

Molnár Ágnes¹ – Gácsér Vera²¹ MTA-PE Levegőkémiai Kutatócsoport² Pannon Egyetem, Környezettudományi Intézet**Szélsőséges éghajlat –
szeszélyes időjárás**

Napjainkban az éghajlatváltozás kapcsán egyre többször kerül a figyelem középpontjába a szélsőséges időjárási események gyakoriságának az okozott károk előfordulásának és mértékének növekedése. Az extrém időjárási események közé tartoznak például a hurrikánok, tornádók és erős szélviharok, nagyon heves zivatarok („szupercellák”), jeges viharok, az aszályok, a hideg- és a hóhullámok.

Számos extrém időjárás, vagy éghajlati esemény az éghajlat természetes változékonyságának a következménye, amelyeket az antropogén éghajlatváltozás tovább erősíthet. Tanulmányunkban áttekintjük, hogy mi alapján tartjuk a különböző jelenségeket extrém időjárási eseményeknek, s a teljesség igénye nélkül röviden összefoglaljuk, hogy e jelenségek miként befolyásolják a természeti környezetet, milyen hatással vannak a különféle ökoszisztémákra, az emberi egészségre, az emberi társadalmak állapotára.

Időjárás és éghajlat

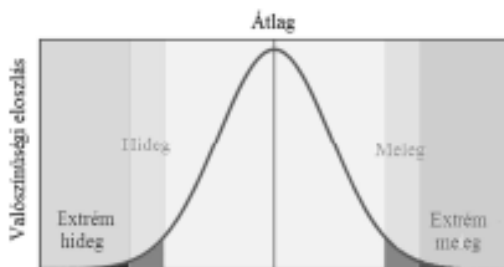
Az időjárás mindennapi éltünk fontos tényezője, amely jelentős mértékben kihat hétköznapi életünkre, a mezőgazdasági, ipari és energiatermelésre, a közlekedésre, az áru- és személyszállításra. A Meteorológiai Világszervezet (WMO, 2010) definíciója szerint az időjárás az a légkör pillanatnyi fizikai állapotát értjük, amely a meteorológiai (időjárási) elemekkel – hőmérséklettel, légnyomással, csapadékkal, széllel, felhőzettel, látótávolsággal – írható le. Az adott helyen és időben mérhető meteorológiai állapotjelzők értékei azonban nem választhatók külön az időjárást meghatározó képződményektől, frontoktól, ciklonoktól, anticiklonoktól. Ezért tágabb értelemben a légkör függőleges szerkezetét, cirkulációs rendszerét, a szárazföldek és óceánok kölcsönhatását is az időjárás meghatározó tényezőiként kell figyelembe vennünk.

Az éghajlatot gyakran csupán adott terület „átlagos időjárásaként” tekintjük. Köztudott, hogy a Föld éghajlatát a napenergia határozza meg, amely térben és időben egyenetlenül éri a felszínt. Az inhomogén energia-eloszlás következtében jönnek létre a légköri és óceáni mozgásrendszerek, amelyek legfőbb célja az energiaszállítás és kiegyenlítés. E nagy jelentőségű energiaáramok mellett az éghajlat alakításában, szabályozásában részt vesz a bioszféra, és egyéb tényezők is nagyon fontos szerepet játszanak, mint például a légkör kémiai összetétele, a szárazföldi felszín, az óceánok, a hó- és jégborított felszínek tulajdonságai és kiterjedése. Ezek együttesét nevezzük éghajlati rendszernek. Tágabb értelemben tehát az éghajlat az éghajlati rendszer állapotát jellemzi, amelyet a különböző statisztikai adatok számszerűsítenek. A Meteorológiai Világszervezet ajánlása szerint az éghajlati átlagokat és egyéb statisztikai jellemzőket (például szórás, szélsőértékek) 30 éves adatsorokból számítják.

Szélsőséges események, keletkezésük okai

Mit nevezünk extrém eseménynek?

Hosszú adatsorok, így a meteorológiai (időjárási, éghajlati) elemek adatsorainak elemzésére, értékelésére statisztikai vizsgálatokat alkalmazunk. Az adatsorokra eloszlás- és/vagy sűrűségfüggvény illeszthető, amelynek tulajdonságai a statisztikai jellemzőkkel (az adatsor átlaga, középértéke, szórása, adott érték előfordulási valószínűsége) írhatók le. Például adott helyen előforduló hőmérséklet valószínűségi eloszlását szemlélteti az 1. ábra. A gyakran előforduló hőmérsékleti értékek az átlag körüli tartományban jelennek meg, míg a nem szokványos, szélsőséges értékek a valószínűségi eloszlás két szélén találhatóak.



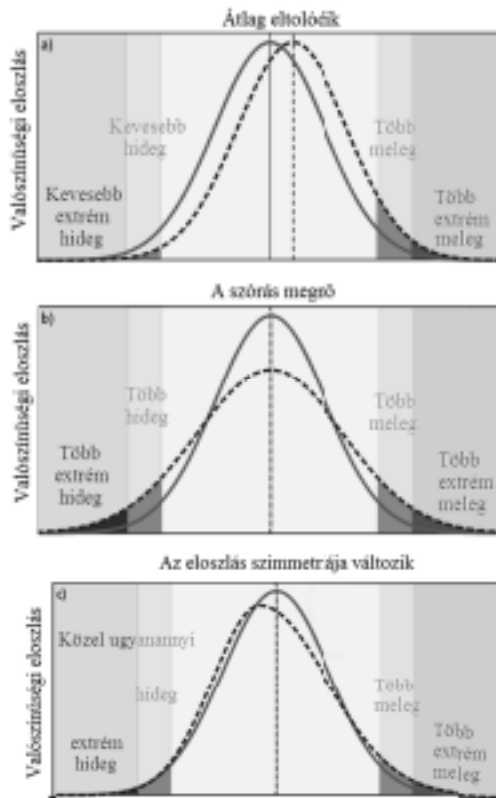
1. ábra. A hőmérséklet valószínűségi eloszlása. A ritkán (kis valószínűséggel) előforduló hőmérséklet-értékek az extrém hideg/meleg tartományba tartoznak (IPCC, 2012 alapján).

Extrém időjárási, vagy éghajlati eseménynek nevezzük tehát valamely időjárási/éghajlati változó olyan értékének előfordulását, amely a változó megfigyelt értékeinek valószínűségi eloszlása alapján meghatározott küszöbérték alatt vagy felett található, azaz ezek az értékek az éghajlati adatsor alapján ritkán, kis valószínűséggel következnek be. Meg kell jegyezni, hogy adott időjárási/éghajlati esemény extrém volta függ attól is, hogy milyen időszakra és milyen területre vonatkoztatjuk. Például egy nyári átlagos hőmérséklet télen szélsőségeként jelenhet meg és fordítva. Télen, a mérsékelt övben a nulla fok alatti átlagos hőmérséklet nem rendkívüli, ugyanakkor egy trópusi vidéken ez az érték extrém eseménynek számít. A visszacsatolási folyamatoknak is fontos szerepük van, mivel két vagy több

Az 1950-től rendelkezésre álló adatok alapján nagyon valószínű, hogy a szárazföldeken a hideg napok és éjszakák száma globális léptékben csökkent, míg a meleg napoké és éjszakáké nőtt, illetve emelkedtek a napi hőmérsékleti szélsőértékek (IPCC, 2007; Trenberth és mtsa., 2007). Egyes vizsgálatok szerint Európában az átlagos nyári maximumhőmérséklet 1880 és 2005 között $+1,6 \pm 0,4$ °C-kal nőtt (Della-Marta és mtsai, 2007; IPCC, 2012). Megfigyelési adatok és modellszámítások eredményei arra utalnak, hogy a 20. század második felétől a szárazföldeken a nagycsapadékú események száma növekszik, még olyan térségekben is, ahol az abszolút csapadékösszeg csökken.

szélsőséges esemény kölcsönösen erősítheti vagy csillapíthatja egymást. Például hőhullám és aszály együttes fellépésekor a meleg miatt fokozódik az evapotranszspiráció¹ és a párolgás, emiatt tovább nő a talaj kiszáradása.

Az éghajlatváltozás a szélsőséges események gyakoriságának, intenzitásának, térbeli kiterjedésének, hosszának és a fellépés idejének megváltozásához vezethet. E változás többféleképpen valósulhat meg (lásd 2.a–c ábra): adott paraméter valószínűségi eloszlása eltolódhat, megváltozhat az értékek szórása, illetve a valószínűségi eloszlás alakja, szimmetriája módosul (IPCC, 2012). E lehetőségeket a hőmérséklet-eloszlás megváltozásának példáján mutatjuk be. A hőmérséklet valószínűségi eloszlásának eltolódása (2.a ábra) azt eredményezheti, hogy az átlaghőmérséklet megnő, emellett több meleg és extrém meleg időszak várható, ugyanakkor ritkábban kell számítanunk hideg és extrém hideg időjárásra. A 2.b ábrán bemutatott esetben a hőmérséklet eloszlásának szórása nő meg. Ekkor a meleg és a hideg szélsőségek gyakorisága egyaránt növekszik. Végül, ha a hőmérséklet-eloszlás szimmetriája módosul a 2.c ábra szerint, az átlaghőmérséklet növekedése mellett a meleg és az extrém meleg időszakok gyakoribbá válnak, míg a hideg és az extrém hideg hőmérsékletű periódusok gyakorisága (száma) nem változik.



2. ábra. Az éghajlatváltozás esetleges hatása a hőmérséklet valószínűségi eloszlására. Folytonos görbe: kiindulási adatok („normál”), szaggatott görbe: éghajlatváltozás hatása (IPCC, 2012 alapján).

Az 1950-től rendelkezésre álló adatok alapján nagyon valószínű, hogy a szárazföldeken a hideg napok és éjszakák száma globális léptékben csökkent, míg a meleg napoké és éjszakáké nőtt, illetve emelkedtek a napi hőmérsékleti szélsőértékek (IPCC, 2007; Tren-

berth és *mtsai*, 2007). Egyes vizsgálatok szerint Európában az átlagos nyári maximum-hőmérséklet 1880 és 2005 között $+1,6\pm 0,4$ °C-kal nőtt (*Della-Marta* és *mtsai*, 2007; *IPCC*, 2012). Megfigyelési adatok és modellszámítások eredményei arra utalnak, hogy a 20. század második felétől a szárazföldeken a nagycsapadékú események száma növekszik, még olyan térségekben is, ahol az abszolút csapadékösszeg csökken.

Időjárási, éghajlati extrém indexek

A szakirodalomban és a gyakorlatban az időjárási/éghajlati szélsőséges (extrém) eseményeket a leggyakrabban „extrém indexek” segítségével jellemzik. A szélsőséges időjárási eseményeket leginkább többtényezős, komplex folyamatok eredményezik, amelyek az indexek definiálásával többé-kevésbé egyszerű módon vehetők figyelembe. Az extrém indexek bevezetése és alkalmazása tehát megfelelő eszköz a kiváltó folyamatok jellemzésére, továbbá „jelentésük” még a nem szakemberek számára is viszonylag könnyen értelmezhető.

Az időjárási/éghajlati extrém indexek gyakran az adott meteorológiai elem valószínűségi eloszlásán vagy valamely küszöbérték túllépésén alapulnak. Az indexek tartalmazhatnak egyéb információkat is, úgymint például azon napok számának százalékos arányát, amelyeken a maximum vagy a minimum hőmérséklet kívül esik a meghatározott küszöbértéken. Mindig valamilyen időszakra vonatkoznak (nap, hónap, évszak, év), és az éghajlati referencia-időszakhoz (30 év) viszonyítva értékelendők. A küszöbértékeket a valószínűségi eloszlás alapján definiálják, amelyek általában az alacsony (egy, öt vagy 10 százalékos, esetleg ennél is kisebb) bekövetkezési valószínűségű értékeket jelentik. Más definíciók a küszöbértéket meghaladó napok számát adják meg, vagy ennél még összetettebb definíciót alkalmaznak, mint például az éghajlati extrém esemény hossza vagy fennmaradása.

Az időjárási/éghajlati extrém indexeket általában a napi – időnként évszakos – hőmérséklet- és csapadék-jellemzőkre vagy más időjárási/éghajlati változókra (szélsébség, nedvesség) definiálják. Ezekon kívül a szakirodalomban számos, az emberi egészséggel kapcsolatos, illetve a szárazságra (aszályra) vonatkozó index is megtalálható, amelyekkel részletesebben a *Változik-e éghajlatunk? Magyarországi trendek, szélsőségek* című tanulmányban foglalkozunk.

Szélsőséges események környezeti hatása

Az időjárási szélsőséges események hatásai főként a természeti környezet, az ökoszisztémák, az emberek és az emberi társadalmak állapotát befolyásolják kedvezőtlenül (*IPCC*, 2012). E hatások azonban nem minden esetben negatívak: például egy áradást kiváltó esőzés jótékony hatással lehet a következő évi termésre, vagy egy hosszabb fagyos időszak csökkentheti a mezőgazdasági kártevők számát.

A huszadik század második feléről rendelkezésre álló adatok elemzése arra utal, hogy egyes szélsőséges időjárási események gyakorisága, intenzitása megváltozott. A modellszámítások szinte bizonyosan a hőmérsékleti extrém időjárási események gyakoriságának, súlyosságának jelentős növekedését jelzik a 21. század végéig. Ezzel párhuzamosan a Föld számos helyén a heves csapadékhullás gyakorisága és ezek aránya az összes lehulló csapadékon belül valószínűleg növekedni fog az évszázad végéig, ami az áradások gyakoribbá és súlyosabbá válását eredményezheti. Más területeken ugyanakkor csökkenhet a csapadékmennyiség, és az erősödő evapotranszpiráció miatt nőhet

a szárazság, az aszályok intenzitása és hossza, ami az erdő- és bozóttüzek kockázatát is jelentősen megnöveli (IPCC, 2012).

Példaként a 2003-as év nyarán Európa nagy részét érintő extrém hőhullámot említhetjük. A nyári középhőmérséklet az átlagos értékeket jóval meghaladta. Növekedett az energiaigény, de a folyók vízszintjének csökkenése miatt a hőerőművek hűtés-hatékony-sága lecsökkent, sőt hat erőművet teljesen le is kellett állítani (Létard és mtsai, 2004). Számos nagy folyó (például Pó, Rajna, Loire, Duna) vízszintje rekord alacsony volt, ami akadályozta a hajózást, az öntözést. A mezőgazdaság komoly veszteségeket szenvedett el, 13 milliárd euróra becsülték a bekövetkezett károk mértékét (Ciais és mtsai, 2005). A nagy meleg és a szárazság hatalmas erdőtüzekhez vezetett, az Alpokban a gleccserek fokozott olvadása jelentett csak vízutánpótlást a Duna és a Rajna számára. Végül a hőhullám a becslések szerint mintegy 35 ezer ember halálához járult hozzá, amelyben Európa előregedő népesség-szerkezete is jelentős tényező lehetett (IPCC, 2012).

A jelenségek következményeinek jellegét és súlyosságát természetesen nem csak önmagukban az extrém események határozzák meg, hanem az adott ökoszisztéma/népesség kitettsége és sérülékenysége is. A kitettséget és a sérülékenységet számos fizikai, kémiai és egyéb természeti folyamat mellett társadalmi-gazdasági tényezők (például gazdasági fejlettség) befolyásolják. Általában egy adott szélsőséges környezeti hatás következménye azokon a területeken jelentős, ahol a környezeti rendszer kitettsége és sérülékenysége számottevő. Az extrém eseményeknek az emberiségre gyakorolt negatív hatásai főként a városokban és a városok környezetében, a nagy népsűrűségű vidékeken koncentrálódnak. A településeken és a természeti környezetben a legnagyobb károkat a szárazságok, az áradások, hőhullámok, földcsuszamlások, viharok, extrém tengerszint-emelkedés, tüzek, por- és homokviharok okozzák.

Aszály

A szélsőségesen meleg és csapadékszegény időjárás egyik legközismertebb következménye az aszály kialakulása. Az aszály a csapadék-, a nedvességihiánnyal kapcsolatos komplex jelenség, amelynek különféle definíciói vannak. Meteorológiai aszálynak az abnormálisan csapadékhiányos időszakokat nevezzük. A vegetációs időszakban fellépő csapadékhiány hatással van a mezőgazdasági növények terméshozamára és általában más természetes ökológiai rendszerek (erdők, mezők) működésére. A talajnedvességi vagy mezőgazdasági aszály elnevezés a talajnedvességben (főként a gyökérszónában) fellépő vízhiányt jelenti. A csapadékhiány a vízkészletekre gyakorolja a legnagyobb hatást, szélsőséges esetben alakul ki a hidrológiai aszály, amely a folyók, a tavak és a talajvíz szintjének negatív anomáliáira utal.

A talajnedvességi és a hidrológiai aszály esetében az aszályt megelőző környezeti állapot (talajnedvesség állapota, a tavakban és hóban tárolt vízmennyiség, felszín alatti víztárolás) is lényeges: jelentős mértékű „memória-effektussal” kell számolni, ez magyarázza a több évig fennálló aszályokat, amikor a talajnedvesség anomália egyik évről a másikra átterjed. Az aszályok terméshozamra, természetes ökoszisztémák működésére, a vízkészletre és az energiatermelésre gyakorolt hatásának felméréséhez az aszályos időszak fennállásának hosszát, intenzitását, térbeli kiterjedését is jellemezni kell (IPCC, 2012).

A városokat érintő hatások

A városok – hőszigetként – elsősorban a középhőmérsékletet növelik. E hőszigetek hőhullámokkal² kombinálódva komoly egészségügyi hatásokkal járhatnak együtt, az extrém magas hőmérséklet szárazsággal, aszályal párosulva vízellátási, élelmiszer-raktározási, energiarendszerbeli krízishelyzeteket is okozhat. A hőhullámok ugyanakkor a levegő minőségét is károsan befolyásolják. Ilyen időszakokban megnő azon napok száma, amikor a légszennyező anyagok igen nagy koncentrációban fordulnak elő.

Emberi egészséget befolyásoló tényezők

Az időjárási események különbözőképpen befolyásolhatják az egészségi állapotot. A hazai és nemzetközi szakirodalom ezek közül elsősorban a hőmérséklet okozta direkt egészségügyi hatások vizsgálatával foglalkozik, de a közvetett hatások is számottevők. Ez utóbbiak közül meg kell említeni a kórokozó-hordozók, az úgynevezett vektorok (például a malária, a dengue láz és a sárgaláz kórokozóját terjesztő szúnyogok) okozta megbetegedéseket, az allergén növényfajok pollentermelődésének fokozódását. A melegebb időjárás elősegíti a vektorok szaporodását és lerövidíti a kórokozók fejlődési ciklusát. Az extrém meleg nyarakon korábban kezdődik és hosszabb ideig tart például a fűfélék és a parlagfű, valamint az üröm virágzása, amely sok embert érintő komoly népegészségügyi probléma hazánkban (Páldy és mtsai, 2004).

A magas hőmérséklet okozta közvetlen egészségügyi hatások közül legjelentősebb a hőhullámokra visszavezethető többlethalalozások számának növekedése (Casimiro és mtsai, 2006; Ishigami és mtsai, 2008). A hőség negatív élettani hatása az életkor előrehaladtával fokozódik: Páldy és munkatársai (2005) kimutatták, hogy Budapesten a hőhullámokhoz köthető többlethalalozás elsősorban a 75 év felettieket érinti.

A levegőminőségre ható tényezők

Régóta ismert tény, hogy a levegő minőségét az időjárás nagymértékben befolyásolja. Már a 20. század elején Londonban és más nagyvárosokban időnként jelentős légszennyezettségi epizódok fordultak elő, amelyek általában stabilis, több napig fennmaradó, kis légmozgással járó időjárási helyzetekben alakultak ki. E helyzetek télen és nyáron egyaránt előfordultak, előfordulnak. Az ilyen jellegű események kialakulásának közös vonása a stabil légrétegződés, amely megakadályozza a függőleges keveredést, és kedvez a szennyezőanyagok feldúsulásának (Bozó és mtsai, 2006).

Télen a ködös levegőben eleinte elsősorban a kén-dioxid, a különböző savak és a korom koncentrációja volt jelentős. Mára ez a helyzet megváltozott, télen főként a PM10 (a 10µm-nél kisebb úgynevezett aeroszol részecskék) tömegkoncentrációjának növekedése okozza a legnagyobb problémát.³ Magyarországon ilyen epizódok főként az úgynevezett hidegpárnás helyzetekben alakulnak ki, amelyek bár nem tekinthetők szélsőséges időjárási eseményeknek, ugyanakkor extrém légszennyezettséghez (a PM10-koncentráció egészségügyi határértékének túllépéséhez) vezethetnek. Nyáron a stabil légrétegződés gyakran nagy besugárzással és hőmérséklettel, egyre gyakrabban hőhullámmal jár együtt. A levegőben intenzív fotokémiai reakciók mennek végbe, amelynek legismertebb „eredménye” a felszínközeli ózon koncentrációjának megnövekedése.

Áradások, árvizekre gyakorolt hatás

Az extrém időjárási események ugyancsak súlyos következményei az árvizek. Legfőbb okozói az intenzív, hosszantartó csapadékhullás, hó – és jégolvadás, a kettő kombinációja, gátszakadás, földcsuszamlás, jégtorlódás miatti vízáteresztőképesség-csökkenés, vagy helyi intenzív viharok. Az áradásokat a csapadékhullás intenzitása, időtartama, mennyisége, ideje és halmazállapota jelentősen befolyásolja, de a vízgyűjtőterület jellemzői (a folyók vízszintje; a talaj jellege és állapota, azaz hogy fagyott-e, vagy sem, a talajnedvesség mértéke és függőleges eloszlása; a hó/jégolvadás sebessége és ideje; urbanizáció; árkok, töltések, víztározók léte, stb.) is fontos szerepet játszanak (IPCC, 2012). A gazdasági növekedés és a földhasználat-változás a természetes ökológiai rendszerek megváltozásához vezethetnek. Az emberi beavatkozás (az erdőirtás, az urbanizáció, a mocsarak lecsapolása, a folyók szabályozása, a nem vízáteresztő felületek – tetők, utak, járdák, parkolók – arányának növekedése) a csapadékelfolyás természetes rendszerét kedvezőtlenül befolyásolhatja (Szlávik, 2005).

Természetes és mezőgazdasági ökológiai rendszerekre gyakorolt hatások

Az ökológiai rendszerek reprodukciója, betegségekkel szembeni ellenállóképessége, általános egészségi állapota is függ az időjárási extrém eseményektől. Például tüzek, áradások a reprodukciót gátolhatják, egyes fajok ki is pusztulhatnak, de tüzek, szélviharok az ökoszisztéma megújulását is elősegíthetik (IPCC, 2012). A környezeti változásokra adott ökológiai válaszok gyakran nem lineárisok, adott küszöbérték elérésénél hirtelen fellépő nagy változásokban jelentkeznek (K. Láng és mtsai, 2005).

Nagyobb hőmérsékleten a legtöbb növény növekedése felgyorsul, ha elegendő tápanyag és víz áll rendelkezésre. Egy bizonyos határ után a további melegedés a növekedés csökkenéshez, vagy akár a növények elhalásához is vezethet (Harnos, 2005). A meleg hatására módosul a szén- és a nitrogén-körforgás, csökken a vízhozzáférés, csökkenhet az ökoszisztéma nettó szén-dioxid kicserélődése, a nettó elsődleges termelés.⁴ A gyakoribb meleg évek a szárazföldi ökológiai rendszerek szén-dioxid felvételének tartós csökkenéséhez vezethetnek. Az extrém hőmérsékleti feltételek az erdő ökoszisztémákat nettó nyelőből nettó forrássá⁵ változtathatják. Erre példa a 2003-as évben az egész Európára kiterjedő hőhullám, amely a fotoszintézis során megkötött szén 30 százalékos csökkenését okozta, és erős nettó szén-dioxid forrássá vált (IPCC, 2012).

A melegedés az erdei fafajok vitalitásának, valamint faprodukciójának csökkenését idézheti elő (Mátyás, 2004; Führer és Mátyás, 2005; Hanewinkel és mtsai, 2013; Williams és mtsai, 2013), de más természetes ökoszisztémákban is egyes fajok pusztulását okozhatja. Magyarország több védett természeti területén a vízhiány és az aszály jelenti a legnagyobb problémát, így a szikes tavak, mocsarak, lápok és más vizes élőhelyek, a homoki és szikes legelők esetében. Aszály következtében a sztyeppi formációt helyenként sivatagi karakterű növényzet válthatja fel (K. Láng és mtsai, 2005).

Az ökológiai rendszerekben kiváltott hatás természetesen nem csupán a melegedés mértékétől, de a szervezetek fiziológiai érzékenységtől is függ. A megemelkedett hőmérséklet és az általában fokozódó vízhiány hatását a növények csak viszonylag szűk korlátok között tudják tolerálni (K. Láng és mtsai, 2005). Emellett a talaj termőképessége is változhat, mivel a termőréteg hőmérsékletének növekedése gyorsítja a szerves anyag lebomlását (Harnos, 2005).

Az aszály, a szélsőséges hőmérsékletű időszakok a mezőgazdasági termelésre, főként a gabonatermelésre vannak kedvezőtlen hatással. Egyes gabonafélék különösen érzé-

kenyek a magas hőmérsékletre, főként a beporzás előtt és alatt. A hőstressz a növények korai kényszeréréséhez vezethet, csökken a biomassa és a termés mennyisége, romlik a minősége (például Hurkman és mtsai, 2009; Balla és mtsai, 2009; Veisz, 2005). A melegedés a növényi kártevők szaporodására, áttelelésére, s így általános elterjedésükre kedvező hatással lehet (Harnos, 2005; Veisz, 2005).

Extrém időjárási események és következményeik (hurrikánok, tornádók és erős szélviharok, zivatarok, jeges viharok, nagy hideg, földcsuszamlás, lavina, áradások, erdő- és bozóttüzek, aszályok és hőhullámok) az állatok életét is jelentősen befolyásolják. Egyes szélsőséges események (erős szellőkések, hőhullámokban a kiszáradás, nagy hideg) a madarak direkt pusztulását okozzák. Az élőhely, a fészkelő terület pusztulása, megsemmisülése (tüzek, áradások, szélviharok) a populáció csökkenését eredményezi. A táplálékforrások (magvak, termések, rovarok, nektár, kisebb állatok) is károsodhatnak, így a madarak megfelelő élelem-utánpótlás nélkül maradhatnak (IPCC, 2012; <http://birding.about.com/>).

Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0064 jelű pályázat keretében készült, ami az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- Balla K., Bencze Sz. és Veisz Ottó (2009): *A búza minőségének változása extrém magas hőmérséklet hatására*. Előadás: Hagyomány és haladás a növény-nemesítésben. XV. Növény-nemesítési Tudományos Napok, Budapest, 2009. március 17.
- Bartha E. B. (2010): *A globális klímaváltozás egészségügyi hatásai Európában és Magyarországon*. Szakdolgozat. ELTE Földrajz- és Földtudomány Intézet, Meteorológiai Tanszék, Budapest.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Pattantyús-Ábrahám, M. és Pátkai, Zs. (2005): Analysis of the European cyclone tracks, the corresponding frontal activity, and changes in MCP frequency distribution, EMS Annual Meeting/ECAM 2005 – Abstracts, Vol. 2. European Meteorological Society.
- Bozó L., Mészáros E. és Molnár Á. (2006): *Levegőkörnyezet. Modellelés és Megfigyelés*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Casimiro, E., Calheiros, J., Duarte Santos, F. és Kovats, S. (2006): National Assessment of Human Health Effects of Climate Change in Portugal: Approach and Key Findings. *Environmental Health Perspectives*, **114**. 1950–1956.
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, Chr., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A. D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J. M., Papale, D., Pilegaard,
- K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J. F., Sanz, M. J., Schulze, E. D., Vesala, T. és Valentini, R. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, **437**. 529–533.
- Della-Marta, P. M., Haylock, M. R., Luterbacher, J. és Wanner, H. (2007): Doubled length of western European summer heat waves since 1880. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, **112**. D15103, doi:10.1029/2007JD008510.
- Führer E. és Mátyás Cs. (2005): A klímaváltozás hatása a hazai erdők szénmegkötő képességére és stabilitására. *Magyar Tudomány*, **166**. 837-841.
- Hanewinkel, M., Cullmann, D. A., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J. és Zimmermann, N. E. (2013): Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, **3**. 203–207. doi: 10.1038/NCLIMATE1687.
- Harnos, Zs. (2005): A klímaváltozás és lehetséges hatásai a világ mezőgazdaságára. *Magyar Tudomány*, **166**. 826–832.
- Hurkman, W. J., Vensel, W. H., Tanaka, C. K., Whitehead, L. és Altenbach, S. B. (2009): Effect of high temperature on albumin and globulin accumulation in the endosperm proteome of the developing wheat grain. *Journal of Cereal Science*, **49**. 12–23.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III

to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri, and A. Reisinger (szerk.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC (2012): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, és P.M. Midgley (szerk.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp. Ishigami, A., Hajat, S., Kovats, R. S., Bisanti, L., Roggoni, M., Russo, A. és Paldy, A. (2008): An ecological time-series study of heat-related mortality in three European cities. *Environ Health*, January 28. doi: 10.1186/1476-069X-7-5 PMID: PMC2266730

K. Láng, E., Kröel-Dulay, Gy. és Rédei, T. (2005): A klímaváltozás hatása a természet közeli erdősztyepp ökoszisztémákra Magyarországon. *Magyar Tudomány*, **166**. 812–817.

Létard, V., Flandre, H. és Lepeltier, S. (2004): France and the French response to the heatwave: Lessons from a crisis. In: *Information report of the Senate number 195(2003–2004)*. Paris. 391.

Mátyás Cs. (2004): A természetes növénytakaró, az erdő klímáérzékenysége. *Természet Világa*, **135**. II. különszám 70–73.

Páldy, A., Erdei, E., Bobvos, J., Ferenczi, E., Nádor, G. és Szabó, J. (2004): A klímaváltozás egészségi hatásai. *Egészségtudomány*, **48**. 220–236.

Páldy, A., Bobvos, J., Vámos, A., Kovats, R. S. és Hajat, S. (2005, Eds.): The effect of temperature and heat waves on daily mortality in Budapest, Hungary, 1970–2000. In: Kirch, W., Menne, B. és Bertollini, R.

(szerk.): *Extreme weather events and public health responses*. WHO, Springer. 99–108.

Szlávik, L. (2005): Szélsőséges hidrológiai helyzetek és az árvízi-belvízi biztonság. *Magyar Tudomány*, **166**. 818–825.

Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J. A., Rusticucci, M., Solden, B. és Zhai, P. (2007): *Observations: Surface and atmospheric climate change*. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. és Miller, H. L. (szerk.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK – New York, NY, USA. 235–336.

Williams, A. P., Allen, C. D., Macalady, A. K., Griffin, D., Woodhouse, C. A., Meko, D. M., Swetnam, T. W., Rauscher, S. A., Seager, R., Grissino-Mayer, H. D., Dean, J. S., Gangodagamage, C., Cai, M. és McDowell, N. G. (2013): Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*, **3**, 292–297. doi:10.1038/nclimate1693.

Veisz Ottó (2005): A növények abiotikus stressz tűrése és a biztonságos termesztés. *Magyar Tudomány*, **166**. 833–836.

Willett, K. M., Jones, P. D., Gillett, N. P. és Thorne, P. W. (2008): Recent changes in surface humidity: Development of the HadCRUH dataset. *Journal of Climate*, **(21)**. 5364–5383

WMO (2010): *Understanding Climate*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. www.wmo.int/pages/themes/climate/understanding_climate.php.

Jegyzetek

¹ A növényzet párologtatása.

² A hőhullám definíciója országonként eltérő (Bartha, 2010), Magyarországon hőhullámnak tekintjük azt az időszakot, amikor a napi átlaghőmérséklet legalább három egymást követő napon meghaladja a 25 °C-ot (Páldy és mtsai, 2005).

³ Ezt a kedvezőtlen helyzetet nevezték el szmognak ('smoke' + 'fog': 'füst' + 'köd') a 20. század elején.

Napjainkban inkább London-típusú szmognak nevezük.

⁴ A növények éves növekedése, a fotoszintézis és az autotróf légzés különbsége.

⁵ Nettó forrás: a szén-dioxid légkörbe kerülése (légzés és bomlás) meghaladja a fotoszintézissel légkörből kivont szén-dioxid mennyiségét. Nettó nyelő: fordított helyzet. A szárazföldi erdők „normál állapotban” nettó szén-dioxid nyelők.