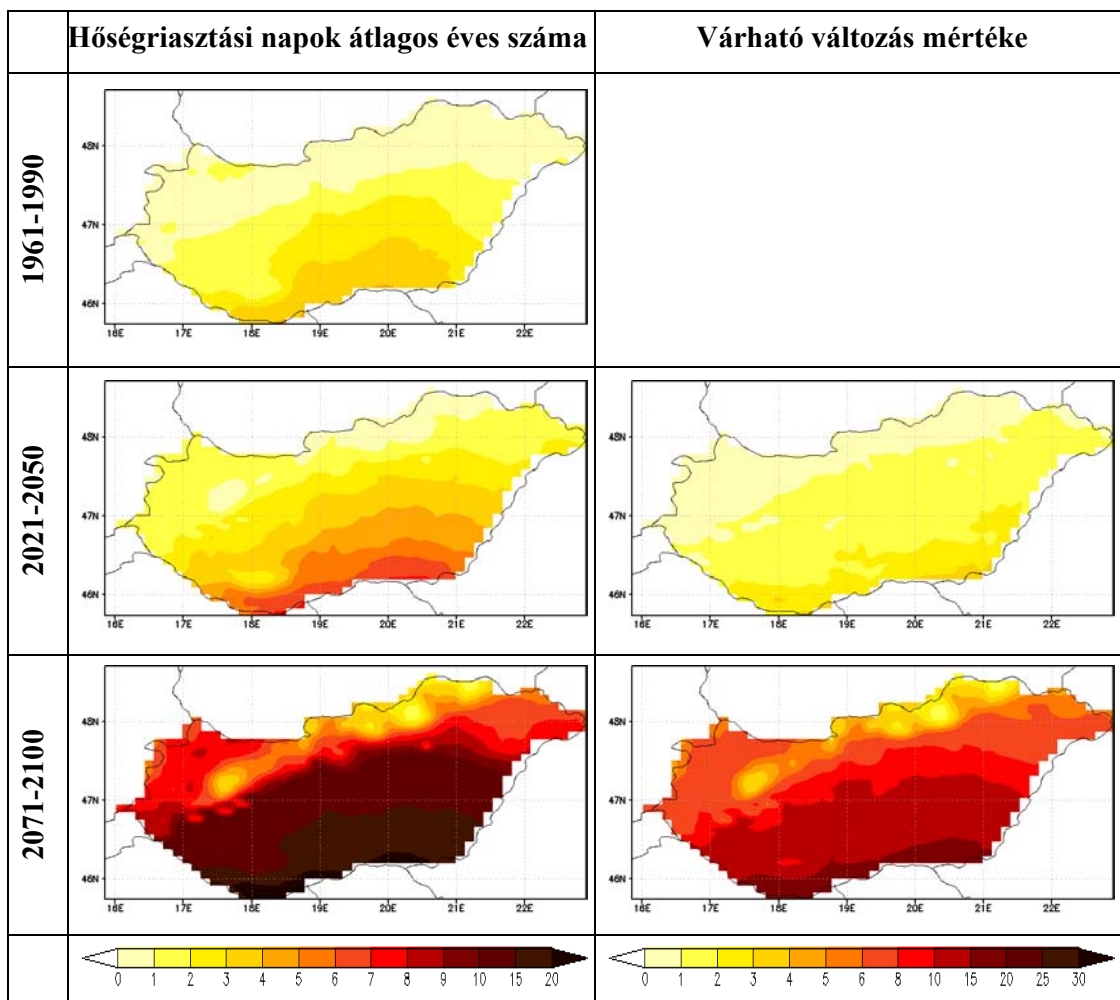


11 ábra: I. fokozatú hőségriadós napok éves száma a RegCM szimulációk alapján. A függőleges vonalak az adott évben az összes magyarországi rácspontban előforduló hőségriadós napok számából meghatározott intervallumot jelöli, a vízszintes vonalka pedig ezek átlagát.

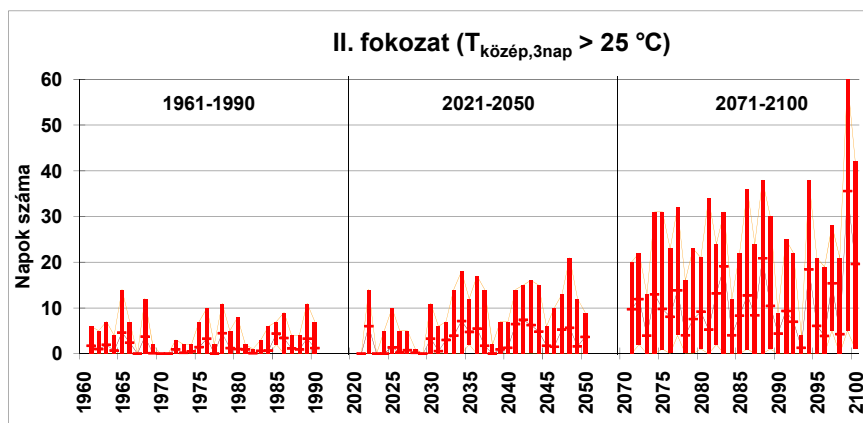
4.2.2. II. fokozatú hőségriadós napok

Amikor a napi középhőmérséklet legalább 3 egymást követő napon keresztül meghaladja a 25 °C-ot, akkor II. fokozatú hőségriadóról beszélünk. A 11. ábrán az ilyen napok 30 éves átlaga, illetve különbsége látható Magyarország területére. Az 1961-1990 időszakban a RegCM szimulációk szerint az ország északi részén átlagosan évente csak 1 alkalommal tapasztalható II. fokozatú hőségriadó, délebbre haladva egyre inkább növekszik ez az érték, elérve a 3-4 napos éves átlagértéket. A különbség-mezőről leolvasható (12. ábra jobb felső térképe), hogy a 2021-2050 időszakban átlagosan 2 nappal növekszik a II. fokozatú hőségriasztási napok száma az 1961-1990 referencia időszakhoz képest. Az 12. ábra alsó térképein jól látszik, hogy a 2071-2100 időszakban nagyobb változással lehet számolni: átlagos éves szinten 8-10 nappal.

A II. fokozatú hőségriasztási napok éves számát illusztráló 13. ábra alapján az I. fokozathoz hasonlóan itt is jelentkezik a növekedés, melynek mértéke a 2071-2100 időszakban akár négyszeres is lehet a referencia időszakhoz képest. A RegCM szimulációk alapján az 1961-1990 időszakban a legmagasabb II. fokozatú hőségriasztási esetek száma 14, 2071-2100-ra ez az érték akár 60 alkalomra is emelkedhet. 1961-1990 időszakban, egyetlenegy év kivételével, minden évben található hazánkban olyan rácspont, ahol nem tapasztalható a II. fokozatú hőségriadó, sőt 3 olyan év is van, amikor egyik rácspontban sem adóttak a hőségriadó feltételei. Mivel 2021-2050-re a RegCM szimuláció kisebb mértékű hőmérsékletváltozást prognosztizál, ezért a hőségriadós napok számában sem nagy a várható változás. A XXI. század végére viszont már jelentősebb a becsült hőmérsékletváltozás mértéke (Bartholy et al., 2009), így egyáltalán nem valószínű az olyan év, amikor országunk teljes területe hőségriadómentes legyen.



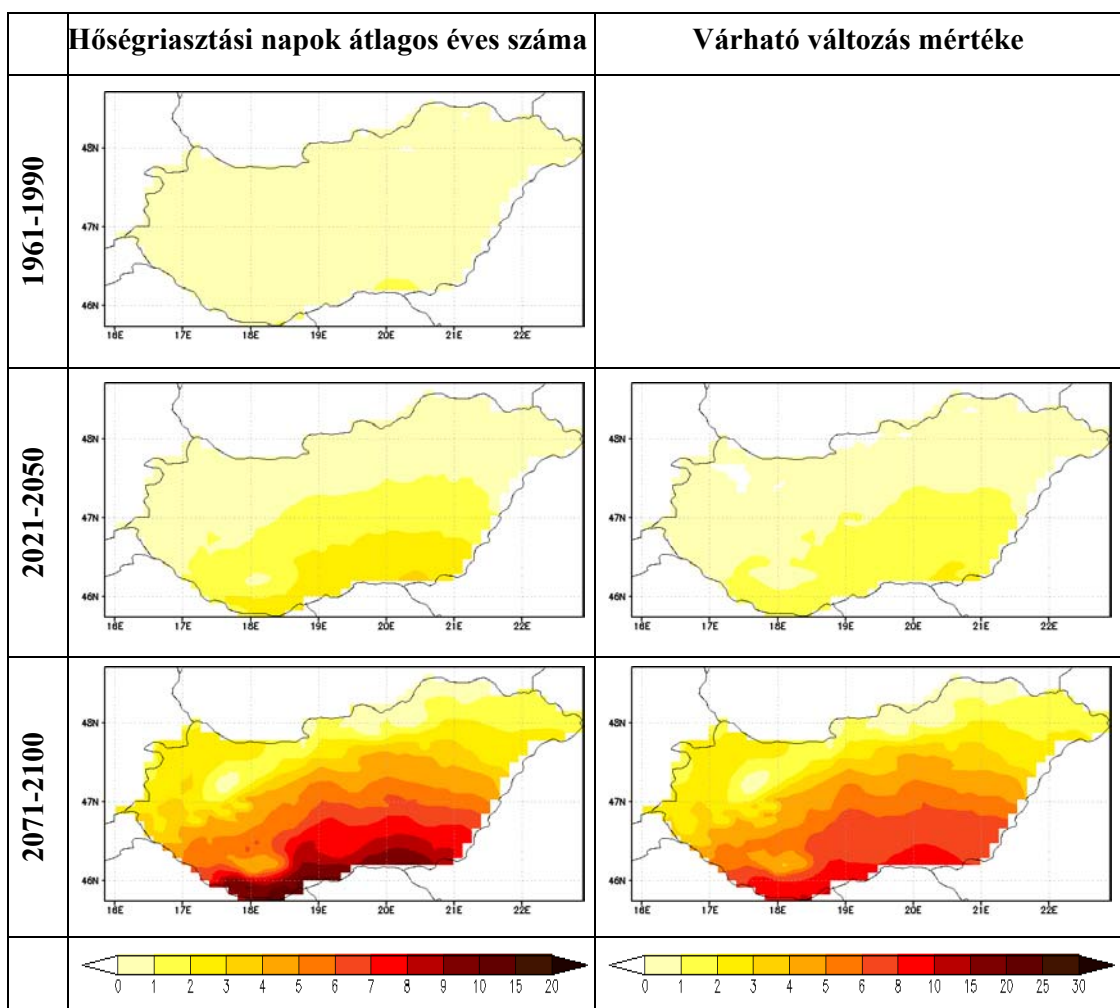
12. ábra: II. fokozatú hőségriasztási napok 30 éves átlaga, illetve különbsége (nap) a RegCM regionális éghajlati modell eredményei alapján az 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 időszakokra



13. ábra: II. fokozatú hőségriadós napok éves száma a RegCM szimulációk alapján. A függőleges vonalak az adott évben az összes magyarországi rácspontban előforduló hőségriadós napok számából meghatározott intervallumot jelöli, a vízszintes vonalka pedig ezek átlagát.

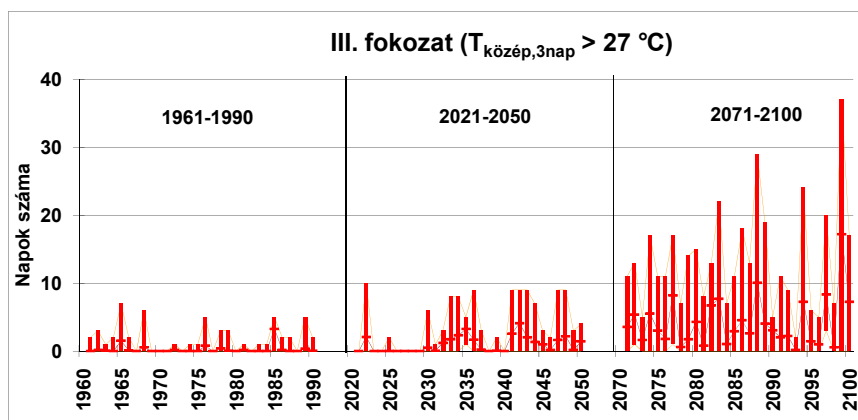
4.2.3. III. fokozatú hőségriadós napok

Amikor a napi középhőmérséklet legalább 3 egymást követő napon meghaladja a 27 °C-ot, akkor III. fokozatú hőségriadót rendelnek el. Az éghajlati szimulációk alapján III. fokozatú hőségriadó az 1961-1990 időszakban az ország egész területén átlagosan évente 1 alkalommal lehetséges, Szeged környéke kivételével, ahol ez az érték 2 (14. ábra bal felső térképe). 2021-2050-es időszakra az ország északi felében évente 1 alkalommal több hőségriadó következhet be, délen pedig 2 a várható változás mértéke (14. ábra jobb felső térképe). Az 1961-1990-beli egyszeri alkalom 2071-2100 időszakra az ország északi részében 2-3-ra növekszik, délen pedig évi 12 alkalommal is lehet számolni (14. ábra bal alsó térképe).



14. ábra: III. fokozatú hőségriasztási napok 30 éves átlaga, illetve különbsége (nap) a RegCM regionális éghajlati modell eredményei alapján az 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 időszakra

A 15. ábrán egyértelműen látható a III. fokozatú hőségriasztási napok számának várható növekedése. A RegCM szimulációk alapján az 1961-1990 kontroll időszakban Magyarország területén néhány évben található olyan rácspont, ahol a III. fokozatú hőségriadós napok éves száma több mint 5. A 2071-2100 időszakra viszont már nem várható olyan év, amikor ezt az értéket ne haladja meg; sőt a jövőben az országban a maximális előfordulási esetszám valószínűleg az évek kb. 13%-ában meghaladja a 20 napot, azaz bizonyos rácspontokban egyes években akár 20-nál több is lehet a III. fokozatú hőségriasztási napok várható éves száma. Megjegyzendő, hogy a referencia időszakban a III. fokozatú hőségriadó feltételei szinte minden évben csak az ország déli határánál adóttak, a XXI. század végére viszont a RegCM modell már szinte az ország teljes területére (Észak-Magyarország kivételével) prognosztizál hőségriadót.

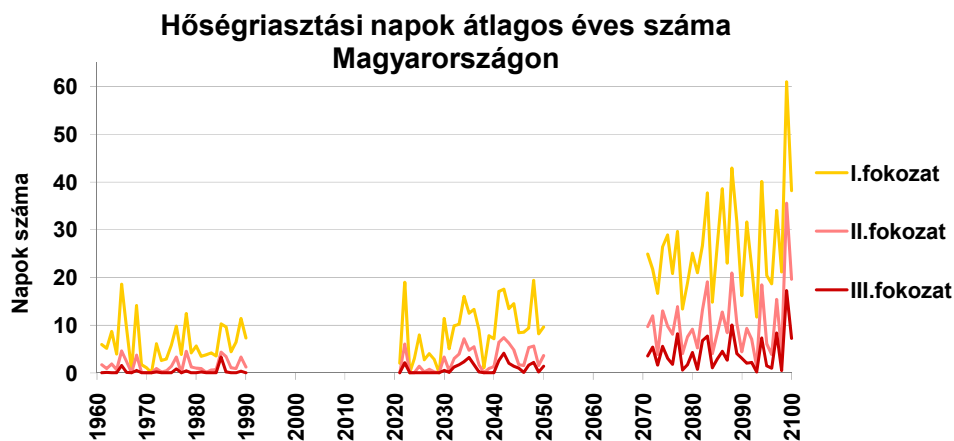


15. ábra: III. fokozatú hőségriadós napok éves száma a RegCM szimulációk alapján. A függőleges vonalak az adott évben az összes magyarországi rácspontban előforduló hőségriadós napok számából meghatározott intervallumot jelöli, a vízszintes vonalka pedig ezek átlagát.

4.2.4. A hőségriasztási napok átlagos éves száma Magyarország rácspontjaira

Ebben az alfejezetben összefoglaljuk a 4.2.1.-4.2.3. alfejezetben szereplő vizsgálataink eredményeit, azaz a hőségriadós napok számának átlagos éves értékeiben várható változások mértékét. A 16. ábrán egyértelműen látszik, hogy a Magyarországi gyakorlatban alkalmazott hőségriadó fokozatokhoz tartozó időtartamok várható változásai növekedési tendenciát mutatnak a 2021-2050 és 2071-2100 jövőbeli időszakra az 1961-1990 referencia időszakhoz viszonyítva. A RegCM modell szimulációi alapján a 2021-2050-re várható változás mértéke jóval kisebb, mint a 2071-2100 időszakra. Az eredmények azt mutatják, hogy a XXI. század végére a III. fokozatú (legerősebb)

hőségriadó előfordulása valószínűen hasonló gyakoriságú lesz, mint az I. fokozatú (legenyhébb) hőségriadó előfordulása a referencia időszakban.



16. ábra: Hőségriasztási napok területi átlaga Magyarországon

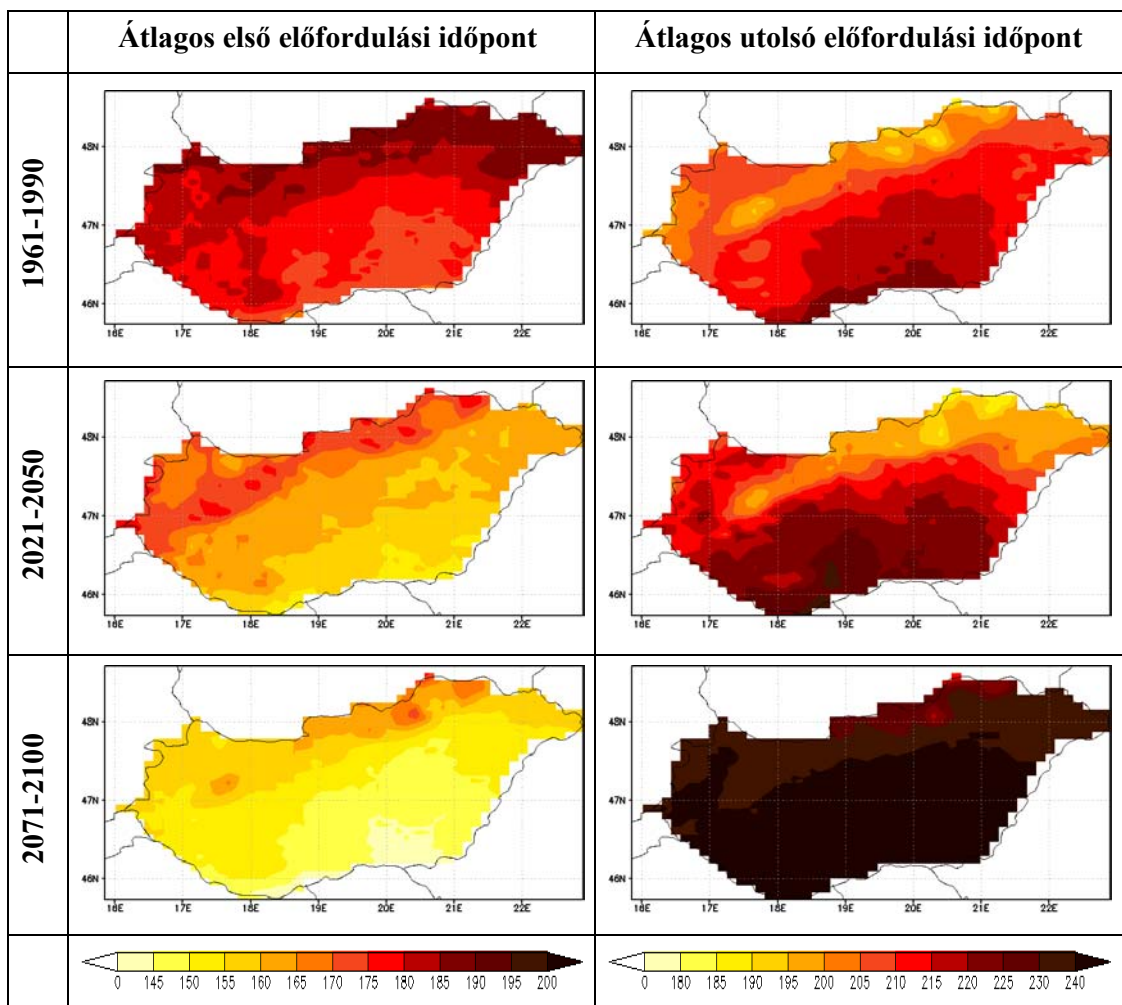
4.3. A hőségriadó éven belüli átlagos előfordulási időszakának várható tendenciái

Ebben a fejezetben a hőségriadók első és utolsó megjelenési időpontját vizsgáljuk az éghajlati szimulációk alapján. A térképes megjelenítés az átlagos előfordulási időszakok térbeli eloszlását illusztrálja: a bal oldali oszlopban a hőségriadó éven belüli átlagos első előfordulási időpontja, a jobb oldalon pedig az éven belüli átlagos utolsó időpont térbeli eloszlása szerepel. Az egyes rácsponti értékek alapján grafikonos formában ábrázoljuk az első és utolsó előfordulási időpontok évek közötti változékonyságát is. Ezekon az ábrákon a függőleges vonalakon alul, illetve felül található vonalkák a magyarországi rácspontokban a RegCM-outputok alapján meghatározott legkorábbi, illetve legkésőbbi éven belüli előfordulási időpontokat jelölik ki. A függőleges vonalakon belüli kis négyzetek az összes magyarországi rácspont alapján az adott évre vonatkozó átlagos előfordulási időpontot jelzik.

4.3.1. I. fokozatú hőségriadós napok előfordulási időszaka az éven belül

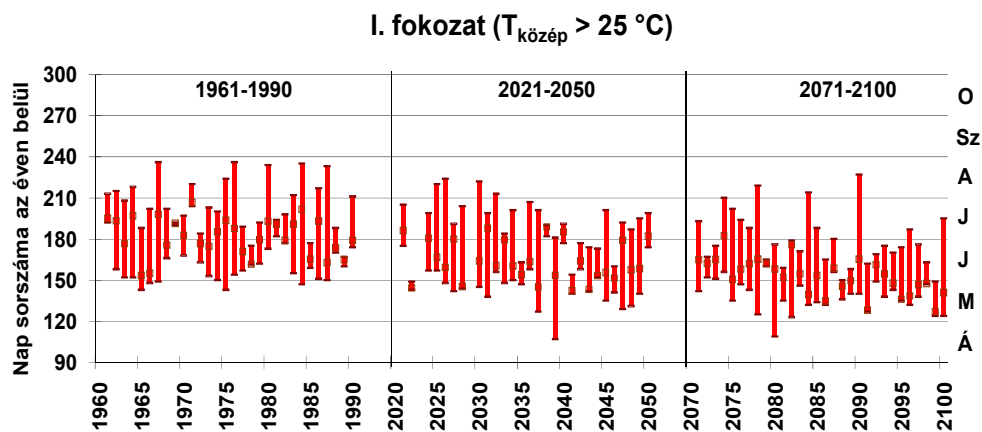
A 17. ábra bal felső térképe azt mutatja, hogy az I. fokozatú hőségriadó a RegCM szimulációk alapján az 1961-1990 időszakban leghamarabb az ország déli részén következik be, átlagosan az év 175-180. napján, azaz június 24-29. között; a Dunántúl északi felén ez 5 nappal későbbre tolódik, s a legkésőbbi első előfordulási időpont pedig észak-északkeleten fordul elő, átlagosan az év 185-190. napján, azaz július 4-9. között.

Az éghajlati szimulációk alapján az 1961-1990 időszakban az éven belüli utolsó I. fokozatú hőségriadó (17. ábra jobb felső térképe) délen átlagosan az év 220-225. napján, azaz augusztus 8-13. között fordul elő. Északi irányba haladva az éven belül egyre korábban következik be ez az időpont; Észak-Magyarországon az év 190-195. napja, azaz július 10-15. után már nem jellemző az I. fokozatú hőségriadó. A 2021-2050 időszak éghajlati szimulációja szerint átlagosan 5-10 nappal korábban jelenhet meg először az I. fokozatú hőségriadó, illetve ugyanennyivel később az utolsó előfordulás. 2071-2100 között a Dél-Alföldön már a 140-150. napon (május 25-30. között) lehetséges a hőségriasztás, átlagosan pedig az 1961-1990 referencia időszakhoz képest 30-35 nappal korábban következhet be az I. fokozatú hőségriadó, illetve ugyanennyivel később az utolsó hőségriasztási nap.



17. ábra: I. fokozatú hőségriasztás napok ($T_{közép} > 25 \text{ °C}$) első, illetve utolsó előfordulási időpontok éves átlaga (nap sorszama) a RegCM regionális éghajlati modell eredményei alapján az 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 idősza

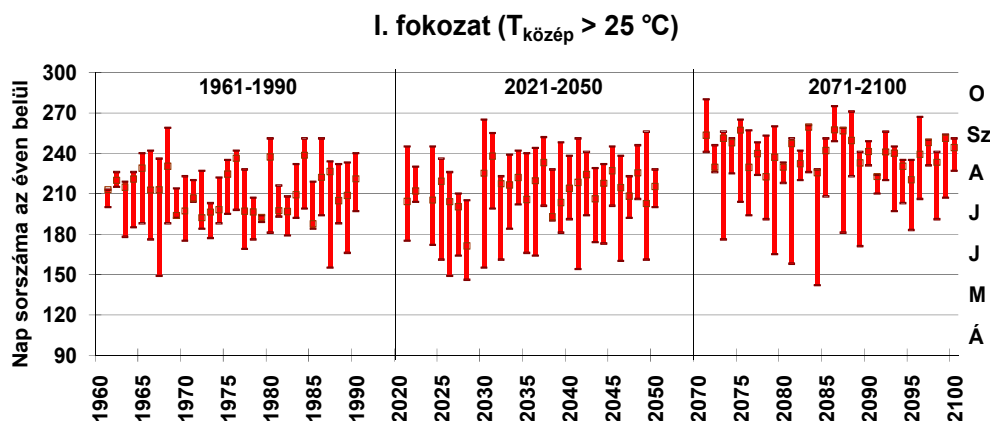
A 18. ábrán az I. fokozatú hőségriadós napok adott éven belüli első előfordulási időpontok térbeli átlagaiból (a függőleges vonalakon található kis négyzet jelölések) megfigyelhető, hogy az éven belüli átlagos első megjelenési időpont egyre korábban következik be. Míg a RegCM szimulációk szerint a referencia időszakban az éven belüli átlagos első előfordulási időpont átlagosan az év 175-195. napján következik be, 2021-2050-ben ez az érték már 145-165 közötti, az évszázad végén pedig 135-165 közötti. Ez azt jelenti, hogy a 2021-2050, illetve a 2071-2100 időszakban egyre gyakrabban tekinthető a májusi hónap a hőségriadó éven belüli átlagos első előfordulási időpontjának, míg 1961-1990-ben összesen 5 ilyen év található. Az éghajlati szimuláció szerint a XXI. században néhány hazai rácspontban akár már áprilisban is lehet számolni I. fokozatú hősérgiasztási nappal, ennek várható legkorábbi időpontja az év 107-109. napja.



18. ábra: I. fokozatú hősérgiadós napok első előfordulási időpontja az éven belül
 A függőleges vonalakon alul, illetve felül található vonalkák a magyarországi rácspontokban a legkorábbi, illetve a legkésőbbi előfordulási időpontokat jelölik ki.
 A függőleges vonalakon belüli kis négyzetek az összes magyarországi rácspont alapján az adott évre vonatkozó átlagos előfordulási időpontot jelzik.

Az I. fokozatú hősérgiadós napok éven belüli utolsó előfordulási időpontok grafikus megjelenítéséből (19. ábra) megfigyelhető a három vizsgált időszak során a későbbre tolódási trend. Az éghajlati szimulációk alapján az 1961-1990 kontroll időszakban az I. fokozatú hősérgiadós napok éven belüli átlagos utolsó előfordulási időpontja átlagosan az év 190-240. napján következik be (június vége-augusztus vége között), ami a 2021-2050-es időszakra még csak alig tolódik el. A XXI. század végén viszont már átlagosan az év 220-250. napján (nagyreszt augusztusban) lehetséges az utolsó hősérgiasztás, azaz a referencia időszakhoz képest 30-40 nappal később következhet be az

I. fokozatú hőségriadó utolsó napja. A 19. ábrán az is látszik, hogy a 2071-2100 időszakban 2 olyan év is található, amikor néhány hazai rácspontban az I. fokozatú hőségriadó még októberben is előfordulhat (várható időpontjuk az év 275-280. napja), ilyesmi a két előző időszakban egyáltalán nem jelentkezik a RegCM szimulációk alapján.



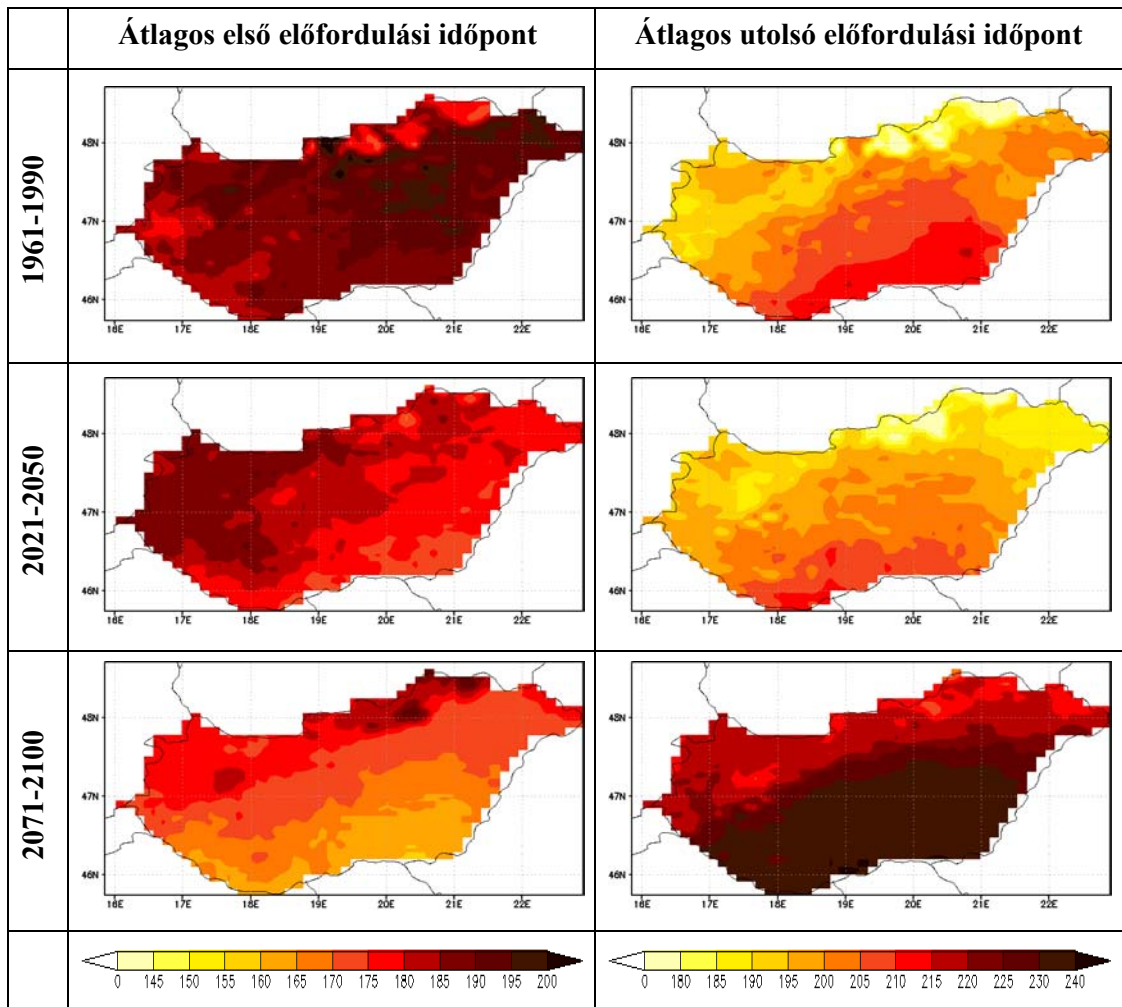
19. ábra: I. fokozatú hőségriadós napok utolsó előfordulási időpontja az éven belül. A függőleges vonalakon alul, illetve felül található vonalkák a magyarországi rácspontokban a legkorábbi, illetve a legkésőbbi előfordulási időpontokat jelölik ki. A függőleges vonalakon belüli kis négyzetek az összes magyarországi rácspont alapján az adott évre vonatkozó átlagos előfordulási időpontot jelzik.

4.3.2. II. fokozatú hőségriadós napok előfordulási időszaka az éven belül

A 20. ábrán az figyelhető meg, hogy hazánk térségében az 1961-1990 időszakban a II. fokozatú hőségriadó első előfordulási időpontja átlagosan az év 185-195. napja, más szóval július 4-14. közötti. Mint az I. fokozat esetében is, itt is az ország déli részén található a hősérgiasztás éven belüli átlagos utolsó napja (210-215. nap), az Északi-középhegységben pedig július 9. után már nem is jelenthető hősérgiasztás. A referencia időszakhoz viszonyítva a 2021-2050 időszakra szimulált adatok alapján átlagosan 5-10 nappal hosszabbodik meg a lehetséges hősérgiasztási időszak, a 2071-2100 időszakra pedig már átlagosan 20 nappal.

Általánosságban véve a hőségriadó legkorábbi előfordulása hazánk déli tájain várható, illetve valószínűleg ott következik be az utolsó is az évben. A 20. ábra bal felső térképén ehhez az általános térbeli eloszláshoz képest megfigyelhetünk egy látszólag ellentmondásos jelenséget, mégpedig azt, hogy az 1961-1990 időszakra vonatkozó RegCM szimulációk alapján a II. fokozatú hőségriadó az évben leghamarabb nem az ország déli részén jelenik meg, mint ahogyan az eddigiekben tapasztalhattuk, hanem az Északi-középhegységben. Ez a különböző rácspontokban eltérő előfordulási esetszámokkal

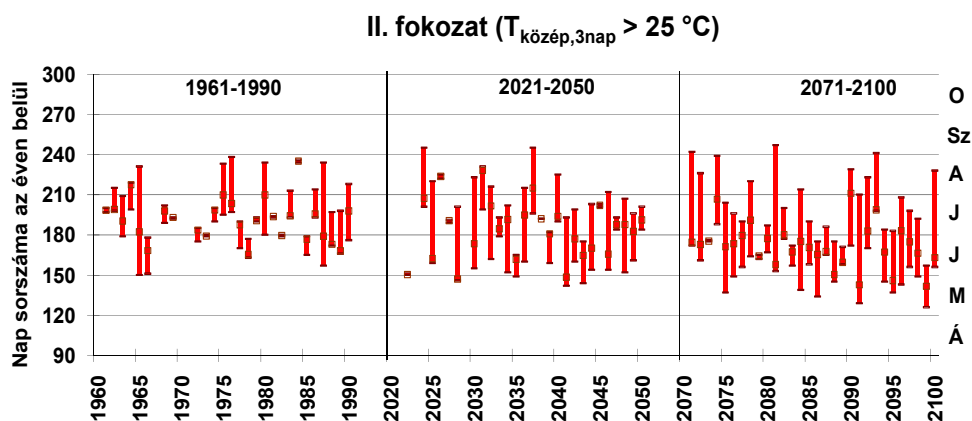
magyarázható. Ugyanis az 1961-1990 kontroll időszakban egyetlen olyan év található, amikor az Északi-középhegységben is előfordul II. fokozatú hőségriadó, mely a szimuláció során az év 177. napjára, azaz június 19.-ére esik. Ebben a szimulációs évben Magyarország egész területén a szokásoshoz képest egységesen korán jelentkeznek a hőségriadók. Míg azonban a többi rácspontban más években is előfordul II. fokozatú hőségriadós nap, addig az Északi-középhegység, illetve a Dunántól jelentős részén jóval kisebb esetszámot kapunk, s ez az átlagos éven belüli előfordulási időpont számításában jelentős térbeli különbséget idéz elő.



20. ábra: II. fokozatú hőségriasztás napok ($T_{közép,3nap} > 25 \text{ °C}$) első, illetve utolsó előfordulási időpontok éves átlaga (nap sorszáma) a RegCM regionális éghajlati modell eredményei alapján az 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 időszakra

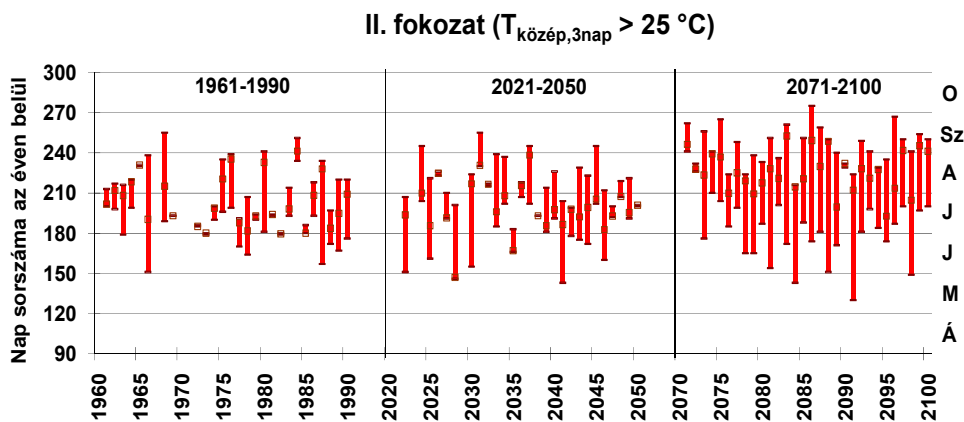
A 21. ábráról leolvasható, hogy a II. fokozatú hőségriadós napok adott éven belüli első előfordulási időpontok térbeli átlaga az 1961-1990 időszakban épp a nyári

hónapoknak megfelelő napokon következnek be, azaz június és augusztus között (150-240. nap az évben). Az éghajlati szimulációk szerint a 2021-2050-es időszakban már májusban is előfordulhat a II. fokozatú hőségriadó, sőt a 2071-2100 időszakban ez már a hónap első hetében is lehetséges (az év 126. napja).



21. ábra: II. fokozatú hőségriadós napok első előfordulási időpontja az évben belül. A függőleges vonalakon alul, illetve felül található vonalkák a magyarországi rácspontokban a legkorábbi, illetve a legkésőbbi előfordulási időpontokat jelölik ki. A függőleges vonalakon belüli kis négyzetek az összes magyarországi rácspont alapján az adott évre vonatkozó átlagos előfordulási időpontot jelzik.

A 22. ábrán látszik, amit már korábban is megállapítottunk, hogy 2071-2100-ban jelentősen több II. fokozatú hőségriadó várható, mint 1961-1990-ben. A kontroll időszakban 7 olyan évvel lehet számolni, amikor Magyarország egyik rácspontjában sem fordul elő II. fokozatú hőségriadó, valamint minden évben található olyan rácspont ahol egyáltalán nincs riasztás. Más a helyzet a XXI. század végén, mivel ekkor a RegCM modell minden évre prognosztizál II. fokozatú hőségriadót hazánk szinte egész térségére (Észak-Magyarország kivételével). Itt 3 évben országunk összes rácspontjában adottak a II. fokozatú hőségriadó feltételei. Az éghajlati szimulációk alapján a hőségriadó éven belüli átlagos utolsó előfordulási időpontja később következik be a XXI. században, mint a referencia időszakban. 1961-1990-ben ennek az értéknek a maximuma 238, azaz augusztus vége. 2021-2050-re a maximum 259-re növekszik, ami már szeptember közepét jelent, 2071-2100-ra pedig akár a 275-öt is elérheti, azaz a hazai rácspontok között van olyan, ahol II. fokozatú hőségriadó az évszázad utolsó három évtizedében még októberben is elképzelhető.

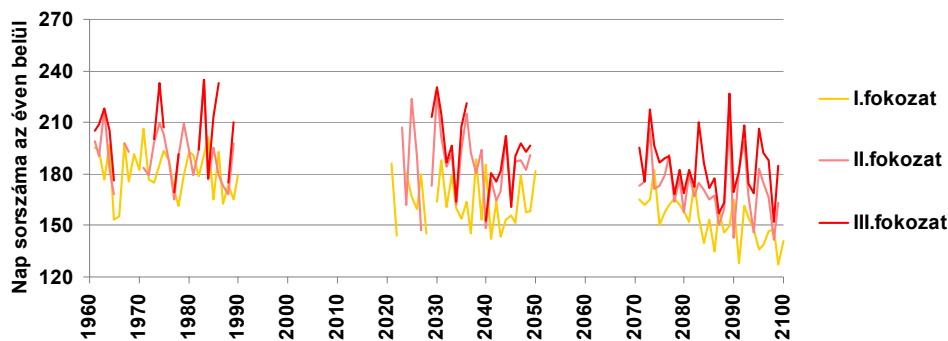


22. ábra: II. fokozatú hőségriadós napok utolsó előfordulási időpontja az éven belül.
 A függőleges vonalakon alul, illetve felül található vonalkák a magyarországi rácsponthoz a legkorábbi, illetve a legkésőbbi előfordulási időpontokat jelölik ki.
 A függőleges vonalakon belüli kis négyzetek az összes magyarországi rácsponthoz alapján az adott évre vonatkozó átlagos előfordulási időpontot jelzik.

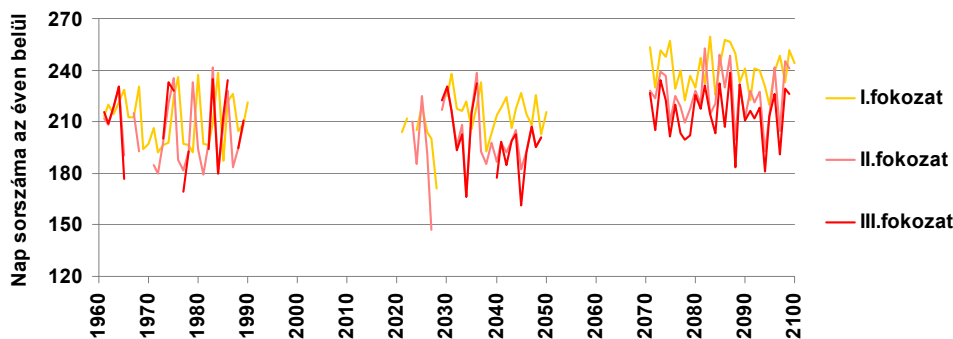
Mivel a referencia időszakban a III. fokozatú hőségriadó esetszáma (14. ábrán látszik) statisztikai szempontból nem megfelelő a 30 éves átlag képzéséhez, ezért ezek előfordulási időpontjai nem kerülnek be jelen dolgozatba.

4.3.3. A hőségriadó átlagos előfordulási időszaka Magyarország rácspontjaira

Az alábbiakban összefoglaljuk a 4.3.1., illetve a 4.3.2. alfejezetből levonható következtetéseket. A hőségriadók gyakoriságváltozása mellett ezek előfordulási időpontjukban is eltolódás érzékelhető, mint ahogyan ez a 23. ábrán, illetve a 24. ábrán is észleljük. Az éghajlati szimulációk alapján a XXI. század végén a hőségriadós napok első előfordulási időpontja várhatóan korábban, az utolsó előfordulási időpontja viszont később következik be az évben, mint az 1961-1990 referencia időszakban. 2071-2100-ban az I. fokozatú hőségriadó átlagosan 30 nappal korábban jelenhet meg, illetve ugyanennyivel később az utolsó előfordulás. A II. fokozatú hőségriadó esetében az eltolódás mértéke átlagosan 22 nap úgy az első, mint az utolsó előfordulásnál. 2071-2100-ban a III. fokozatú hőségriadó átlagosan 16 nappal korábban, illetve 9 nappal később jelenik meg, mint 1961-1990-ben.



23. ábra: Első előfordulási időpontok területi átlaga Magyarországon



24. ábra: Utolsó előfordulási időpontok területi átlaga Magyarországon

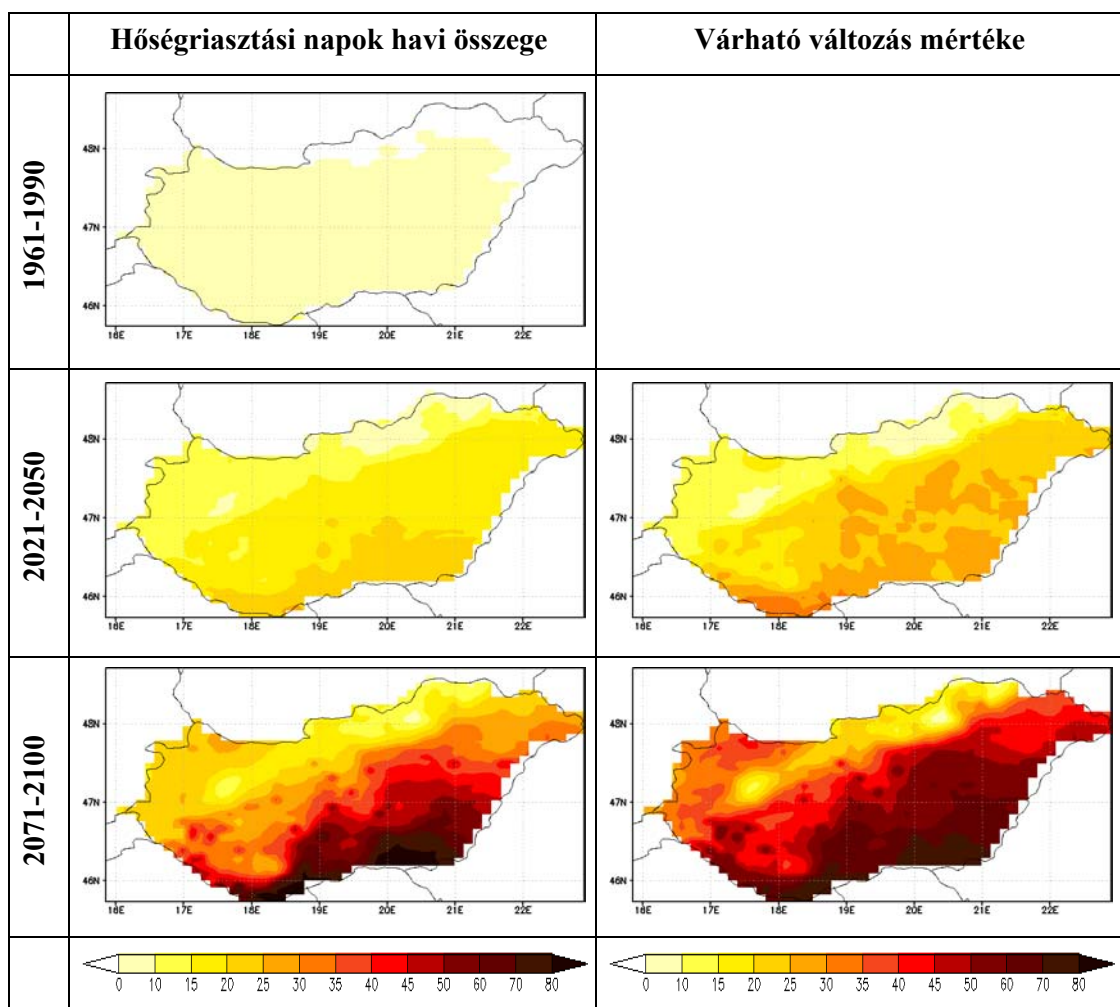
A hőségriadók korábbi megjelenése miatt humán-egészségügyi szempontból kiemelten fontos a nyári félév korai szakaszában előforduló hőhullámok elemzése (pl.: Hajat et al., 2002). Ezért a 4.4. alfejezetben azt vizsgáljuk, hogy milyen tendencia jellemző a májusi hőségriadós napok alakulásában.

4.4. A hőségriadós napok átlagos májusi számának területi eloszlása

A 4.2. fejezethez hasonlóan ebben a fejezetben is a hőségriadós napok számát vizsgáljuk, de most kifejezetten csak a májusi hónapra vonatkozó hőségriadós napok teljes három évtizedre számított összegét, valamint a 2021-2050 és a 2071-2100 időszakok május hónapjaiban várható változások mértékét elemezzük. Így a térképes formában bemutatott eredményeink bal oldali oszlopában a vizsgált 30 éves időszakokra vonatkozó érték szerepel, a jobb oldalon pedig a várható változások mértéke.

4.4.1. I. fokozatú hőségriadós napok májusban

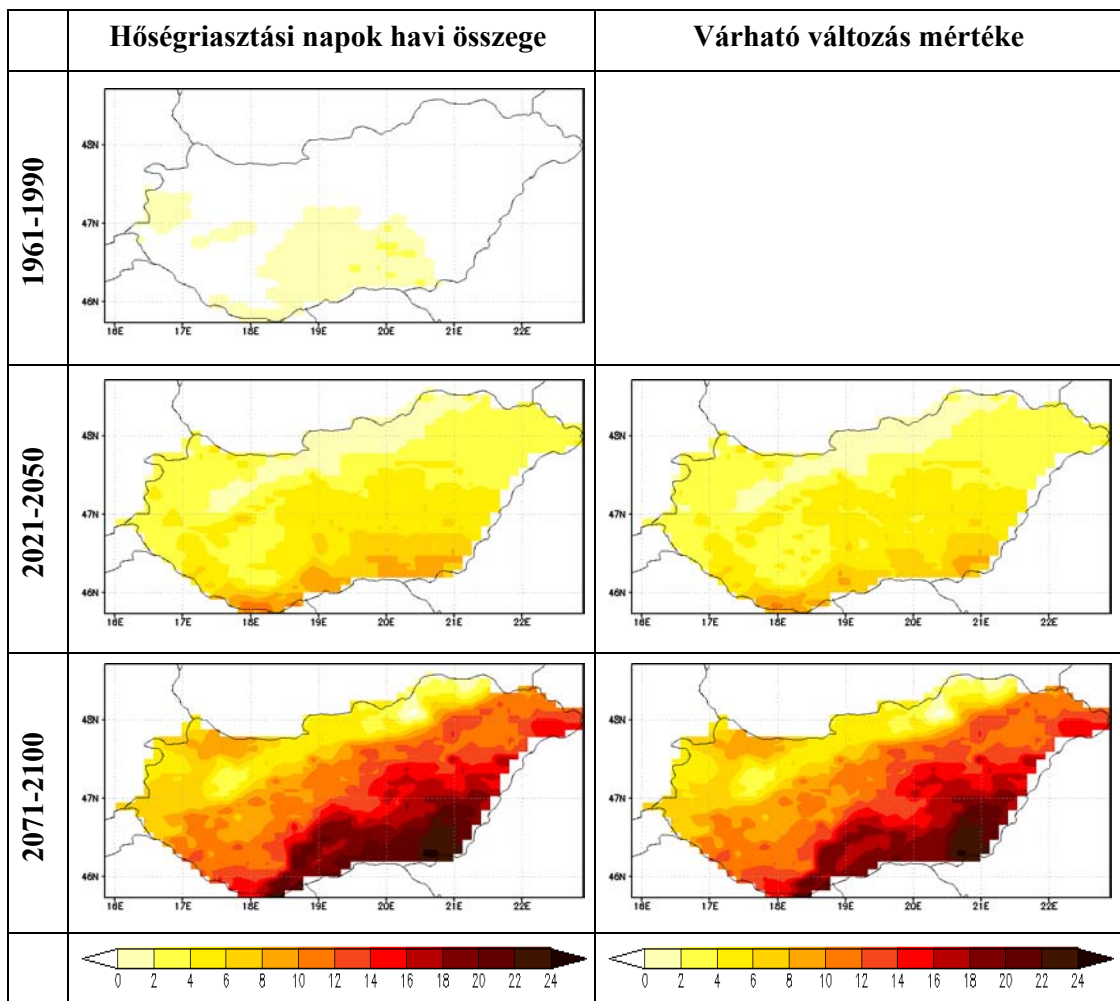
A 25. ábrán egyértelműen látszik, hogy északkeleten az 1961-1990 közötti májusi hónapokban nem fordul elő hőségriadó (25. ábra bal felső térképe), ami a 2021-2050, valamint a 2071-2100 időszakra az éghajlati szimulációk szerint nagy valószínűséggel módosul. A múltbeli 30 év során I. fokozatú hőségriadó májusban a Dunántúlon 1-3 napon fordult elő, a Dél-Alföldön pedig 5-10 napon. A 2021-2050 időszakban Magyarország területén várhatóan átlagosan 10-15 nappal növekszik a hőségriadós napok előfordulása májusban az 1961-1990 időszakhoz képest (25. ábra jobb felső térképe), sőt az ország déli részén akár 25-30 nappal is. A RegCM modell szimulációi alapján a 2071-2100 közötti májusi hónapokban a növekedés mértéke még nagyobb: maximális (kb. 70 nap) a Dél-Alföld déli részén, minimális (8-10 nap) pedig az ország északi részén valószínűsíthető.



25. ábra: I. fokozatú hőségriasztási napok ($T_{közép} > 25\text{ °C}$) 30 éves összege, illetve különbsége (nap) a RegCM regionális éghajlati modell eredményei alapján az 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 időszakra májusban

4.4.2. II. fokozatú hőségriadós napok májusban

Mint ahogyan az I. fokozatú májusi hőségriadónál is láttuk, a II. fokozatnál is megjelenik a zonális eloszlás: déli irányba haladva növekszik a hőségriasztási napok havi összege. A 26. ábrán látható, hogy az 1961-1990 időszakban májusban II. fokozatú hőségriadó szinte csak Bács-Kiskun megyében található. Az éghajlati szimulációk alapján a XXI. századra növekvő trend várható: 2021-2050-ben a várható növekedés mértéke átlagosan 3-5 alkalom, 2071-2100 időszakra pedig átlagosan 10-16 nap körüli lehet.

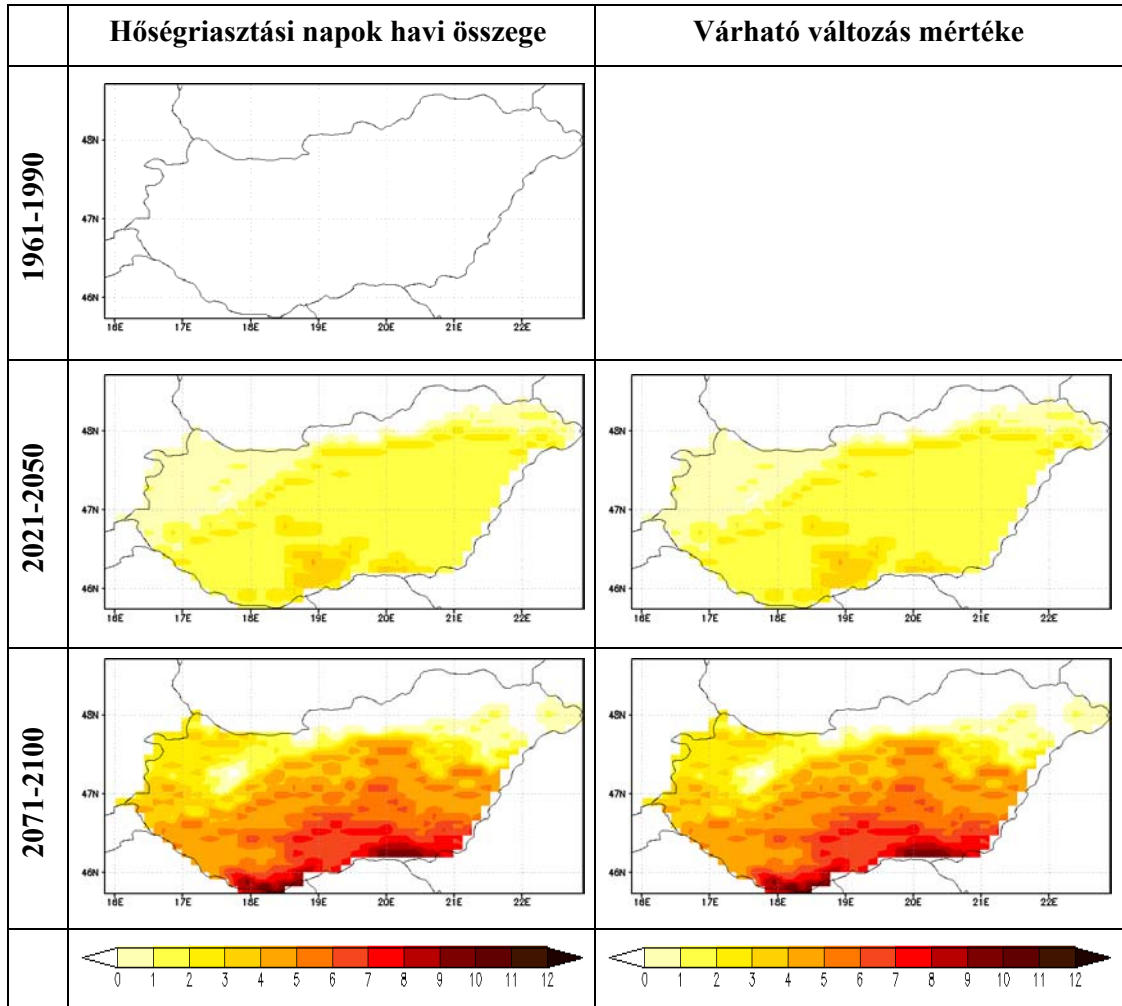


26. ábra: II. fokozatú hőségriasztási napok ($T_{közép,3nap} > 25\text{ °C}$) 30 éves összege, illetve különbsége (nap) a RegCM regionális éghajlati modell eredményei alapján az 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 időszakra májusban

4.4.3. III. fokozatú hőségriadós napok májusban

A III. fokozatú hőségriadó májusi előfordulási gyakoriságát a 27. ábra illusztrálja. A RegCM modell szimulációi alapján májusban az 1961-1990 időszakban egyáltalán nem jelentkezett ilyen esemény. 2021-2050 időszakra azonban a három évtized alatt a hazai

rácsponatok szinte mindegyikében (kivétel az északi határszél) előfordul 2-3 alkalommal, s 2071-2100 között pedig Magyarország területének nagy részén már akár 5-7 alkalommal is lehet számolni.



27. ábra: III. fokozatú hőségriasztási napok ($T_{közép,3nap} > 27\text{ °C}$) 30 éves összege, illetve különbsége (nap) a RegCM regionális éghajlati modell eredményei alapján az 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 időszakra májusban

5. Összefoglalás

Jelen szakdolgozat keretében áttekintettük a globális klímaváltozás várható egészségügyi hatásait. Mivel a melegedés humán-egészségügyi szempontból jelentős következményekkel járhat, ezért a különféle hatások közül kiemeltük a hőhullámokat, amelynek az intenzitás- és gyakoriságnövekedése az éghajlatváltozás egyik közvetlen klimatikus következménye. Külön esettanulmány keretében bemutattuk a 2003. nyári európai hőhullámot.

A dolgozat második részében a 10 km-es horizontális felbontású RegCM modell szimulált adatbázisát felhasználva elemeztük a hőhullámok várható tendenciáit Magyarország térségére. E vizsgálathoz a hazai gyakorlatban alkalmazott három fokozatú hőségriasztási rendszert (Bujdosó és Páldy, 2006) vettük figyelembe. A különböző fokozatú hőségriadós napok havi és éves számát meghatároztuk az 1961-1990 referencia időszakra, valamint a XXI. század két harmincéves időszakára (2021-2050, 2071-2100). A jövőre vonatkozóan az A1B közepesnek tekinthető globális scenáriót tekintettük. Eredményeinket térképes és grafikonos formában mutattuk be, melyek alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- A különböző fokozatú hőségriadós napok számában egyértelmű növekedő tendenciára számíthatunk a XXI. század során, mely összhangban van a térségben várható melegedő trenddel (Bartholy et al., 2009). Míg 2021-2050-re csak csekély mértékű növekedés valószínűsíthető, addig 2071-2100-ra már jelentős növekedés várható az 1961-1990 referencia időszakhoz viszonyítva.
- A hőségriadók gyakoriságváltozása mellett természetesen az éven belüli előfordulási időszak jelentős meghosszabbodásával is számolnunk kell. A XXI. század végére a hőségriadós napok éven belüli átlagos első előfordulási időpontja jóval korábbra tolódik, az éven belüli átlagos utolsó előfordulási időpont pedig lényegesen később következik be, mint a referencia időszakban.
- A hőségriadók korábbi megjelenése miatt kritikus időszakká válhat a május hónap (Hajat et al., 2002), ezért kiemelten vizsgáltuk a májusi hőségriadós napok várható tendenciáját. A tavaszi melegedés hatására egyértelműen a gyakoriságnövekedésre számíthatunk, mely szintén a 2071-2100 időszakra jelentősebb mértékű, mint a 2021-2050 időszakra.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki elsősorban témavezetőmnek, Pongrácz Ritának, aki folyamatosan és lelkiismeretesen irányította, valamint hasznos tanácsaival és ötleteivel segítette munkámat.

Köszönet illeti Törék Orsolyát a rám áldozott időért és önzetlen segítségéért.

A dolgozat elkészítéséhez felhasznált RegCM modell adaptálását és a szimulációk elkészítését az alábbi pályázatok támogatták: az EU VI. keretprogram CECILIA projektje (GOCE-037005), az MTA TKI Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz című (2006/TKI/246) programja, a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, az OTKA T-049824 és K-78125 számú pályázata, valamint az NKFP-3A/0082/2004 és az NKFP-6/079/2005 pályázat.

Irodalomjegyzék

- Bader, S., 2004: Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003. Arbeitsbericht, MeteoSchweiz, 200, Zürich, 40p.
- Bartholy, J., Pongracz, R., Torma, Cs., Pieczka, I., Kardos P., Hunyady, A., 2009: Analysis of regional climate change modelling experiments for the Carpathian basin. *International Journal of Global Warming*, 1, 238-252.
- De Bono, A., Peduzzi, P., Kluser, S., Giuliani, G., 2004: Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. *Environmental Alert Bulletin*. United Nations Environment Programme DEWA/GRID-Europe. 4p.
- Braga, A.L, Zanobetti, A., Schwartz, J., 2002: The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Env Health Perspect*, 110, 859-63.
- Bujdosó, L., Páldy, A., 2006: Az ÁNTSZ feladatai a klímaváltozás egészségi hatásainak megelőzése érdekében. *Agro-21 füzetek*, 48, 60-67.
- Casimiro, E., Calheiros, J., 2002: Human health. In: *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project* (Santos, F., Forbes, K. and Moita, R., Eds.), Gradiva, Lisbon, 241-300.
- Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, R.S., Revich, B., Woodward, A., 2007: Human health. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 391-431.
- Conti, S., 2003: Indagine epidemiologica sulla mortalità estiva. (Epidemiological analysis of the summer heat-wave). Istituto Superiore di Sanità, Centro Nazionale di Epidemiologia, Sorveglianza e Promozione della Salute, Rome. <http://www.epicentro.iss.it/archivio/2003/11-9-2003/11-9-2003.htm>
- Dickinson, R.E., Giorgi, F., Bates, G.T, 1989: A regional climate model for the western United States. *Climatic Change*, 15, 383-422.
- EKL, 2004: Eidgenössische Kommission für Lufthygiene, 2004: Sommersmog. Stellungnahme der Eidg. Kommission für Lufthygiene. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Swiss Medical Weekly*, 135, 200-205.

- Emberlin, J., Detandt, M., Gehrig, R., Jaeger, S., Nolard, N., Rantio-Lehtimäki, A., 2002: Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. *Int. J. Biometeorol.*, 46, 159-170.
- Fink, A.H., Brücher, T., Krüger, A., Leckebusch, G.C., Pinto, J.G., Ulbrich, U., 2004: The 2003 European summer heatwaves and drought. Synoptic diagnosis and impact. *Weather*, 59, 209-216.
- Fischer, P.H., Brunekreef, B., Lebreton, E., 2004: Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands. *Atmos. Environ.*, 38, 1083-1085.
- Frich, A., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A.M.G., Peterson, T., 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193-212.
- Galea, S., Nandi, A., Vlahov, D., 2005: The epidemiology of post-traumatic stress disorders after disasters. *Epidemiol. Rev.*, 27, 78-91.
- Gehrig, R., 2005: The influence of the hot and dry summer 2003 on the pollen season in Switzerland. *Aerobiologia*, 22, 27-34.
- Gehrig, R., Clot, B., Köhler, B. 2004: The influence of the hot and dry summer 2003 on the pollen season in Switzerland: Does it show a future scenario of climate change? XI International Palynological Congress, *Polen (Assoc. Palinol. Leng. Esp.)*, 14, 93-94.
- Giorgi, F., 1989: Two-dimensional simulations of possible mesoscale effects of nuclear war fires. *J. Geophys. Res.*, 94, 1127-1144.
- Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T., 1993a: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary layer and radiative transfer processes. *Monthly Weather Review*, 121, 2794-2813.
- Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T., Decanio, G., 1993b: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Monthly Weather Review*, 121, 2814-2832.
- Grize, L., Huss, A., Thommen, O., Schindler, C., Braun-Fahrlander, C., 2005: Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*, 135, 200-205.
- deGruijl, F., Longstreth, Norval, J.C., Cullen A., Slaper, H., Kripke, M., Takizawa, Y., van der Leun, J., 2003: Health effects from stratospheric ozone depletion and interactions with climate change. *Photochem. Photobio.*, 16-28.
- Hajat, S., Kovats, R.S., Atkinson, R.W., Haines, A., 2002: Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *J Epidemiol Community Health*, 56, 367-372.

- Hajat, S., Armstrong, B.G., Baccini, M., Biggeri, A., Bisanti, L., Russo, A., Paldy, A., Menne, B., Kosatsky, 2006: T. Impact of high temperatures on mortality - Is there an added heat wave effect? *Epidemiology*, 17, 632-638.
- Hémon, D., Jouglu, E., 2003: Surmortalité liée à la canicule d'août 2003: rapport d'étape: estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques. Inserm, Paris, France. 57p.
- Hunter, P.R., 2003: Climate change and waterborne and vectorborne disease. *J. Appl. Microbiol.*, 94, 37-46.
- IPCC, 2007: Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996p.
- IVS (Institut de Veille Sanitaire) 2003: Impact sanitaire de la vague de chaleur en France survenue en août, 2003: Rapport d'étape. Département des Maladies Chroniques et Traumatismes – Département Santé Environnement. Institut de Veille Sanitaire, Saint Maurice, France, 75p.
- Jendritzky, G., Menz, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., 1990.: Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). *Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, 114, Hannover, 7-69.
- Jendritzky, G., Koppe, C., Pfaff, G., 2003.: Die Hitzewelle 2003 in Westund Südeuropa. In: *BIOMET-Tagung Mensch-Pflanze-Atmosphäre* (C. Bernhofer, V. Godberg, Eds.), Tharandter Klimaprotokolle, Dresden, 5, 33-35.
- Kaiser, R., Le Tertre, A., Schwartz, J., Gotway, C., Daley, W., Rubin, C., 2007: The effect of the 1995 heat wave in Chicago on all-cause and cause-specific mortality. *Am. J. Public Health. Suppl.*, 1, 158-162.
- Keller, F., Fuhrer, J., 2004: Die Landwirtschaft und der Hitzesommer 2003. *Agrar-Forschung*, 11, 403-410.
- Koppe, C., Kovats, S., Jendritzky, G., Menne, B., 2004: Heat-waves: risks and responses, *Health and Global Environmental Change*, WHO, 2, Copenhagen, Denmark, 124p.
- Kovats, S., Wolf, T., Menne, B., 2004a: Heatwave of August 2003 in Europe: provisional estimates of the impact on mortality. *Eurosurveillance Weekly*, 8.

- Kovats, S., Edwards, S., Hajat, S., Armstrong, B., Ebi, K.L., Menne, B., 2004b: The effect of temperature on food poisoning: time series analysis in 10 European countries. *Epidemiol. Infect.*, 132, 443-453.
- Kosatsky, T., Menne, B., 2005: Preparedness for extreme weather among national ministries of health of WHO's European region. In: *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health* (B. Menne and K.L. Ebi, Eds.), Springer, Darmstadt, 297-329.
- Láng, I., Csete, L., Jolánkai, M., 2006: A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. In: *KvVM-MTA-VAHAVA projekt összefoglalás*, Budapest, 5-6.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., Wanner, H., 2004: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science*, 303, 1499-1503.
- Martinez Navarro, F., Simon-Soria, F., Lopez-Abente, G., 2004: Evaluation of the impact of the heat wave in the summer of 2003 on mortality. *Gac. Sanit.*, 18, 250-8.
- McConnell, R., Berhane, K., Gillil, F., London, S.J., Islam, T., Gaudeman, Avol, E., Margolis, H. G., Peters, J.M., 2002: Asthma in exercising children exposed to ozone: a cohort study. *Lancet*, 359, 386-91.
- McMichael, A.J., Woodruff, R.E., Hales, S., 2006: Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*, 367, 859-869.
- Météo-France, 2006: Les canicules. http://comprendre.meteofrance.com/pedagogique/dossiers/phenomenes/les_canicules?page_id=2763&document_id=4577&portlet_id=18300
- Météo-France, 2003: Retour sur la canicule d'août 2003. http://france.meteofrance.com/france/actu/bilan/archives/2003/canicule?page_id=0035
- Michaelis, L., 1998: Economic and technological development in climate scenarios. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 3, 231-261.
- Michelozzi, P., de'Donato, Bisanti, F.L., Russo, A., Cadum, E., DeMaria, M., D'Ovidio, M., Costa, G., Perucci, C.A., 2005: The impact of the summer 2003 heatwaves on mortality in four Italian cities. *Euro Surveill.*, 10, 161-165.
- Miettinen, I.T., Zacheus, O., Bonsdorff, C.H. , Vartiainen, T., 2001: Waterborne epidemics in Finland in 1998-1999. *Water Sci. Technol.*, 43, 67-71.
- Nakicenovic, N., Swart, R., 2000: *Special Report on Emissions Scenarios*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, 570p.

- NHS (National Health Service), 2006: Heatwave Plan for England. Protecting Health and Reducing Harm from Extreme Heat and Heatwaves. Department of Health, UK, 16p.
- Nogueira, P.J., 2005: Examples of heat warning systems: Lisbon's ICARO's surveillance system, summer 2003. In: Extreme Weather Events and Public Health Responses (W. Kirch, B. Menne and R. Bertollini, Eds.), Springer, Heidelberg, 41-160.
- Páldy, A., Bobvos, J., 2008: A 2007. évi magyarországi hőhullámok halálozásra gyakorolt hatásai. Klíma-21 Füzetek, 52, 3-15.
- Páldy, A., Erdei, E., Bobvos, J., Ferenczi, E., Nádor, G., Szabó, J., 2003: A klímaváltozás egészségi hatásai. Agro-21 Füzetek, 32, 62-77.
- Páldy, A., Bobvos, J., Vámos, A., Kovats, R.S., Hajat, S., 2005: The effect of temperature and heat waves on daily mortality in Budapest, Hungary, 1970-2000. In: Extreme weather events and public health responses (W. Kirch, B. Menne and R. Bertollini, Eds.), WHO, Springer, 99-108.
- Pascal, M., Laaidi, K., Ledrans, M., Baffert, E., Caseiro-Schönemann, C., Tertre, A.L., Manach, J., Medina, S., Rudant, J., P. Empereur-Bissonnet, 2006: France's heat health watch warning system. Int. J. Biometeorol., 50, 144-153.
- Pataki, G., Megyesi, Á., Fehér, I., 2002: A pulmonológiai intézmények 2001. évi epidemiológiai és működési adatai. Országos Korányi TBC és Pulmonológiai Intézet, Budapest
- Pejoch, M., Kriz, B., 2006: Ecology, epidemiology and prevention of Hantavirus in Europe. In: Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health (B. Menne and K.L. Ebi, Eds.), Steinkopff, Darmstadt, 243-265.
- Pirard, P., Vandentorren, S., Pascal, M., Laaidi, K., Le Tertre, A., Cassadou, S., Ledrans, M., 2003: Impact sanitaire de la vague de chaleur d'août 2003. Bulletin épidémiologique hebdomadaire, 45-46.
- Révész, A., Szentleki, K., 2007: A hőhullámok és a hőmérséklet sztochasztikus viselkedésének vizsgálata. Klíma-21 Füzetek, 51, 18-33.
- Robinson, P. J., 2001: On the Definition of a Heat Wave. Journal of Applied Meteorology, 40, 762-775.
- Schirmer, H., Kuttler, W., Löbel, W., Weber, J., 1993: Lufthygiene und Klima. In: Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. VDI-Verlag, Düsseldorf, 165-176.
- Semenza, J.C., McCullough, J.E., Flanders, W.D., McGeehin, M.A., Lumpkin, J.R., 1999: Excess hospital admissions during the July 1995 heatwave in Chicago. Am. J. Prev. Med. 16, 269-277.

- Sheridan, S.C., Kalkstein, L.S., 2004: Progress in Heat Watch-Warning System Technology. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 12, 1931-1941.
- Simón, F., López-Abente, G., Ballester, E., Martínez, F., 2005: Mortality in Spain during the heatwaves of summer 2003. *Euro Surveill.*, 10, 156-160.
- Smoyer, K.E., 1998: Putting risk in its place: methodological considerations for investigating extreme event health risk. *Soc Sci Med* 47, 1809-1824.
- Stedman, J.R., 2004: The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. *Atmos. Environ.*, 38, 1087-1090.
- Thommen Dombois, O., 2005: Direkte und indirekte Auswirkungen der Klimaänderung auf die Gesundheit. Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel. 32p.
- Thommen Dombois, O., Braun-Fahrländer, C., 2004: Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG). Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel, 85p.
- Tinz, B., Jendritzky, G., 2003: Europa- und Weltkarten der Gefühlten Temperatur. In: *Beiträge zur Klima- und Meeresforschung*. Berlin und Bayreuth, 113-123.
- Torma, Cs., Bartholy, J., Pongrácz, R., Barcza, Z., Coppola, E., Giorgi, F., 2008: Adaptation and validation of the RegCM3 climate model for the Carpathian Basin. *Időjárás*, 112, 233-247.
- Vandentorren, S., Suzan, F., Medina, S., Pascal, M., Maulpoix, A., Cohen, J.C., 2004: Mortality in 13 French cities during the August 2003 heat wave. *Am. J. Public Health*, 94, 1518-1520.