

TÁMOP 4.2.2./B-10/1-2010-0001

„Kockázatok és válaszok a tehetséggondozásban (KOVÁSZ)”

A klímaváltozás hatásai

tanulmány

A tanulmány a **TÁMOP 4.2.2./B-10/1-2010-0001** azonosítószámú „Kockázatok és válaszok a tehetséggondozásban (KOVÁSZ)” megnevezésű projekt keretében készült.

Szerzők: Prof. dr. Padányi József egyetemi tanár
Dr. Halász László professzor emeritus



Nemzeti Közzolgálati Egyetem

2012

Lektor: Dr. Földi László egyetemi docens

TARTALOMJEGYZÉK

1	A KLÍMAVÁLTOZÁSSAL KAPCSOLATOS ALAPFOGALMAK.....	5
1.1	IDŐ, IDŐJÁRÁS, ÉGHAJLAT	5
1.2	PALEOKLIMATOLÓGIA, JÉGKORSZAKOK.....	6
1.3	AZ EMBERISÉG LÉLEKSZÁMA	6
1.4	AZ ÜVEGHÁZHATÁS	8
1.5	ÜVEGHÁZHATÁSÚ GÁZOK	10
1.6	AZ ÉGHAJLATI RENDSZER ELEMEI	15
1.7	KLÍMAVÁLTOZÁS	18
1.8	IRODALOMJEGYZÉK.....	20
2	A KLÍMAVÁLTOZÁS TÉNYE, JELLEMZŐI.....	21
2.1	AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS TÖRTÉNETE	21
2.2	AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS TÉNYEI	28
2.3	A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA HAZÁNKBAN AZ IPCC 4. JELENTÉS ALAPJÁN	30
2.4	A KLÍMAVÁLTOZÁS TÍZ MEGLEPŐ KÖVETKEZMÉNYE.....	32
2.5	KLÍMAINDIKÁTOROK.....	36
2.6	IRODALOMJEGYZÉK.....	43
3	A KLÍMA ELŐREJELZÉSÉNEK PROBLÉMÁI	44
3.1	A KLÍMAVÁLTOZÁS TERMÉSZETES ÉS ANTROPOGÉN OKAI	44
3.2	AZ ÉGHAJLAT MODELLEZÉSEI ÉS A MODELLEZÉS BIZONYTALANSÁGAI	50
3.3	REGIONÁLIS MODELLEK	57
3.4	KORLÁTOK, BIZONYTALANSÁGOK	60
3.5	AZ ELŐREJELZÉS KRITIKÁI	63
3.6	IRODALOMJEGYZÉK.....	103
4	A KÁRPÁT-MEDENCE VÁRHATÓ KLÍMÁJA A JELEN ÉVSZÁZADBAN.....	107
4.1	A HAZAI ÉGHAJLATKUTATÁS MÚLTJA	107
4.2	MAGYARORSZÁG HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI	109
4.3	MAGYARORSZÁG CSAPADÉKVISZONYAI	110
4.4	AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSOK MAGYARORSZÁGI SAJÁTOSÁGAI	112
4.5	A KÖRNYEZETI VÁLTOZÁSOK HATÁSAI A TÁRSADALOMRA	113
4.6	ÉGHAJLATI TENDENCIÁK A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN.....	114
4.7	SZÉLSŐSÉGES HŐMÉRSÉKLETI VISZONYOK, NAPI HŐSÉGINDEXEK JELLEMZŐI.....	117
4.8	A MAGYARORSZÁGI ÉGHAJLAT VALÓSZÍNŰSÍTHETŐ VÁLTOZÁSAI	119
4.9	REGIONÁLIS ÉGHAJLATI FORGATÓKÖNYVEK EGYÜTTES KIÉRTÉKELÉSE A KÁRPÁT-MEDENCE TÉRSÉGÉRE A 2021-2040-ES IDŐSZAKRA.....	122
4.10	ÖSSZEFOGLALÁS	134

4.11	IRODALOMJEGYZÉK.....	135
5	A KLÍMAVÁLTOZÁS KUTATÁSA (IPCC JELENTÉSEI, NEMZETKÖZI KLÍMA EGYEZMÉNYEK).....	136
5.1	IPCC: ÉGHAJLAT-VÁLTOZÁSI KORMÁNYKÖZI TESTÜLET (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE)	137
5.2	UNFCCC: ÉGHAJLAT-VÁLTOZÁSI KERETEGYZMÉNY (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE).....	138
5.3	EEA: EURÓPAI KÖRNYEZETVÉDELMI ÜGYNÖKSÉG (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY)	143
5.4	IRODALOMJEGYZÉK.....	146
6	A VAHAVA JELENTÉS ÉS NEMZETI ÉGHAJLATVÁLTOZÁSI STRATÉGIA.....	147
6.1	A VAHAVA PROJEKT.....	147
6.2	A NEMZETI ÉGHAJLATVÁLTOZÁSI STRATÉGIA	153
6.3	VÁRHATÓ HAZAI HATÁSOK	157
6.4	IRODALOMJEGYZÉK.....	169
7	A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A BIZTONSÁGRA	171
7.1	KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS BIZTONSÁG.....	171
7.2	A KLÍMAVÁLTOZÁS OKOZTA INSTABIL HELYZETEK, KOCKÁZATOK, KIHÍVÁSOK SZÁMBAVÉTELE, JELLEGÜK MEGHATÁROZÁSA.....	172
7.3	HATÁS A KATONAI BIZTONSÁGRA	176
7.4	RENDKÍVÜLI IDŐJÁRÁSI HELYZETEK	187
7.5	AZ EXTRÉM IDŐJÁRÁS KÖVETKEZMÉNYEI	214
7.6	AZ OMSZ VESZÉLYJELZŐ TEVÉKENYSÉGE	226
7.7	TÖMEGRENDEZVÉNYEK ÉS AZ IDŐJÁRÁSI VESZÉLYEZTETŐ TÉNYEZŐK	230
7.8	HATÁS A KÖRNYEZETBIZTONSÁGRA	237
7.9	MAGYARORSZÁG KÖRNYEZETBIZTONSÁGA	246
7.10	IRODALOMJEGYZÉK.....	248
8	ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK.....	253

1 A klímaváltozással kapcsolatos alapfogalmak

1.1 *Idő, időjárás, éghajlat*

Az idő (meteorológiai értelemben, mint „szép idő, csúf idő”) a légkör pillanatnyi állapota, a légköri állapotváltozók (hőmérséklet, légnyomás, szélsébség, csapadék, páratartalom, felhőzettség) meghatározott értékei.

Az időjárás az egymás után következő légköri állapotok sorozata, az éghajlat pedig a légköri állapotok összessége, melyet az átlagok és a szélsőértékek eloszlása, napi, havi, évszakos és éves együttese jellemez. (A magyar éghajlat szó a görög eredetű klíma pontos megfelelője; a két kifejezés ugyanazt takarja, váltott használatuk a köznyelvben nem tartalmi, csupán stiláris okokból történik.) [1.1-1.4]

1.1.1 *Éghajlati ingadozás, éghajlatváltozás*

Ha az éghajlatot alakító tényezők valamelyike hosszú távon megváltozik, az az éghajlat természetes változásához vezethet. Minthogy a földi éghajlatot vezérlő legfontosabb külső tényező a Naptól érkező energia, ennek kis változásai hosszú távú (esetleg periodikus) éghajlati átalakulásokat indukálhatnak.

1.1.2 *Az éghajlatot vezérlő fő tényezők*

A Naptól a Földre érkező sugárzási energia több okból is megváltozhat. Ilyen okok: a Nap belsőenergia-termelésének változása; a Nap felületének változásai (napfolttevékenység); a Nap és a Föld közötti kozmikus tér „tisztasága”, esetleg „pora”; a Földnek a Nap körüli keringésében előálló változások: pályaelem-módosulások, mint a pályaellipszis változása, elfordulása, a Föld tengelye dőlésszögének „bólogatása”, billegése, illetve a tengely körbeforgása (precesszió, bűgocsiga-effektus).

A földi légkör felső határát érő „fűtés” a felhőborítottság és a légkör tisztasága függvényében jut le a felszínre, amely a víz-, hó- és jégborítás függvényében verődik vissza, illetve nyelődik el. E kettőt együtt planetáris albedónak nevezzük. (Albedó: tükröző felület, sugárzást vagy fényt visszaverő képesség.)

A Naptól érkező sugárzás eljutását a Föld felszínéig, illetve a Földfelszínről induló infravörös (hő)sugárzás kijutását az űr felé meghatározó módon befolyásolja továbbá a Föld légkörének, mint gázkeveréknek az összetétele.

1.2 *Paleoklimatológia, jégkorszakok*

Az őstörténet óta az éghajlatot vezérlő fő tényezők mindegyik paraméterében állt már be tendenciózus és periodikus változás is. Százmillió éves időtávon a Nap hőtermelése növekszik, a Föld légkörének összetétele pedig alapvetően változik. Ugyanilyen időtávon átalakul a kontinensek helyzete és egymáshoz való viszonya is, alapjaiban rendezve át a napsugárzás elnyelésének és visszatükröződésének a viszonyait, valamint az óceáni áramlásokat. A Földpálya-elemek módosulása miatt százezer éves besugárzási ciklusok érvényesülnek. Ezek – áttételek révén – a planetáris albedóban, a Föld felhő- és a felszín hó- és jégborításában is változásokat okoznak.

A Földön visszatérő jégkorszakok és jégkorszakközi időszakok (interglaciálisok) idején az óceánok és a szárazföldek felületén a tartós (nyáron is megmaradó) jég kiterjedése ciklikusan növekedett, illetve csökkent. A legutolsó jégkorszak földtörténeti értelemben nagyon közeli időpontban, mintegy tizenkétezer évvel ezelőtt ért véget. Addig Közép- és Nyugat-Európát egészen a Kárpátok északi határáig nyáron is megmaradó, tartós jég borította. Ennek visszahúzódása és a hőmérséklet tartós emelkedése, a nagy léptékű természetes klímaváltozások átmeneti elcsöndesedése után indulhatott meg az emberi civilizáció, a letelepedés, agrártermelés és városépítés, mintegy 8-10 ezer évvel ezelőtt.

1.3 *Az emberiség lélekszáma*

Az emberiség fejlődése, számbeli gyarapodása és ipari-mezőgazdasági termelése az elmúlt évszázadban a természetes klímavezérlő tényezőkkel összemérhető nagyságú behatást kezdett gyakorolni a földi környezetre és a klímarendszerre. Ez a földtörténetben tipikus, évezredek vagy évmilliók alatt végbemenő természetes klímaváltozásokhoz képest rendkívül gyors, néhány évtized alatt érvényesülő változásokat hozhat létre.

Az emberi populáció Egyiptom és Mezopotámia előtt mintegy 5-10 millió főből állt. Honfoglalásunk idején körülbelül 300 millió, Amerika felfedezésekor 500 millió, Petőfi korában, az ipari civilizáció gyors felfutásának kezdetén mintegy 1 milliárd ember élt a Földön, a századfordulóra ez másfél milliárdra, az 1950-es évekre pedig kétmilliárdra nőtt. 1961-ben, egészen elképesztő növekedési tempóval, már hárommilliárd, 1974-re négy-, 1987-re öt-, 1999-re pedig hatmilliárd lett a lélekszám.

Mindehhez az elmúlt száz évben az energiatermelés és -fogyasztás, a vegyipar, az olajipar, az agrárium, a műanyagok, a motorizált közlekedés létrejötte és robbanásszerű emelkedése társult.

Ezek következtében az emberiség száz év alatt megváltoztatta bolygója felszínét és légkörének összetételét. A felére csökkent az erdővel borított területek kiterjedése, másfajta növények jelentek meg, rohamosan növekedtek a városok, lebetonozott és leaszfaltozott felületek sokasága jött létre, szennyeződtek a talajok és a vizek, és különféle, elsősorban szennyező hatású gázok kerültek a légkörbe. Ez utóbbiak mennyisége, illetve összhatása ma már a klímát befolyásoló természetes tényezőkével összevethető.

A légkör 99%-át kiteszi két állandó összetevő: a nitrogén és az oxigén. A nitrogéngáz 78, az oxigéngáz a levegő 21 százalékát adja. Ezenkívül kis mennyiségben található benne számos nemesgáz, legtöbb az argon, a neon és a hélium. Változó mennyiségben van jelen a légkörben a vízpára, a szén-dioxid, a metán, az ózon és a dinitrogén-oxid. Található még benne szén-monoxid és ammónia is. Végül a vegyipar által előállított, a természetben elő nem forduló gázok is kerültek a légkörbe az elmúlt évszázad során (telített és telítetlen freongázok, szerves klór-, fluor- és brómvegyületek).

Ha a fenntarthatóságot eredeti értelmezése szerint vesszük: „a jelen generációk szükségleteinek olyan kielégítése, mely nem veszélyezteti a jövő generációk szükségleteinek kielégítését”, ez azt is jelenti, hogy a természeti környezetet meg kell őrizni a maga tiszta formájában. Vonatkozik ez a légkörre is, mint a környezet egyik meghatározó elemére.

Márpedig az emberi tevékenység ennek az elvárásnak élesen ellentmond. Az elmúlt másfél évszázad során a földi légkör tartalmát, szerkezetét lényeges összetevőiben jelentősen megváltoztattuk, méghozzá oly módon, hogy ez egyrészt még igen hosszú ideig, generációk sokaságáig hatni fog, másrészt ezek a szerkezeti változtatások nem lényegtelen mellékkörülményeket, hanem következményeiben súlyos rendszerelemeket érintenek.

Ez a 150 év példátlan változásokat hozott. Vasúti közlekedés, elektromos áram, nehézipar, vas- és acélkohászat, szén- és fémhányászat, olajipar, vegyipar, műanyaggyártás, papíripar, benzin, autóipar, aszfalt- és betonutak, téglá-, beton- és

toronyházak. Repülés, tengeri fűrótornyok, olaj- és áruszállító teherhajók, tömegturizmus, nagyüzemi mezőgazdaság és állattartás, monokultúras növénytermesztés, műtrágyázás, hogy csak néhányat soroljunk fel az azelőtt sohasem létezett vagy csak sok nagyságrenddel kisebb léptékben létezett tevékenységek közül.

Mindehhez az ipari tevékenység, az energiafelhasználás, a fosszilis tüzelőanyagok (kőszén, földgáz, kőolaj) égetésének ugyanilyen tempójú emelkedése is társult. Ez összességében a légkör szerkezetének lényeges módosulásához vezetett: a metán mennyisége az ipari kor előtti szinthez képest megkétszereződött, a szén-dioxid mennyisége egyharmadával nőtt, és megjelentek olyan kémiai komponensek, amelyek azelőtt a természetben nem fordultak elő: ilyenek a hűtőgépekben, kozmetikai palackokban, légkondicionáló berendezésekben használatos hajtógázok.

1.4 Az üvegházhatás

1.4.1 Az üvegházhatás felfedezése

1827-ben vetette föl Jean-Baptiste Fourier, hogy a légkör oly módon viselkedik a földfelszínnel, mint egy üveglappal lefedett edény: a felülről érkező látható fényt, a napsugárzást átengedi, a lentől jövő hőt (a láthatatlan, „fekete” sugárzást) visszatartja. Ezzel 190 évvel ezelőtt megszületett az üvegházhasonlat. Megindultak a vizsgálatok, hogy a légkört alkotó gázok melyike felelős az üvegházhatásért. Az 1860-as években Tyndall laboratóriumi körülmények között azt is kimutatta, hogy a szén-dioxid üvegházhatású gáz. Ugyanerre a megállapításra jutott számos más, főképp háromatomos molekulára vonatkozóan is.

1896-ban Svante Arrhenius részletes számításokat végzett a szén-dioxid légköri melegítő hatására vonatkozóan. Megvizsgálta, hogy az emberiség ipari szén-dioxid-kibocsátása milyen tempóban növekszik, s ennek következtében milyen hőmérséklet-emelkedés várható a Földön. Úgy ítélte meg, hogy a légkör szén-dioxid-tartalmának megkétszereződése néhány száz évbe telik, s ennek hatására Svédország átlaghőmérséklete mintegy 6-8 °C-kal emelkedik majd.

Egy 1910-ben megjelent német ismeretterjesztő könyv (Jégkorszak és klímaváltozás) már beszámol az ipari szén-dioxid-kibocsátás növekedéséről. „Széngáz mennyisége a légkörben 0,03 térfogatszázalék. (...) Az ipari kibocsátás 1860-ban 140, 1890-ben 510, 1894-ben 550, 1899-ben 690, 1904-ben 890 és ma (1910-ben) 1100 millió tonna...”, majd Arrhenius 1896-os cikkére való hivatkozás után megállapítja,

hogy egy 6-8 °C-os melegedéssel járó klímaváltozás „kókuszpálmát hozna Németországba”.

1.4.2 Az üvegházhatás értelmezése

A planetáris energia-egyenlegről levezethető egy bolygó egyensúlyi hőmérséklete, ha ismerjük a bolygóra vonatkozó globális albedót és napállandót. Az egyensúlyi hőmérséklet számítása a planetáris energia-egyenleg egyenletéből a következő egyenlettel történik:

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{S_0 \cdot (1 - A)}{4 \cdot \sigma}} \quad (1.1.)$$

Ahol: T_e a bolygó egyensúlyi hőmérséklete
 S_0 a napállandó;
 A a földfelszín albedója;
 σ a Stefan-Boltzmann állandó.

Amennyiben a Föld megfelelő adatait behelyettesítjük ($S_0 = 1370 \text{ W/m}^2$, $A = 0,3$), akkor azt kapjuk, hogy bolygónk egyensúlyi hőmérséklete $T_e = 255 \text{ K}$ azaz -18 °C , ami jóval hidegebb, mint a valóságban tapasztalt $+15 \text{ °C}$ -os érték.

A többlet-energia forrása nem lehet más, mint a légkörben lévő összetevők sugárzás-elnyelése, ami viszont – figyelembe véve az elektromágneses spektrumot – csakis az infravörös tartományban valósulhat meg, hiszen a látható tartományban nagyrészt transzparens a légkör. Az atmoszféra bizonyos összetevői tehát erős elnyeléssel (abszorpció) és – *Kirchoff törvénye* szerint – kibocsátással (emisszió) rendelkeznek az infravörös tartományban. Ez azt jelenti, hogy a bolygó felszíni hőmérsékletéből származó termikus sugárzást (*Stefan–Boltzmann törvény*) a légkörben levő gázok egy csoportja elnyeli és egy részét a felszín felé visszasugározza. Ezt a mechanizmust nevezzük légköri üvegházhatásnak. Elmondhatjuk tehát, hogy az üvegházhatást produkáló gázok lényegében csapdába ejtik a bolygó felszínéről emittált energia jelentős hányadát (ami egyébként a világűrbe távozna), majd ennek egy részét a felszín felé visszasugározzák, többlet energia-bevételhez juttatva a bolygó felszínét.

Az eddig leírtak alapján feltételeztük, hogy a rövidhullámú tartományon nincs jelentős sugárzásgyengítése a légkörnek, szemben az infravörös tartományban tapasztalt elnyeléssel. Ez jó közelítéssel így is van, bár az ózon és egyéb gázok (oxigén, nitrogén)

abszorbeálják a nagyenergiájú fotonokat (0,29 μm alatti tartomány) teljes egészében. A napsugárzás teljes energiaspektrumát (*Planck törvény*) figyelembe véve azonban az említett hullámhossz-tartományban a naptól érkező energiának csak lényegesen kisebb része érkezik bolygónkra, mint a 0,29 μm -nél nagyobb hullámhosszokon.

Az eddig leírtakból következik, hogy az üvegházhatás erőssége ($\Delta T_{\text{ü}}$) közvetlenül becsülhető az egyensúlyi és a tényleges felszíni hőmérséklet különbségével:

$$\Delta T_{\text{ü}} = T_{\text{f}} - T_{\text{e}} \quad (1.2.)$$

Ahol: $\Delta T_{\text{ü}}$ az üvegházhatás erőssége;
 T_{f} a bolygó tényleges felszíni átlaghőmérséklete;
 T_{e} pedig a bolygó egyensúlyi hőmérséklete.

Földünk esetén $\Delta T_{\text{ü}} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$, tehát a légkör 33 fokkal emeli bolygónk felszínének átlaghőmérsékletét.

A Föld esetében a természetes (nem antropogén) üvegházhatást döntően a légkörünkben lévő vízgőz (H_2O), szén-dioxid (CO_2) és ózon (O_3) okozza. A vízgőznek és az ózonnak szintén jelentős sugárzás-elnyelése van az 1-15 μm -es tartományban. Vegyük figyelembe továbbá, hogy bolygónk termikus sugárzásának (ami a 288 K-es átlagos felszíni hőmérséklethez tartozik) maximális intenzitása a *Wien-féle törvény* alapján 10 μm -es hullámhossznál jelentkezik, ami szintén ebbe a tartományba esik! Meg kell említeni még két fontos természetes légköri összetevőt, a metánt (CH_4) és a dinitrogén-oxidot (N_2O), melyek szintén üvegházhatású gázok, de szerepük az elmúlt 150 évben, az antropogén kibocsátás megjelenésével vált igazán fontossá. [1.5]

1.5 Üvegházhatású gázok

1.5.1 A vízgőz

Földünk légkörének állandó összetevői (nitrogén, oxigén, nemesgázok) között állandóan, de változó mennyiségben van jelen a vízpára. Valamennyi légköri gázösszetevő között ennek a legnagyobb a térbeli és időbeli változékonysága. Rendkívül száraz a levegő a hideg sarki régiók fölött, ugyanakkor az óceánok fölött vagy a nagy trópusi esőfelhőkben százszázalékos páratartalom alakulhat ki. Az éghajlatot alakító légköri összetevők között a vízgőz a legfontosabb üvegházhatású gáz, jelenléte mintegy 26 fokkal járul hozzá a földfelszín átlaghőmérsékletéhez. Ennek egy

része (mintegy 21 °C) közvetlen az üvegházhatásból származik, a maradék a párák és felhők hővisszatartó hatásának következménye. A vízgőz másfelől hűti is a Földet: a felhők teteje visszaveri a Naptól érkező fénysugarakat, ezzel csökkenti a melegítőhatást, illetve hó és jég formájában a felszínt védi a napsugárzás elnyelődésétől, szintén hűtőhatást eredményezve. A víz az egyetlen kémiai elem, mely mindhárom halmazállapotában (szilárd, folyékony, gáznemű) is előfordul a Földön.

1.5.2 A szén-dioxid

A szén-dioxid a légkör természetes összetevője, amelyhez az utóbbi két évszázadban jelentős mennyiségű emberi eredetű többlet járult. Antarktisi és grönlandi mélyjégminták tanúsága szerint (a jégbe zárt levegőbuborékok megőrizték keletkezési koruk légkörének összetételét) a légkör szén-dioxid-tartalma az elmúlt több mint félmillió évben 190 és 290 ppm között ingadozott (ppm: milliomod térfogatrész; 1 ppm egyenlő egy részecskével a millió részecske között az adott térfogatban).

Így tartott ez egészen a 19. század közepéig, amikor is – már jó tízezer éve – a felső határ közelében tartózkodott. A század végén – a korabeli mérések szerint – már 0,03% (300 ppm) volt a koncentrációja. Azóta – a széntüzelés, az olaj- és gázégetés és a fák kivágása miatt – gyors emelkedésnek indult, s mára meghaladta a 380 ppm-et. A mai világméretű kibocsátási trendeket figyelembe véve, számítások szerint 2015-re eléri a 450, 2050-re az 500-560 ppm-et.

Az emberiség 2010-es adatok alapján évente mintegy 33,5 milliárd tonna¹ szén-dioxidot juttat a levegőbe. Ez akár elhanyagolhatónak is tűnhet a szén természetes körforgásához képest. Az óceánok és a légkör közötti szén-dioxid-forgalom évente mintegy 100 milliárd tonna (a szén-dioxid a vízben jól oldódó gáz, így a tengerek felszíne és a fölötté tartózkodó levegő között egyensúly alakul ki a gáz cseréje révén); a növényzet is hasonló nagyságrendben vesz fel, illetve bocsát ki szén-dioxidot. Hosszabb távon a „Nagy Földi Termosztát” – az önszabályozó kölcsönhatások révén – az emelkedésre csökkenéssel, a csökkenésre emelkedéssel válaszol, így a koncentrációk lassú hullámmzással, meghatározott korlátok között ingadoznak.

¹ CDIAC: Record High 2010 Global Carbon Dioxide Emissions from Fossil-Fuel Combustion and Cement Manufacture Posted on CDIAC Site

Ehhez az évezredes időtávon érvényesülő közelítő egyensúlyhoz képest a relatíve kicsi, de évről évre megjelenő emberi kibocsátás hozzáadódik, s a többlet a légkörben összeadódik. Igaz tehát, hogy az emberi behatás a múlt században csupán 1, ma körülbelül 10 százaléka a természetes forgalomnak, de a CO₂ koncentráció az összegződés miatt ez tíz év alatt ma már húsz százalékkal nőtt! Ennek felét a természetes nyelők képesek eltüntetni, a másik fele azonban megmarad, és főlhalmozódik. Éppen ez a ma ismeretes főlhalmozódási ráta teszi lehetővé a fenti jóslatot, mely szerint a légköri koncentráció megkétszereződik (kb. 560 ppm) a század közepére.

1.5.3 A metán

A metán légköri koncentrációja 1850-ig 0,7 ppm körül volt, ez mára 1,7-re nőtt, jelenlegi növekedési üteme 0,015 ppm/év.

Természetes forrásai az óceánok, valamint a nedves-mocsaras ökoszisztémák oxigénhiányos bomlási folyamatai (összesen kb. 150 millió tonna/év).

Fő civilizációs eredetű forrásai a fosszilis tüzelőanyagok elégetése, a földgáznak a kitermelés során történő szabad eltávozása, a kőolaj és termékeinek párolgása, a szarvasmarhák bendőjében az emésztés, a rizsföldek, a szerves hulladékok bomlása és a biomassa-égetés.

Mai legnagyobb forrása a globális felmelegedés következtében gyorsan olvadó sarkvidéki örökké fagyott rétegek felolvadása és a megfagyott növényi szerves anyagok bomlása. Mindezekből összesen kb. 370 millió tonna/év kibocsátás származik. Összesen kb. 35 millió tonnával gyarapszik légköri mennyisége évente. (E becslések hibaszázaléka magas, 30–50% között van.) A metán üvegházhatása 1 molekulára vetítve 21-szerese a szén-dioxidénak.

1.5.4 A dinitrogén-oxid

A dinitrogén-oxid a fosszilis tüzelőanyagok és a biomassa elégetése, ipari folyamatok és a műtrágyázás során kerül a légkörbe, míg természetes forrásai a tengervíz és a talaj. Koncentrációja az iparosodás előtti korhoz képest kb. 17 százalékkal emelkedett. A globális felmelegedéshez való hozzájárulása azonban molekulánként a szén-dioxidénak 314-szerese.

(Jegyezzük meg: a dinitrogén-oxid tiszta formájában az orvosi gyakorlatban százötven éve használt műtéti altatógáz. Oxigénnel keveredve „kéjgázt” alkot, mely régóta ismert fájdalomcsillapító, nagyobb mennyiségben euforikus állapotot, „nevetőgörcsöt” okoz. Amúgy sokan naponta használják: a folyékony tejszínhabos palack hajtógáza. Ezen kívül még a sportautók világában is ismert, mint a gyorsulást erősítő adalékanyag, az úgynevezett „nitró”.)

1.5.5 A halogénezett („fluorozott”) szénhidrogének

Ezek olyan, a természetben elő nem forduló vegyületek, amelyek teljes egészségünkben az emberiség ipari tevékenysége következtében kerülnek a levegőbe. Kozmetikai és egyéb spray-k hajtógázaiként, műanyagipari habképző anyagként (polisztirol, polifoam, hungarocell), hűtőszekrények, autók és épületek klímaberendezéseinek hűtőközegeként gyártják őket. Telített változataik CFC gázokként is ismertek.

Ezek mindegyike rendkívül stabil vegyület, némelyikük várható légköri tartózkodási ideje az 5000–100.000 éves időtartományba esik. A szorosán vett klímaváltozási problémán kívül hozzájuk fűződik még az ózonréteg lebontásának, az ózonlyuk kialakításának problémája is.

Az ózon háromatomos oxigén, mely a felső légkörben a Nap UV sugárzásának hatására szétbomló kétatomos oxigénmolekulából keletkezik egy oxigénatom csatlakozásával. Molekulája igen labilis és reakciókész. Az UV sugarak bontják is. Mennyisége az állandó keletkezés és lebomlás folyamatában évek százmillióin át egy egyensúlyi érték körül ingadozott.

Az ózonréteget károsító anyagok kibocsátását korlátozó Bécsi Egyezményben és az azt kiegészítő Montreali Jegyzőkönyvben szabályozták a CFC-gázok termelését. Az ipar ezért elkezdett olyan, a telített (kemény) freonokat helyettesítő és kiváltó anyagokat keresni, amelyek nem reagálnak az ózonnal, s számos helyen átálltak a HCFC-k (hidrogénezett freonok) és perfluoro-karbonok (PFC-k) gyártására. Ezek üvegházhatása azonban gyakran igen jelentős, némelyiküké eléri egy CO₂-molekula relatív hatásának tíz-százezerszeresét. Valamennyi üvegházhatású gáz közül ezek a legerősebbek (a legnagyobb melegítőhatással rendelkeznek). Szintén rendkívül hosszú légköri tartózkodásúak. Ha Neander-völgyi eleink használták volna őket, annak negyede még

ma is a légkörben lenne. Ha ugyanezt a cro-magnoni ember teszi, a mennyiség fele még ma is a levegőben volna.

Külön meg kell még említeni a kén-hexafluoridot, mely a félvezetők gyártásakor, valamint magnézium- és alumíniumgyártás melléktermékeként keletkezik. Elektromos szigetelőanyagként is használatos. A levegőben mérhető mennyisége igen csekély, de relatív üvegházhatása igen erős.

1.5.6 Az ózon

Az ózon két, egymástól viszonylag jól elkülönülő térrészben található a légkörben: döntő többsége (mintegy 90%-a) a sztratoszférában (kb. 25 km-es magasságban), maradék 10%-a pedig a troposzférában (a légkör alsó 10-12 km-es rétegében). Az emberi beavatkozás következtében mindkét réteg sérül, és sajnos mindkettő kedvezőtlen irányban. A sztratoszferikus ózonréteg a kemény (telített) CFC-gázok hatására fogy (s így, mint az előző pontban láttuk, jobban leengedi a Föld felszínére a rákkeltő UV sugárzást – „ózonlyuk”-probléma), a troposzferikus ózon mennyisége pedig növekszik, amivel hozzájárul az üvegházhatás erősödéséhez.

1.5.7 Az aeroszolok

Az aeroszolok kicsiny légköri részecskék, melyek mérete, koncentrációja és kémiai összetétele igen különböző. Némelyek közvetlenül jutnak a légkörbe, mások a már ott lévőkből keletkeznek. Mintegy 90 százalékuk természetes úton jut a levegőbe: vulkáni kilövellésekből, óceáni sócseppekből, a talaj eróziójából. Az emberi eredetűek főképp a tüzelőanyag- és biomassa-égetésből, különféle gyári füstökből és a közlekedésből származnak. Ide tartoznak a legkülönbözőbb füstök, porszemcsék, a hamu, jellemző vegyületeik a kén-dioxid, a kénsav (a savas esők fő felelősei), az ammónia és hasonlók.

Az aeroszolok árnyékoló hatást fejtenek ki, azaz visszaverik a Nap sugárzását, így az üvegházhatással ellentétes, hűtőhatást fejtenek ki. Az üvegházgázoktól eltérően azonban az esővel kimosódnak a légkörből, tehát viszonylag rövid a légköri tartózkodási idejük. Így a vulkánkitörésekkel és a különféle ipari kibocsátásokkal hiába növekszik meg újra és újra a koncentrációjuk, átlagosan 10 nap alatt, de a legnagyobb tömegű szennyezések esetén is legfeljebb egy év után kitisztulnak a levegőből.

Az aeroszolok emberi kibocsátása jelenleg mintegy egyötödével csökkenti az üvegházhatású gázok pozitív járulékát. Azonban – a szűrőknek és egyéb technológiai fejlesztéseknek hála – ipari eredetű forrásaik várhatóan csökkenni fognak a jövőben, míg az üvegházgázok koncentrációja rohamosan nő, ezért az éghajlatváltozást csökkentő relatív potenciáljuk egyre kisebb.

1.5.8 Tartózkodási idők

A hélium egymilliárd éves, a nitrogén és az oxigén egymillió éves, a különféle fluortartalmú gázok némelyike százezer éves körforgással kerül be, illetve ki a légkörből. A szén-dioxid 50-150 év alatt, a metán négy év alatt szivódik fel, míg egy vízmolekula tipikusan 10 nap alatt megfordul a légkör és a földi vízkészletek között. Ilyen nagyságrendű a különféle lebegő porszemcsék, kémiai szennyeződések, aeroszolok légköri tartózkodási ideje is.

1.6 Az éghajlati rendszer elemei

1.6.1 Az általános légkörzés

Az általános légkörzés a Föld kiterjedt légköri áramlási rendszereinek együttese. Összefüggő rendszer, amelyben globális, regionális és lokális skálájú légköri mozgásformák együtt jelennek meg. Fő meghatározói:

- a. A Föld forgása és az ehhez tartozó globális fizikai feltételek;
- b. A Föld tengelyének ferdeségéből származó speciális hőmérsékleti eloszlás;
- c. A légtömegek mozgására és eloszlására vonatkozó egyéb fizikai feltételek;
- d. A légköri vízforgalom egyensúlya;
- e. A légkör alulról fűtöttségének ténye.

A trópusokon meredek szögben beeső napsugárzás hőtöbbletet okoz a poláris régiók alacsonyabb szögben történő besugárzásához képest. Ezt az elemi ténytet már Arisztotelész észrevette (i. e. 382–321), s innen – a napsugarak beesési hajlásszögéből (klinein) – származik a „*klíma*” szavunk. Az Egyenlítő körüli tartomány nagyobb melege a termodinamika elemi szabályai szerint a hidegebb területek felé, a magasabb földrajzi szélességek és a pólusok felé igyekszik. A légkörön áthaladó napsugárzás, felmelegítve a talajt, a légkört alulról fűtötté teszi (hasonlóan a tűzhelyre feltett fazék vízhez, szemben például a napsütés által felülről melegített tavakhoz és óceánokhoz).

A trópusokon a meleg talaj fölött gyorsan melegszik a levegő is, ez felszál 10-12 kilométer magasságba, s ott északi és déli irányba terül szét. Elhagyja a Föld forgása során leggyorsabban mozgó régiót, de amíg a magasabb földrajzi szélességek felé közelít, megőrzi a felemelkedésekor szerzett horizontális irányú impulzusát. Ahol leszáll, a 30. szélességi körök mentén, a felszín (jóval kisebb forgási sugara miatt) alacsonyabb sebességgel mozog, így a levegő a magasban jelentős sebességkülönbséggel előresiet. Ezt észleljük az adott délkörök mentén az északi és a déli féltekén magaslégtörő futóáramlasként. Ez a magasban az adott helyen mindig létező nyugatias irányú nagyon erős szél.

Leszállás után a felszín közelében ezen légtömegek egy része megindul visszafelé az Egyenlítő irányába. Így mindig egyre inkább lemarad a felszínhez képest (mely az Egyenlítőnél a Föld forgása miatt gyorsabban mozog, mint bárhol másutt), ezért ott állandó keleties széljárást észlelnek. Ez az a meghatározó széljárás, amellyel a hajósok a szubtrópusokon Európából átkelhetek az Atlanti-óceánon, innen kapta a nevét: passzátszél. A trópusokon a levegő aztán ismét felmelegszik, újból megindul a feláramlás, és így egy zárt légkörzési cella jön létre.

A 30. szélességi kör környékén leszálló levegő másik ága a felszín felett továbbhalad a pólusok felé. A felszálláskor az Egyenlítőnél nyert nagy impulzus momentumának jelentős részét azonban még hordozza. Nem juthat be közvetlenül a forgási sarkok fölé, ott ugyanis „áll” a felszín az Egyenlítőhöz képest, így a levegőnek elvileg végtelenül gyorsan kellene a felszínhez képest mozognia. Ez természetesen nem lehetséges, ezért a levegő ezt a globális forgási többletét több kisebb forgó rendszerré átalakulva veszi el. Így bomlik le a mozgási energia mérsékelt övi ciklonokká.

A magasabb szélességek alatti, mérsékelt övi ciklonitás tehát az általános légkörzésnek nem véletlen, mellékes velejárója, hanem a fizika megmaradási törvényéből származó nélkülözhetetlen eleme. Minthogy a ciklonok a szubtrópusok felől jövő meleg és a sarkokról a talaj fölött visszaérkező hideg levegőnek a találkozási felületei, a mérsékelt öv alatt ezek hordozzák az *időjárási frontokat*. Ha a globális felmelegedés következtében bármilyen változás áll be a ciklonpályák tipikus elhelyezkedésében, a ciklonok vonulásának menetében, kialakulásuk feltételeiben, méretükben vagy fennállásuk tartósságában, az az adott földrajzi hely éghajlatát lényegesen befolyásolja.

1.6.2 Az óceáni vízkörzés

A világoceán nem egy tó, amely nyugalomban van, és nem egy folyó, amely valahonnan valahová áramlik. Azonban, ahogyan a Földgolyót körülvevő levegőburokban jelen vannak, a világoceán nagy egészében is találunk rendszeres áramlatokat. Ezeket a Nap energiája és a szél hajtja. Az általános óceáni cirkuláció legfőbb jellemzője, hogy részt vesz a globális energia- és impulzusmomentum-transzportban, azaz a trópusi övezetek hőtöbbletét szállítja át a magasabb szélességi körök övezeteibe, a mérsékelt övbe és a pólusok felé. A trópusokról származó meleg víz felszíni áramlatok formájában halad a poláris övek felé, ahol lehülve lesüllyed, majd mélyvízi hideg áramlásként visszafolyik az Egyenlítő felé, ahol azután a felszínre emelkedik. A felszíneken a víz áramlását az általános légkörzés meghatározó felszíni szelei, tipikus keleti passzátszelek hajtják, míg az áramlás egészét a Föld forgása, az ebből származó eltérítő erők és kényszerfeltételek, a kontinensek elhelyezkedése, valamint a víz hőmérsékleti és sűrűségi viszonyai határozzák meg.

Az elmúlt ötven év kutatásai egyértelművé tették, hogy a kontinensek között elhelyezkedő három nagy óceáni medence belső áramlásai egységes áramlási rendszerbe illeszkednek, melynek neve Nagy Óceáni Szállítószalag. Az általa szállított hő jelentős módosító szerepet játszik a kontinensek éghajlatában, különösképpen Észak- és Nyugat-Európa, valamint Észak-Amerika keleti partjának hőmérsékleti és csapadékviszonyaiban. A Golf-áramlat által kiváltott pozitív hőmérsékleti anomália még hazánk éghajlatában, hőmérsékletében is meghatározó szerephez jut.

1.6.3 Hó és jég (krioszféra)

A Föld éghajlatának lényeges tényezője, hogy – helyenként évszakosan, másutt állandóan – hó és jég borítja. A fehér felület igen hatékonyan veri vissza a fényt, így jelenléte jól őrzi a hideget. Ez fontos lokális–regionális klímaalkotó tényező, globális mennyisége ugyanakkor belejátszik a planetáris albedóba s ezen keresztül a felszín sugárzási mérlegébe és az átlagos globális felszíni hőmérsékletbe is.

Az északi féltekét, benne az Atlanti-óceán poláris tartományait borító jégtömeg mennyisége egyúttal befolyásolta a meghatározó tengeráramlások intenzitását és irányát is. Az Északi-Jeges-tenger állandó jégtakarójának mérete és az Észak-atlanti-áramlás útvonala közötti összefüggés az Európa éghajlati jövőképeire irányuló kutatások (és aggodalmak) egyik sarkalatos pontja.

1.6.4 Visszacsatolások, késleltetések

Az óceánok, a felhőzet, a páratartalom egységes rendszerében pozitív és negatív, önerősítő és öngyengítő, azaz gerjesztő és csillapító visszahatások lépnek működésbe.

Csökkenő hó- és jégfelület esetén kisebb a visszavert napfény mennyisége, több nyelődik el a földfelszínben és az óceánokban, ami fokozza a melegedést, és a hó- és jégfelület további csökkenéséhez vezet.

A melegedés miatt a légkörbe jutó vízpára szintén üvegházhatású gáz, tehát tovább fokozódik a melegedés (Vízpára-visszacsatolás).

Azonban a légkör növekvő páratartalma nagyobb felhőképződéshez is vezet, ami növeli a Föld „napernyőszerű” védetségét, a kiinduló felmelegedés ellen hatva (Felhőzet-visszacsatolás).

A melegebb tengervíz kevesebb szén-dioxidot képes tárolni, a kezdeti melegedés miatt a légkörbe visszajuttatott CO₂-többlet további melegedést okoz (Óceáni visszacsatolás).

Az óceánok vizében elnyelt és tárolt hőmennyiség pedig késleltetett hatással jelenik meg a légkörben, csillapítva, időben kitolva a kezdeti melegítő behatás következményeit (Inercia).

További óceáni késleltető effektus a légköri szén-dioxid-tartalom időleges (bár akár évszázadokra szóló) részleges elnyelése és a hideg mélyvízi áramlásban való tárolása. Ha most azonnal abbahagynánk az üvegházgáz-kibocsátást, a hatások akkor is még hosszú évtizedekre-évszázadokra elnyújtva érvényesülnének (Késleltetés).

1.7 Klímaváltozás

A globális átlaghőmérséklet emelkedése, mint bemenő hatás, megváltoztatja a felszálló légáramlások helyét, erejét, az óceánok feletti légtömegek páratartalmát, a kicsapódások (csapadékok) rendszerét, a trópusi hőtöbbletet a hideg sarkvidékek felé szállító általános légkörzés és óceáni vízkörzés útvonalát, intenzitását, szerkezetét. Megváltozik számos helyen a lokális és regionális fényvisszaverő képesség, aminek eredőjeként változik a planetáris albedó, a hasznosítható napsugárzás mennyisége, tovább módosítva az éghajlati rendszert.

1.7.1 Az éghajlati övek módosulása

Az általános légköri körzést látjuk, hogy a zárt cirkuláció az Egyenlítőtől az északi és déli szélességnek közelítőleg a 30. fokáig terjeszkedik. A trópusoknál felszálló levegő a Ráktérítő és a Baktérítő környékén leszállva erős szárazságot, sivatagi viszonyokat teremt. E cirkuláció kiterjedését és intenzitását a globális hőmérséklet, valamint annak eloszlása egyaránt befolyásolja. Történelmi adatok állnak rendelkezésre arról, hogy egykor virágzó növényi kultúrák léteztek ott, ahol ma sivatagi klíma uralkodik. Eszerint a cella leszálló ága valaha – nem is olyan régen, mintegy nyolcezer éve – másutt helyezkedett el; még hozzá az Egyenlítőhöz közelebb, azaz a jelenleginél *szűkebb* volt.

A cella változása azzal a következménnyel járhat Afrikára és Európára, hogy a szubtrópusi zóna kitágul, és részben rátelepszik a Földközi-tenger térségére (elsivatagosodás, forróság, szárazság). Ezáltal a mediterrán klímát mintegy feljebb nyomja Közép-Európa felé. Következésképpen a mérsékelt övi ciklonok tipikus pályája szintén északabbra tolódhat, ami által kisebb tér áll a rendelkezésükre. Ez befolyásolhatja a ciklonok méretét, számát, szokásos vonulási útvonalát és fennállásuk tipikus időtartamát is. Minthogy a magasabb földrajzi szélességeken e mérsékelt övi ciklonok az időjárás meghatározói és az időjárási frontok hordozói, az ezek létrejöttében, fennállásában, intenzitásában, kiterjedésében, mozgásában és felszívódásában beálló legkisebb változás is módosíthatja nem csupán időjárásunk átlagértékeit és szélsőségeit, de időjárásunk *jellegét* is.

1.7.2 A csapadékeloszlás változása

Az elmúlt ötven év rekonstrukciói arról tanúskodnak, hogy módosul a passzátszelek és az antipasszátok rendszere, aminek jelentős szerepe van nálunk az Atlanti-óceán felől érkező hűvös, csapadékos szelek formájában. Ez a széljárás hozza el a Kárpát-medencébe a mezőgazdaságnak oly fontos csendes esőket. A tipikus ciklonpályák módosulása, északabbra tolódása azt okozhatja, hogy Európában a tipikus csapadékövek északabbra kerülnek, azaz Dél-Európa kevesebb, Észak-Európa több csapadékot kaphat. A kettő között, Közép-Európára nehéz pontos következtetésekre jutni; a jelen állás szerint télen több, nyáron kevesebb csapadékra számíthatunk, nagyjából változatlan, illetve valamelyest csökkenő éves átlag mellett.

1.7.3 A szélsőségek növekedése

A tengerfelszínek növekvő párolgása, valamint a melegebb levegő nagyobb párafelvevő képessége miatt több nedvesség lesz a légkörben, intenzívebbé válik a párolgás és az esőzés, erősödik a hidrológiai ciklus. Több termikus energia lesz a rendszerben, ezáltal megnő a csapadékhullás intenzitása: az adott mennyiség hirtelenebbül, trópusiasabban, özvényszerűen érkezik. Megnöhet az egy-egy csapadékos napra jutó eső mennyisége, miközben az éves mennyiség nem nő. Így időjárásunk szélsőségesebbé válik: hosszú aszályok váltakozhatnak nagy viharokkal érkező rövid, de hatalmas esőzésekkel. Megnöhet a jégesők száma.

A csapadékhullás szélsőségesebbé válását a hőmérséklet megváltozása kíséri. Nyilvánvaló, hogy az átlaghőmérséklet emelkedésével nő a rendkívüli melegek száma is, egyúttal ritkábban fordulnak elő nagy hidegek. Nőhet a száraz, meleg és fülledt napok, a nyári, illetve a kánikulai napok száma, a tartósan meleg időszakok hossza.

Ezek a változások már most is éreztetik kedvezőtlen hatásukat, nem is olyan sokára pedig igazi krízisállapotot hozhatnak létre, melyek alapvetően veszélyeztetik civilizációnkat.

1.8 Irodalomjegyzék

- [1.1] Czelnai Rudolf: A világóceán. Vince Kiadó, Budapest, 1999.
- [1.2] Láng István (szerk.): Időjárás–éghajlat–biztonság, Magyar Tudomány, 2005. 7.
- [1.3] Mika János (szerk.): Klímaváltozás, hazai hatások, Természet Világa, 2004. II. különszám.
- [1.4] Csete László (szerk.): Klímaváltozás, hatások, válaszok, Agro-21 Füzetek 2003. 31.
- [1.5] Bottyán Zsolt: Légköri üvegházhatás a kőzetbolygókon, Hadmérnök on-line, IV. évfolyam 4. szám 15-23. o., ZMNE 2009. december.

2 A klímaváltozás ténye, jellemzői

2.1 Az éghajlatváltozás története

2.1.1 Kutatási módszerek

Milyen közvetett utakon szerezhethetünk információt a régebbi korok éghajlatáról, azok változásairól? Mint egy titkosírással írt üzenetet, úgy fejthetjük meg e titkokat. Következtetéseket vonhatunk le a történelem előtti idők, az elmúlt néhány ezer év, illetve az utolsó néhány évszázad éghajlatának alakulásáról. Ezen adatforrások eredete sokféle lehet:

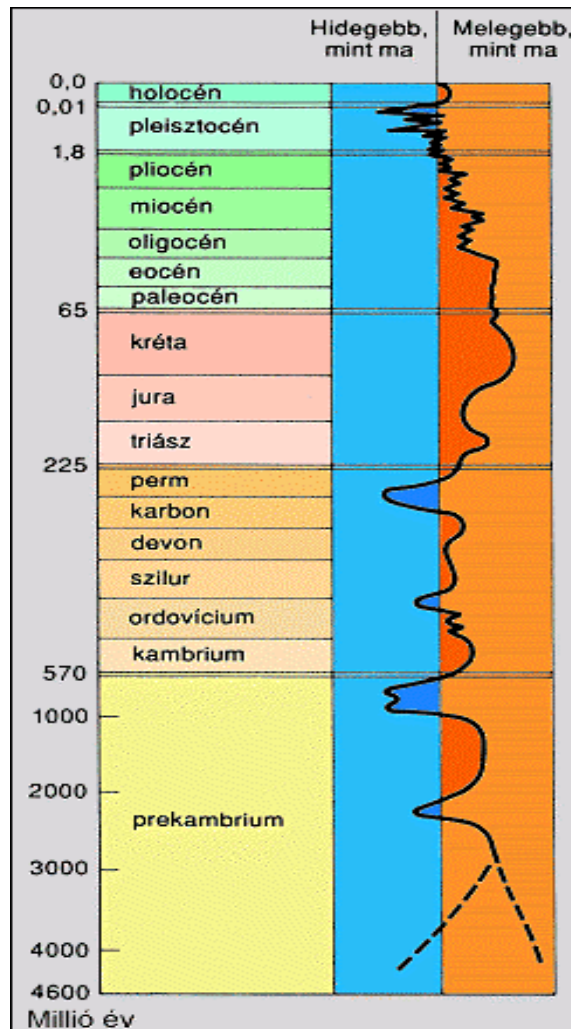
- az ősi barlangrajzokon ábrázolt állatok, növények utalnak a térség faunájára és flórájára, mely információt ad a régi korok klímájáról;
- az ún. pollenanalízis a régmúlt időkből származó növényi pollenek elemzésével foglalkozik, ugyanis egyes növények pollenje és ellenálló spórái akár évmilliók után is felismerhetők, s bemutatják a terület növényzetét;
- az eljegesedés, a gleccserek kialakulása és mozgása jelentős és felismerhető nyomot hagy a környezeten, s az alacsony tengerszinti magasságon talált gleccseryomok hidegebb éghajlatra engednek következtetni. Gleccserek visszahúzódásának még mostanában is tanúi lehetünk;
- száraz éghajlatra utalnak a talaj sóközet-, kősó- és gipszrétegei, melyek belső tavak, elzáródott tengerrészek kiszáradásával keletkeztek;
- a paleoklimatológiai célú kormeghatározáshoz az egyik legpontosabb becslést a szénizotópok felhasználásával kaphatjuk. A légköri szén-dioxidban állandó a szén 14-es tömegszámú izotópjának (^{14}C) aránya. Az élő szervezetekbe épülő ^{14}C -izotóp mennyisége, azok pusztulása után csökkenni kezd, aminek mértéke kellő pontossággal számítható. Így mód van e módszerrel akár az utolsó 1 millió év fossziliáinak kormeghatározására;
- a múlt éghajlatát kutató vizsgálatoknak egy további jó indikátora a sarkokat fedő jégpáncélból vett jégminta. Az ^{18}O -izotóp rétegenként meghatározott koncentrációjából jól következtethetünk az elmúlt korok hőmérsékletének alakulására. E módszer lehetővé teszi akár 100 ezer éves időszak végigkövetését, de ehhez esetenként 1400 m-es jégminta-furat elemzése is szükséges lehet;

- a fák évgyűrűinek vastagsága, egymástól való távolsága, színe is értékes adatok; a terület évenkénti csapadékviszonyairól árulkodnak. A Kaliforniában élő ún. Sequoia fenyőóriások életkora gyakran meghaladja a 3000 évet;
- festmények és egyéb régi műalkotások is segíthetik a klímaváltozások megfigyelését. Például a híres római Trajánusz-oszlop egy részletének tanulmányozása is segítségünkre lehet elmúlt idők éghajlatának feltárásában. A faragott domborművön a császár által i.sz. 101-106 között építtetett, kőpillérekén álló fahíd látható, mely a Vaskapunál íveli át a Dunát. A híd a történetírás szerint 170 éven keresztül állt a kőfaragás által megmintázott formában. Az elmúlt több mint másfél évezred alatt változott a Duna vízállása és változtak a térség csapadékviszonyai, hiszen a mai klimatikus viszonyok, s a folyón az elmúlt évszázadok során levonuló áradások mellett a híd nem állhatott volna az ábrázolt helyszínen és formában; [2.1]
- újabb fejlemény: különféle geotermikus mérésekkel próbálják megbecsülni, miként változott az elmúlt 500 évben a talajfelszín hőmérséklete. Az új módszer – kínai és angol tudósok közös munkája – a sziklaágyak (a kontinentális földkéreg legfelsőbb rétegei) mélységi hőmérsékletének mérésén alapul. A sziklába – esetenként akár 600 méter mélységig is – lyukat fúrnak, és 10 méterenként mérik benne a hőmérsékletet. Persze, egyetlen lyuk adataiból globális – az egész Földre vonatkozó – következtetéseket nem lehet levonni. Ezért az Antarktisz kivételével minden kontinensen számos ilyen lyukat mélyítettek: 413-at az északi, 163-at a déli féltekén. A lyukakban mért hőmérsékletek függőleges eloszlásából becsülték meg a talajfelszín fölötti levegő hajdani hőmérsékletét. Kétféle hőhatást vettek figyelembe: a kőzetek a mélyebb rétegekből egyrészt a felszín felé vezetnek hőt, másrészt lefelé közvetítik a felszíni hőmérséklet ingadozásait. Ennek a klímajelnek a terjedése – a kőzetek rossz hővezetése miatt – lassú folyamat: száz évbe telik, amíg 150 méteres mélységig terjed, és az 500 métert csak ezer év alatt éri el;

A múltbeli talajfelszíni hőmérsékletek pontos rekonstrukciójának persze van egy-két "apró" akadálya. A legkellemetlenebb az, hogy a lefelé terjedő klímajelek – a felszíni hőmérséklet változásai – szétszóródnak (disszipálódnak). A következmény: a múltbeli változások csak bizonyos ideig követhetők. A módszer – némi statisztikai segítséggel – nagyjában 500 évre visszamenően ad használható információt. [2.2]

2.1.2 Óskori klímaváltozások

A geológiai és történelmi múlt közvetett bizonyítékai alátámasztják az éghajlati változások és az üvegházhatású gázok ingadozásai közti összefüggést. 3,5-4 milliárd évvel ezelőtt a Nap vélhetően körülbelül 30 százalékkal halványabb volt, mint ma. Az élet mégis kifejlődött, és üledékes kőzetek rakódtak le a sápadt, fiatal Nap alatt. A földfelszín legalább egy része a víz fagypontja feletti hőmérsékletű volt. Néhány kutató szerint az ősi légkör legalább ezerszer több szén-dioxidot tartalmazott, mint ma, és ennek hőmegtartó képessége ellensúlyozta a Nap bágyadt sugárzását.



2.1. ábra: Óskori klímaváltozások

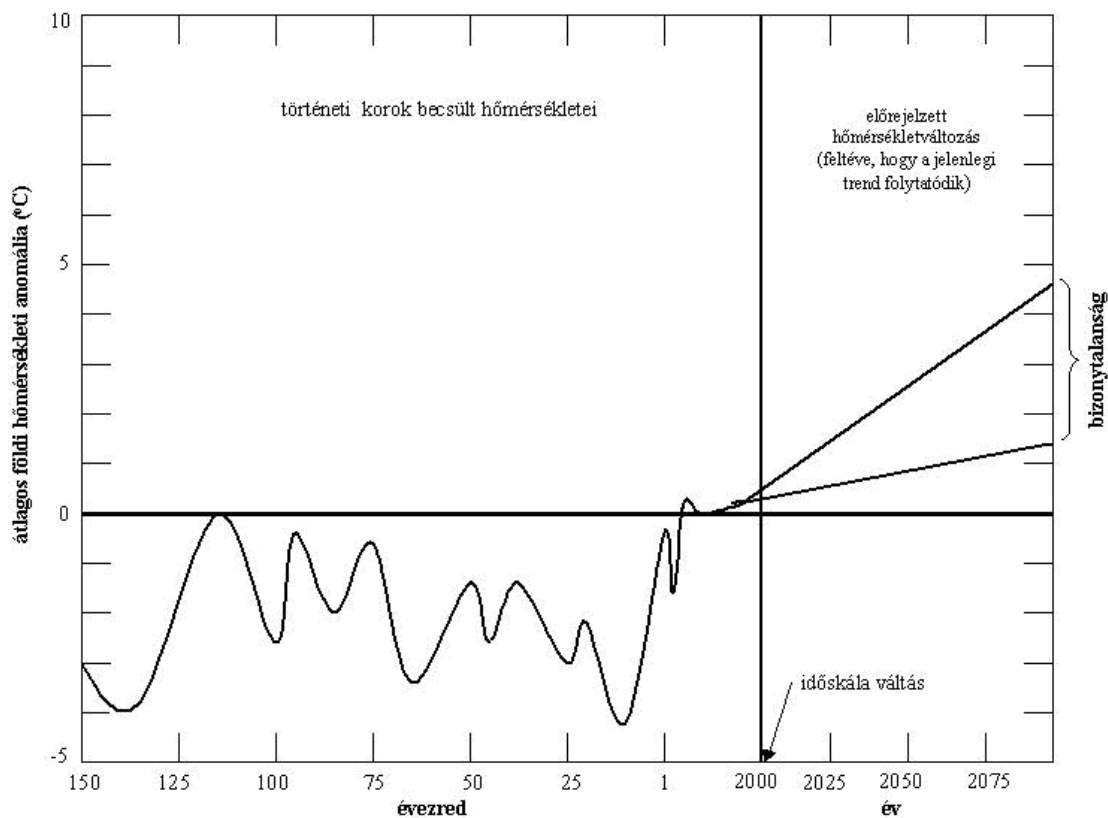
Később talán egy erősebb üvegházhatás okozta a mezozoikum – a dinoszauruszok korának – kivételes melegét, amikor is az ősmaradványok tanúsága szerint 10-15 Celsius-fokkal volt melegebb, mint ma.

Akkoriban, 100 millió éve és régebben, a kontinensek másképpen helyezkedtek el, mint ma, megváltoztatták az óceáni áramlásokat, és talán erősítették a trópusokról a magasabb szélességek felé irányuló hőáramlást. Eric J. Barron (Pennsylvania Állami Egyetem) és mások számításai szerint azonban az őskontinensek földrajza a mezozoikumi felmelegedésnek csupán a felére képes magyarázattal szolgálni. [2.2]

A. B. Ronov (Állami Hidrológiai Intézet, Szentpétervár) és M. I. Budijko (Központi Geofizikai Observatórium, Szentpétervár) vetette fel elsőként, és Barron, Starley L. Thompson (Országos Légkörkutató Központ, USA) számításai alapján is úgy tűnik, hogy a többletmelegedés könnyen megmagyarázható a felszaporodott széndioxiddal. Robert A. Berner és Antonio C. Lasaga (Yale Egyetem), valamint Robert M. Garrels (Dél-Floridai Egyetem) geokémiai modellje szerint a szén-dioxid az óceánközépi hátságokon kialakult, szokatlanul erős vulkáni tevékenység során szabadulhatott fel, ott, ahol most a feláramló magma tengerfenékké szilárdul. [2.3]

A földi éghajlat a földtörténeti korok során folyamatosan és számottevő mértékben változott. Menjünk vissza, például 18 ezer évet a múltba: a Föld légkörének hőmérséklete messze a mai érték alatt maradt (2.2. ábra). Az Alpok gleccserei mélyen lehúzódtak a folyóvölgyekbe és óriási egybefüggő jégablák borították a kontinensek jelentős részét. Becslések szerint a jégtakaró vastagsága a mai Svédország területén és a Sziklás-hegységben meghaladta a 2500-3000 m-t. Ekkor volt az utolsó jégkorszak hideg periódusa. [2.3]

Alig van az emberi tevékenységeknek olyan része, melyet közvetlenül vagy közvetve ne befolyásolnának az időjárási jelenségek, az éghajlat módosulása. Földünk története során az éghajlat is folyamatosan változott és szinte minden év, évszázad, évezred hozott valamilyen új éghajlati rekordot. Nagy jelentőségű e változások amplitúdójának és időskálájának becslése, tudnunk kell, mikor juthat egy régió éghajlata olyan tartományba, mely már veszélyezteti a térség gazdaságát, őshonos mezőgazdaságát. Különösen most vált fontossá kutatni, és mind jobban megérteni a múlt éghajlatváltozásainak lefolyását és ok-okozati összefüggéseit: hisz az emberiség most vált képessé az éghajlat befolyásolására vagy akár megváltoztatására.

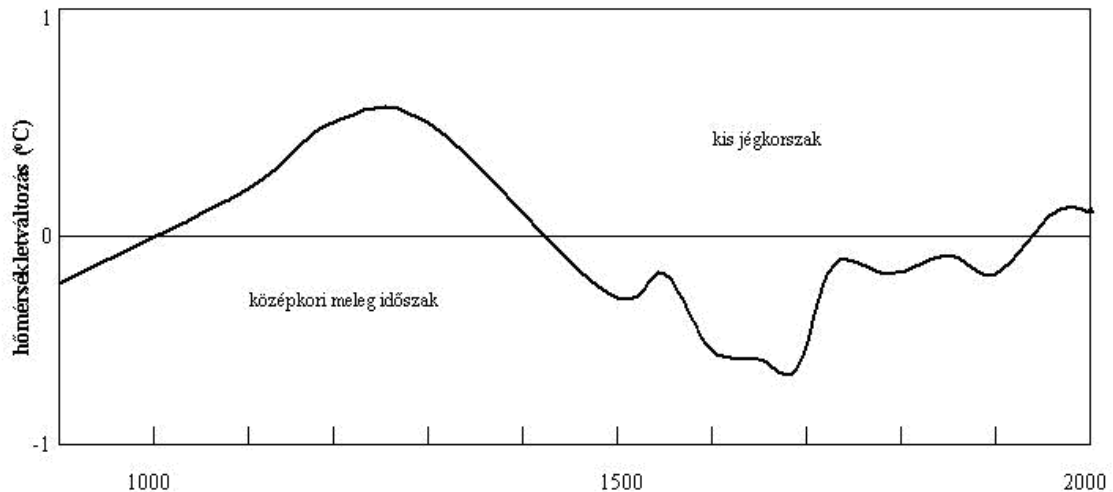


2.2. ábra: A földfelszín hőmérsékleti anomáliája az elmúlt 150 ezer évben

A 2.2. ábra 150 ezer évet felölelve mutatja be a földfelszíni hőmérséklet becsült alakulását a múltban és a közeljövőben. Jól látható, hogy az esetlegesen bekövetkező változások veszélye abban rejlik, hogy a földi légkör olyan hőmérsékleti tartományba léphet, melyben ősidők óta nem volt. [2.4.]

2.1.3 Középkori klímaváltozások

Az elmúlt néhány évszázad mérési adatait a fent felsorolt módszerek felhasználásával kiegészítve jó közelítést kaphatunk az éghajlati paraméterek múltbeli alakulásáról. A 2.3. ábrán végigkövethetjük a Közép- és Észak-Európában markánsan jelentkező középkori meleg időszakot, mely i.sz. 1150 és 1300 között tetőzött, s mely egyben a megelőző néhány évezred legmelegebb periódusa is volt. Az ezt követő lehülési fázisban – az 1550-től 1850-ig terjedő időintervallumban – Európa különböző területein a „kis jégkorszak”-nak nevezett hűvös időszak más és más évtizedben érte el hőmérsékleti minimumát.



2.3. ábra: A földi légkör hőmérsékletének változása az elmúlt évezred során

Ez a több évszázadon át tartó periódus az előző jégkorszak hidegfázisa óta a leghűvösebb időszak volt. A XX. sz. elejére viszont már az egész kontinens túljutott ezen a lehűlési perióduson. Ezekkel a hőmérsékleti ingadozásokkal összefüggésben több fontos éghajlati elem is változott:

- A tenyészidőszak hossza;
- A hóval fedett időszakok hossza és gyakorisága;
- A téli időszak hossza;
- A fagyok gyakorisága, s a földbe való lehúzódás mélysége;
- A csapadék mennyisége és évszakonkénti eloszlása, a párolgás és a talajnedvesség;
- A folyók és tavak vízszintje, kiterjedése;
- Az aszályok és árvizek gyakorisága.

A fenti paraméterek esetenként önmagukban is jó indikátorai lehetnek az éghajlatváltozásoknak. Gondoljunk csak a Velencei-tó felszínének összehúzódására, kiszáradására vagy a Balaton és folyóink vízszintjének csökkenésére. (A történelem során még a Balaton is többször teljesen kiszáradt, s óriási homokviharak, porviharak sújtották a vidéket, mígnem a rómaiak a Sió-csatorna és a hozzá tartozó zsilipek megépítésével lehetővé tették a vízszint emberi szabályozását.)

Egy-egy klímparaméter alakulásából nem vonhatunk le általános következtetéseket az éghajlat egészére, hiszen gyakran nem lehet megítélni, hogy egy markáns tendencia megjelenésének háttérében milyen ok-okozati összefüggések

húzódnak. Például az aszályok vagy árvizek gyakoriságának jelentős változása mögött nemcsak a lehullott csapadék mennyiségének markáns növekedése vagy csökkenése állhat, hanem esetenként folyók szabályozása, víztározók építése vagy a rosszul tervezett vízgazdálkodás. Ezek a változások mind közvetlenül vagy közvetve érintik a mezőgazdaságot, s következményeik hatással lehetnek a térség gazdaságára. [2.5]

2.1.4 Újkori klímaváltozások

A NASA Goddard Intézetének igazgatója, J. E. Hansen első háromdimenziós, számítógépes klímamodellje óta – a világszerte megszorodott és továbbfejlődött mérési és kutatási programoknak köszönhetően is – a globális felmelegedés több fontos bizonyítékát tárták fel. Hansen szerint: „*A Föld több hőt nyel el, mint amennyit visszasugároz az űrbe. Úgy véli, hogy a "hiányzó" hő a tengerekben halmozódik fel.*” Ez az állítás a kételkedők számára mindmáig nem volt más, mint hipotézis.

Levitus szerint (egy másik intézetből) az óceánok a Föld éghajlatának változásait megőrizték. Ezért hét évvel ezelőtt átfogó programot szervezett a tengerek felső 3 kilométeres rétegének hőmérsékletmérésére és a korábbi mérési adatok összegyűjtésére. A mintegy tízmillió adat elemzéséből kitűnt: a léghőmérséklet 1955 és 1995 között, azaz 40 év alatt 0,06 Celsius-fokot emelkedett. "*Minden arra utal, hogy e melegedés az üvegházi hatást kifejtő gázok hőmérsékletnövelő hatásának a következménye*" – jelentette ki Levitus. Majd hozzáfűzte: "*De még mindig nem zárható ki teljesen, hogy a hőmérséklet emelkedése a természetes klímaingadozás következménye*".

A San Diegó-i Scripps Oceanográfiai Intézet kutatói legújabbban azt az ötletet vetették fel, hogy az óceáni áramlatok 1800 éves ciklusai bizonyos időszakokban – így napjainkban is – növelhetik a globális hőmérsékletet. Ha ez igaz, a Föld hőmérséklete még további 500 évig növekedni fog. Ötszáz év múlva várható ugyanis az óceáni áramlatok olyan átrendeződése, amelynek már az egész Földre hűtő hatása lehet.

A coloradói M. Serrese és kilenc társa a – dán Climatic Change folyóiratban – a sarkvidékek éghajlatát meghatározó komponensek évtizedes-évszázados változásaival foglalkozott. Tanulmányuk szerint például Alaszka és Eurázsia bizonyos északi részeinek telei a legutóbbi 30 év során kerekén 5 Celsius-fokkal váltak melegebbé! Ám "*...az elmúlt négyszáz év éghajlati bizonyítékai (...) korántsem mutatnak ilyen drámai változást*" - mondja Serrese. [2.6]

A fenti módon meghatározott talajfelszíni hőmérsékletek évszázadokra "kisimított" (átlagolt) ingadozásait és a műszeres léghőmérséklet-mérések évi változásait (mióta ilyen mérések egyáltalán vannak, vagyis a múlt század második fele óta) egyetlen rajzon összegezték. Eszerint az átlagos hőmérséklet-emelkedés 500 év alatt 1 K (kelvin) volt; a változás valamivel nagyobb (1,1 K) az északi és csekélyebb a déli féltekén (0,8 K). Ám ennek az ötszáz év alatti melegedésnek a fele a legutóbbi száz évben következett be. Mi több, a felmelegedésnek mintegy a 80 százaléka a XIX. és XX. századra esik. A Föld átlagos hőmérséklete tehát a múlt század közepéig lassan, 1850 óta gyorsabban növekedett.

Ezt a globális jelenséget - amely minden bizonnyal az ipari forradalommal, vagyis 150-200 éve kezdődött - ma általában az "üvegházhatású" gázoknak, elsősorban a szén-dioxidnak a felszaporodásával hozzák kapcsolatba.

Nyilvánvalóan ezek az eredmények szerepet játszottak abban, hogy az ENSZ klímaváltozással foglalkozó bizottsága (IPCC) 2000. február 28-án közreadta annak az új beszámolónak a vázlatát, amely erősítheti a pesszimista véleményeket: *"... a globális éghajlatra gyakorolt antropogén hatás ma már megfigyelhető"*. [2.6]

2.2 Az éghajlatváltozás tényei

A hőmérsékleti feljegyzések azt jelzik, hogy a Föld hőmérséklete világátlagban 0,7 °C-ot melegedett a múlt század kezdetétől. A tíz legmelegebb év – az 1861-es feljegyzések óta – 1990 után következett be. A valaha mért legmelegebb év 1998 volt, de 2005 is majdnem rekordot döntött.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) 2007. év folyamán közzétett negyedik értékelő jelentése szerint a Föld északi féltekéjének hóval fedett területe 10 százalékkal csökkent az 1960-as évek óta, és a világ nagy részén a gleccserek jelentősen visszahúzódtak. Az arktikus tengeri jég 40 százalékkal vékonyodott a késő nyári időszakban az elmúlt évtizedekben, és 1950 óta késő nyáron 15 százalékkal csökkent a kiterjedése. A legutóbbi becslések szerint csak az elmúlt évtizedben 8 százalékkal csökkent a tengeri jég területe. A tengeri jég olvadása nem emeli ugyan a tengerszintet, de a jégpáncél eltűnése megkönnyíti a kontinentális jég óceánba való áramlását, ami viszont hozzájárul a tengerszint emelkedéséhez, valamint módosítja a földfelszín sugárzás-visszaverő képességét is. Amíg a jégfelszín a ráeső sugárzás

körülbelül 90 százalékát visszaveri, addig az óceán vize a ráeső sugárzás alig több mint 10 százalékát.

A tengerszint évente 1-2 millimétert emelkedett a 20. században, főképp az óceánok hőtágulása és a gleccserek olvadása következtében. Egy sor növény- és állatfaj húzódott északabbra, a pólusok felé az elmúlt évtizedekben. A növények virágzása, a vándormadarak megérkezése, néhány madár költési időszakának kezdete és a rovarok felbukkanása korábbra tevődött a megfigyelések szerint az északi félteke közepes és magas szélességi köreinek nagy részén. Sok helyen a rovarok és kártevők már sokkal könnyebben áttelelnek.

Európa-szerte is jó néhány drámai áradásról lehetett hallani az elmúlt évtizedben. Valószínűleg az évezred legmelegebb nyara volt 2003, amely több mint 35 ezer ember halálát okozta Európában.

Az IPCC által meghatározott különböző kibocsátási forgatókönyvek mindegyike szerint a globális átlaghőmérséklet emelkedése várható a 21. században. A legnagyobb változást előrejelző forgatókönyv szerint a földi átlaghőmérséklet 2100-ban akár 6,4 °C-kal is magasabb lehet az 1980-1999 közötti időszak átlaghőmérsékleténél. Ugyanehhez az időszakhoz képest 2100-ra a világtengerek szintje is emelkedni fog 0,2-0,6 méterrel pusztán a felmelegedés hatására bekövetkező óceáni víz hőtágulása miatt.

Az emberi tevékenységek által előidézett felmelegedés és ennek hatására a világtenger szintjének emelkedése a 21. század során még akkor is folytatódik, ha az üvegházhatású gázok kibocsátását sikerül szinten tartani.

Ilyen változás lehet például:

- A grönlandi és a nyugat-antarktiszi jégtakarók elolvadása, amelyek a világtenger szintjének akár 12 méteres emelkedésével is járhat;
- Csökkenhet az Észak-atlanti áramlás erőssége, amely 2–3 °C-os hűtő hatást gyakorolhat az európai régióban;
- A jelenleg még fagyott északi mocsarak kibocsátókká válhatnak azzal, hogy az olvadás hatására az eddig fagyott földből metán szabadul fel (permafroszt).

2.3 A klímaváltozás hatása hazánkban az IPCC 4. jelentés alapján

A jelentés szerint a klímaváltozás miatt mediterrán hatás alakulhat ki hazánkban, amely rendszeres aszály veszélyével fenyeget az ország déli felén. Magyarország az elmúlt 50 év átlagában már elveszítette a csapadékmennyiségnek 10-15 százalékát. Ez azt jelenti, hogy az évi átlag 720 milliméterről 640 milliméterre esett.

Magyarország sajátos földrajzi viszonyaiból következően az árvizek és a belvizek előfordulásának nagy a valószínűsége, és a jövőben is számolnunk kell ezzel a veszéllyel.

A sajátos földrajzi viszonyok hatása következtében az ország területére több mint hatvan különböző vízhozamú folyó lép be, és csak három távozik (Duna, Tisza, Dráva) a határon túlra. Ebből következik, hogy a természeti katasztrófák közül leggyakoribb az árvíz előfordulása hazánkban, amely több alkalommal okozott különösen nagy károkat az ország különböző területein.

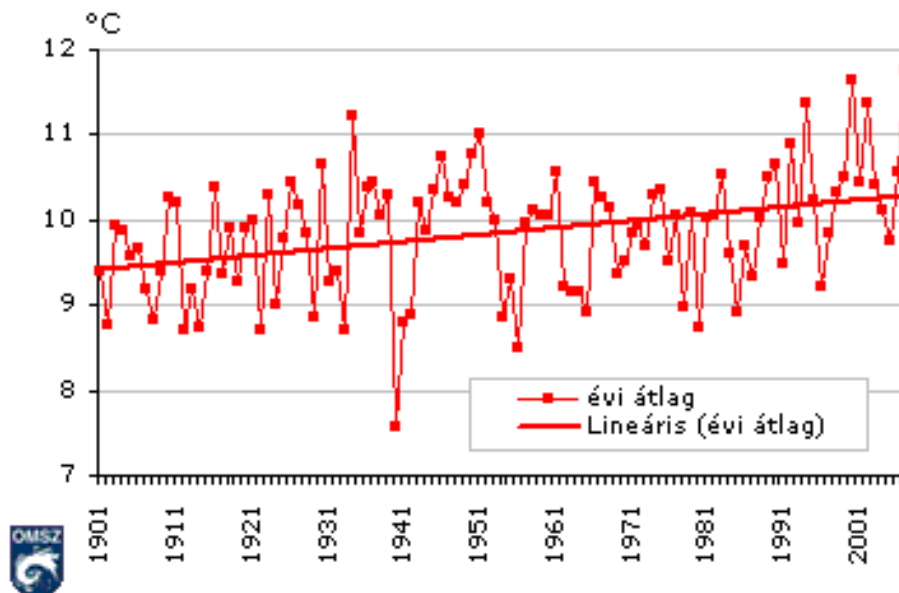
Néhány, nagy árvíz az utóbbi 150 év óta:

- 1838. Duna, Pest teljes elpusztulása.
- 1879. Tisza, Szeged teljes pusztulása.
- 1956. Duna, jeges árvíz, 58 gátszakadással és 60 ezer ember kitelepítésével.
- 1965. Duna, 119 napos védekezés és több folyó együttes áradása volt a jellemző.
- 1970. Tisza, a folyó teljes szakaszán, 103 napig tartott a védekezés. Különlegesség, hogy a Tisza nem tudta a Szamos, a Körösök és a Maros többlet vizét elvezetni, így az említett folyókon is árvíz volt.
- 1980. Maros, Makó teljes lakosságát, Apátfalva nagy részét ki kellett telepíteni.
- 2000, 2001, 2002, 2003. Tisza, a folyó teljes szakaszán árvízveszély, gátszakadással és a Beregi térségben több kitelepítéssel.
- 2006-ban a Dunán, a Tiszán és a mellékfolyókon vonult le hatalmas árvíz.

A klímaváltozás az árvizek mellett aszályt, elsivatagosodást is okoz. Magyarországot a vízhiány – a mezőgazdaság kivételével – egyelőre jelentős mértékben nem érinti, de már vannak aggasztó jelek. Először a Duna-Tisza-közének talajvízszint süllyedése jelezte, hogy a későbbi években gondok lesznek.

Hazánk az édesvízkészletek szempontjából a tíz legveszélyeztetettebb ország közé tartozik a világon. Az előrejelzések szerint 2050-re Magyarország félsivatagossá válhat, mert vizeink 95 százaléka külföldről érkezik, ami példátlan kiszolgáltatottságot jelent. Az előző rendszer négy évtizede alatt 3,5 köbkilométernyi vizet emeltünk ki a földből környezetpusztító bányászattal, s természetes vízpótlással ennek a mennyiségnek csak 50-60 százaléka került vissza a földre.

Hazánk átlaghőmérsékletének emelkedése az elmúlt években kimagaslóan nagy volt, példa erre a 2007. év (2.4. ábra). Ez az év volt az elmúlt évszázad legmelegebb éve Magyarországon. A 2007. év középhőmérséklete országos átlagban 1,7 fokkal volt magasabb az 1971-2000-es éghajlati átlagnál. Csapadékviszonyok tekintetében ugyanakkor az év nem volt rendkívüli, csapadékhozama országos átlagban a szokásos érték 108%-ának felelt meg.



2.4. ábra: Az országos évi középhőmérsékletek 1901 és 2007 között (forrás: www.omsz.hu)

Hazánkban az átlaghőmérséklet emelkedése mellett a következő évtizedekre az éves csapadék átlagos mennyiségének csökkenése és a csapadékeloszlás átrendeződése (több csapadék télen, kevesebb nyáron) várható, továbbá a szélsőséges időjárási események gyakoriságának és intenzitásának növekedése. A csapadék utánpótlás, a felszíni és felszín alatti vizek helyzete (minőség, mennyiség) lesz a legkritikusabb kérdés. Globális szinten a változások hatására régióként nagyon eltérő mértékű gazdasági visszaesés, és az egyre kevésbé élhető területekről való elvándorlás jelentős megnövekedése várható.

Összességében Magyarország természetes élővilágában a klímaváltozás hatására az alábbi fontos változások várhatók:

- Az égövre jellemző vegetáció határainak eltolódása;
- A társulások és táplálékhálózatok átrendeződése; a természetes élővilág fajainak visszaszorulása, különösen az elszigetelt élőhelyeken;
- Hosszú távon a biológiai sokféleség csökkenése;
- Inváziós fajok terjedése, új inváziós fajok megjelenése (pl. a kártevő rovarok és gyomok terjedése);
- Az élőhelyek szárazabbá válása, (pl. vizes élőhelyek eltűnése, homokterületek sivatagosodása);
- Ökoszisztéma funkciók károsodása;
- A talajok kiszáradása, a talajban lejárló biológiai folyamatok sérülése;
- A tüzesetek gyakoribbá válása.

2.4 A klímaváltozás tíz meglepő következménye

1750-től napjainkig bolygónk átlaghőmérséklete több mint 0,9 Celsius-fokot emelkedett – ebből 0,6 fok az utóbbi ötven év számlájára írható. Szakemberek a jövőre nézve ennél jóval radikálisabb változással számolnak: az elkövetkező évtizedben éves szinten akár 0,1-0,2 Celsius-fokot is emelkedhet a Föld átlaghőmérséklete.

Majdnem teljes bizonyossággal állíthatjuk, hogy a felmelegedés felgyorsulásáért az üvegházhatású gázok kibocsátásának folyamatos növekedése tehető felelőssé. Míg az ipari forradalom idején a légkörben lévő széndioxid-mennyiség 280 milliomod térfogatrész volt, addig napjainkra ez 379-re növekedett. Ha ez a jelenlegi ütemben folyik tovább, 2015-re a szén-dioxid légköri koncentrációja eléri a kritikusan tartott 400 milliomod térfogatrészes szintet, és egyes modellek szerint ez akár 5 fokos átlaghőmérséklet-emelkedést is eredményezhet a mostanihoz képest. A következőkben láthatjuk, hogy az eddigi 0,9 fokos hőmérséklet-emelkedés is milyen markáns hatással volt bolygónkra.

2.4.1 Több százmillió allergiás beteg

Valószínűsíthető, hogy a globális felmelegedés hozzájárul ahhoz, hogy évente 7-10%-kal több az allergiás és az asztmás betegek száma. Amellett, hogy immunrendszerünk egyre kevésbé ellenálló az allergénekkal szemben (legfőképpen helytelen életmódunk miatt), a betegek számát növeli az is, hogy a magasabb átlaghőmérséklet következtében korábban kezdenek virágozni a növények, így az allergiaszezon hosszabb ideig tart. Minél hosszabb ideig vagyunk kitéve egy allergénnek, annál nagyobb rá az esély, hogy allergiásak leszünk rá. Jelenleg Földünk népességének mintegy 15-20%-a szenved allergiás megbetegedésben. Csak Európában és az USA-ban mintegy 50 millió ember allergiás.

2.4.2 Fajok vándorolása

Számos állat- és növényfaj költözik magasabb tengerszint feletti területekre, illetve magasabb földrajzi szélességekre azért, mert a globális felmelegedés következtében élőhelye megváltozik, és a számára megfelelő körülményeket csak új helyeken találja meg. Ezzel együtt nő az invazív – az adott területre betolakodó – fajok száma is, amelyek gyakran kiszorítják az őshonos fajokat. Magyarországon jó példa erre, hogy az akácok az ország hegyes területein egyre feljebb húzódnak, kiszorítva az őshonos bükk- és tölgyfákat.

Akadnak azonban olyan fajok, amelyek képtelenek változtatni élő-, költőhelyükön. Erre szomorú példa számos, a Karib-tenger szigetein költő tengeri teknősfaj esete. Az évről évre emelkedő tengerszint vízzel borítja be azt a keskeny partsávot, ahol a teknősök a víztől biztonságos távolban, de még a part menti meleg homokba rakják le tojásaikat. A Karib-térségben a teknősök által használt partok mintegy harmada tűnt el az elmúlt évszázad során.

2.4.3 Gazdagabb növénytakaró az Északi-sarkvidéken

Az Északi-sarkvidéken élő növények az év nagy részét jégtakaró alatt töltik. Viszont azzal, hogy évről évre egyre korábban kezdődik a tavasz a sarkvidékeken, a jég korábban olvad el, így pedig hamarabb bújnak ki a növények. Kutatók az elmúlt évtizedekben jóval magasabb klorofill-koncentrációt mértek az Arktisz talajában, mint korábban bármikor. Ez azt jelzi, hogy az Északi-sarkvidék egyfajta biológiai gazdagodáson megy át.

A változás egyik legfőbb színtere Grönland, ahol a jégtakaró olvadásának mértéke 2002 nyarán minden korábbi rekordot megdöntött, az Északi-sarkvidék tengeri jege pedig elérte a műholdról megfigyelt legkisebb kiterjedését. A zöld sziget állandóan fagyott talaja és gleccserei olvadnak, az élővilág egyre nagyobb területeket hódít meg a sark felé, az édesvíz egyre nagyobb és nagyobb tömegben jelenik meg; mindez félreérthetetlenül jelzi a változást.

2.4.4 Eltűnnek az Arktisz tavai

Az Északi-sarkvidéken 125 tó tűnt el az elmúlt néhány évtizedben, ami azt bizonyítja, hogy a globális felmelegedés sokkal erősebb nyomokat hagy a sarkvidékeken, mint bolygónk más területein. Kutatók valószínűsítik, hogy a víz eltűnésének oka az, hogy az állandóan fagyott talaj (a permafroszt) felengedett a tavak alatt. Ha pedig ez megtörténik, a víz egy lefolyóhoz hasonlóan elszivárog a talaj mélyebb rétegein keresztül. Ez persze nem csak a tavak, hanem a rájuk támaszkodó ökoszisztémák eltűnését is jelenti.

2.4.5 Gyorsulnak a műholdak

A globális légszennyezéssel a felső légkörben is nő a szén-dioxid mennyisége a Földön. Míg a légkör alacsonyabb régióiban a szén-dioxid-molekulák ütközésekor mechanikai formában szabadul fel sok energia, tehát melegszik a gáz, addig magasan, a kis gázsűrűség miatt ritkán ütköznek a szén-dioxid-molekulák, ezért az energiájukat kisugározzák, ami végső soron hűti a légkört. A ritka felső légkör nagyon gyengén, de fékezi a műholdak mozgását, amit időnként korrigálni kell. A növekvő szén-dioxid-koncentráció azonban a légkör alsó részét melegíti, a felsőt pedig hűti, utóbbtól csökken a felsőlégkör sűrűsége, és csökken a műholdakra ható fékezőerő.

2.4.6 Gyakoribbak a földcsuszamlások

A permafroszt felengedését követően a víz egy része elpárolog vagy elfolyik, csökken a talaj térfogata, a földfelszín pedig megsüllyed. Lejtős felszíneken, az olvadás rétegeiben a talaj felső rétege megcsúszik, esetleg lefolyik. Normál körülmények között a permafroszt aktív része fokozatosan olvad fel, így az olvadákvíznek van ideje elfolyni vagy elpárologni. Ám az emelkedő átlaghőmérséklet miatt az olvadás intenzívebb, így a folyamat jóval gyorsabban játszódik le. A norvégiai Svalbardban végzett kutatófúrások

adatai azt mutatják, hogy a permafroszt hőmérséklete az elmúlt egy évtized alatt 0,4 Celsius-fokot emelkedett, négyszer annyit, mint az elmúlt évszázadban.

Egyre gyakrabban tapasztalható, hogy az örökké fagyott talajra épült városok épületeinek alapja megroggyan, az utak és hidak beszakadnak, a csővezetékek és a vasúti sínek eltöredeznek. Ma már a kevésbé meredek lejtőket is veszélyeztetik az olvadásból eredő talajmozgások és kőomlások. Ez történt a 2003-as nyári hóhullám idején az Alpokban is, amelynek eredményeként a Matterhorn egy hatalmas sziklatömbje szakadt le váratlanul.

2.4.7 Szaporodnak az erdőtüzek

Bár az erdőtüzek több mint 90 százalékát az ember okozza, a hőmérséklet-emelkedés egyértelműen hatással van a tüzek gyakoriságára és a kiterjedés mértékére. Számos kutató hozza összefüggésbe a magasabb hőmérsékletet és a korai hóolvadást az erdőtüzekkel. A korábban érkező tavasz következtében ugyanis a hóolvadás is korábban kezdődik, az erdők hamarabb száradnak ki és hosszabb ideig is maradnak szárazak, mint korábban, megnövelve ezzel az erdőtüzek esélyét.

2.4.8 Felgyorsult a hegységek növekedése

Az Alpok és más lánchegységek emelkedése az utóbbi évtizedekben némileg felgyorsult. Ennek oka nem a kőzetlemezek mozgásában keresendő, hanem a gleccserek olvadásának köszönhető. A jégtömeg alól felszabaduló kőzetburok-darabok ugyanis fokozatosan kiemelkednek a földköpenyből.

2.4.9 Megváltozik egyes fajok programozott viselkedése

Ahogy a globális felmelegedés következtében korábban indul a tavasz, a növények is korábban virágoznak és hoznak termést, sőt a madarak táplálékaul szolgáló hernyók is korábban jelennek meg. Azok a költöző madarak, amelyek a korai évszakváltást követve átprogramozzák biológiai órájukat, és korábban repülnek téli szálláshelyükről a nyárira, nagyobb eséllyel tudnak életképes utódokat nevelni, mint azok, amelyek nem ennyire alkalmazkodóak, és megvárják a szokott időt. Az átprogramozás oka világos: így rendelkezésükre áll a fiókák etetéséhez szükséges gazdag táplálék, míg a későn érkezők a megfogyatkozott táplálékkal csak kevesebb utódot tudnak felnevelni.

Az alkalmazkodás egy érdekes példáját figyelték meg az északnyugat-spanyolországi Kantábriai-hegység területén, ahol a barnamedvék évek óta nem térnek téli álomra. A jelenséget a szakemberek egyértelműen a globális klímaváltozással magyarázzák. A téli álom az emlősfajoknál az evolúciós fejlődés során kényszerű alkalmazkodás volt a téli táplálékhiányhoz, a medvék a téli álom alatt ugyanis testsúlyuk akár 40%-át is elveszíthetik.

Azokra a fajokra, amelyek nem képesek alkalmazkodni a gyors éghajlati változásokhoz, akár egyedszámuk gyors csökkenése, majd pedig a kipusztulás várhat. Hazánk területén a szárazság veszélyezteteti például a középhegységek nedves völgyeiben, hűvös patakjaiban élő foltos szalamandrát és a vizes élőhelyek emlősét, a vidrát is.

2.4.10 Műemlékeink pusztulása

A klímaváltozás következményei nagyobb kárt tesznek műemlékeinkben, mint a korábbi évszázadok vagy évezredek. A felmelegedés hatásának tulajdonított áradások például súlyosan megrongálták a hatszáz éves Sukhothait, az 1991 óta a világörökség részeként számon tartott egykori Thai Királyság fővárosának maradványait. A kenyai Lamu sziget óvárosát pedig, amely 2001 óta szerepel az UNESCO világörökség-listáján, könnyen elöntheti az óceán, amelynek vízszintje szintén a globális átlaghőmérséklet emelkedése következtében növekszik. A mauritániai Chinguettit, az iszlám vallás hét szent városának egyikét a benne álló mecsettel együtt a sivatag nyelheti el, a kanadai Herschel szigeten épült bálnavadász-kikötőt és a szomszédságában több ősi eszkimó települést pedig lassan ellepi a sarki jég olvadása miatt áradó tenger. Robert Falcon Scott, a Déli-sark legendás vándorának kunyhóját az Antarktiszon másféle veszély fenyegeti: a hó temetheti maga alá, a globális felmelegedés következménye arrafelé ugyanis éppen a gyakoribbá vált havazás.

2.5 Klímaindikátorok

Számos próbálkozás történt arra vonatkozóan, hogy egyes területekre klímaváltozási indikátorokat dolgozzanak ki [2.8]. A klímaváltozással foglalkozó indikátorokat két csoportra oszthatjuk: első csoportjuk a klímaváltozás meteorológiai indikátorai, a második csoport a klímaváltozás hatásait jellemző indikátorok.

2.5.1 Elsődleges indikátorok

A meteorológiai indikátorok:

- A levegő hőmérséklete (átlaghőmérséklet, maximum és minimum értékek, ezek gyakorisága illetve hossza);
- A tengerek felületi víz hőmérséklete;
- A csapadék mennyisége (átlagos mennyiség, rövid idő alatt lehullott csapadék mennyiség maximum, a heves esőzések, havazások gyakorisága);
- A szél sebessége, iránya (átlagos szélsébségek, maximum értékek);
- Viharok gyakorisága, erőssége.

2.5.2 Másodlagos indikátorok

A klímaváltozás hatásait jellemző indikátorokat környezeti, ökológiai, egészségügyi és társadalmi-gazdasági hatások szerint csoportosítják.

A környezeti indikátorok:

- A sarki és grönlandi jég mennyisége (a jéggel fedett terület nagysága);
- Tengerszint, tavak, folyók vízszintje;
- A fagypont bekövetkezésének időpontja, a talaj hóval való borítottságának időtartama;
- Talajvíz szint;
- Víztisztaság, levegő tisztaság;
- Talaj nedvesség tartalma;
- Erdő- és bozót tüzek kialakulása, stb.

Az ökológiai indikátorok:

- Fák lombosodási, virágzási és lombhullatási időpontja;
- Pillangó fajok megjelenése illetve eltűnése;
- Vándormadarak megérkezésének időpontja;
- Madarak költési ideje;
- Populációváltozások;
- Rovarok tömeges megjelenése, stb.

Az egészségügyi indikátorok közzé sorolhatók az alábbiak:

- Az extrém időjárás miatti halálozás;
- A betegségterjedés elterjedésének megváltozása;
- Új betegségek megjelenése, stb.

A társadalmi-gazdasági indikátorok:

- Vízellátás (vízfelhasználási korlátozások);
- A mezőgazdasági kultúrákban bekövetkezett változások;
- Az időjárással kapcsolatos veszteségek (biztosítási költségek);
- Az életmód változásai, stb.

A további vizsgálódás tárgyai az első csoportba tartozó ún. meteorológiai indikátorok. Az indikátorok gyakorlati alkalmazásának (így katasztrófavédelemben való felhasználásának) legnagyobb akadálya a nehezen megvalósítható számszerűsítés.

2.5.3 Klímaindex

Egyik lehetőség az ún. klímaindexek (vagy klímaváltozási indexek) definiálása. [2.8] A klímaváltozási indexek egy önkényes skálán jelzik a változás mértékét. Az indexet a hőmérséklet és csapadék mérések alapján számítják. A hőmérséklet alapú klímaváltozási index számításához a következő adatbázisokat használják fel:

- Az egyes évszakok átlaghőmérsékletét (négy évszakra vonatkozóan);
- A fűtési illetve hűtési fokot (amelyet a 18 °C alatti átlaghőmérsékletű napok hőmérsékletéből számolják az egész fűtési időre, illetve az e feletti hőmérsékletű napok hőmérsékletéből az év másik felére);
- Az extrém hőmérsékletű napok gyakoriságát.

Az index számítására az évek közötti standard deviáció összefüggését használják:

$$SD = \left\{ \text{Sum} \left[(T_a - T_e)^2 \right] / 30 \right\}^{1/2} \quad (2.1.)$$

Ahol: Sum 30 évi összegzést jelent;
 T_a az évi átlaghőmérséklet;
 T_e a 30 év átlaghőmérséklete.

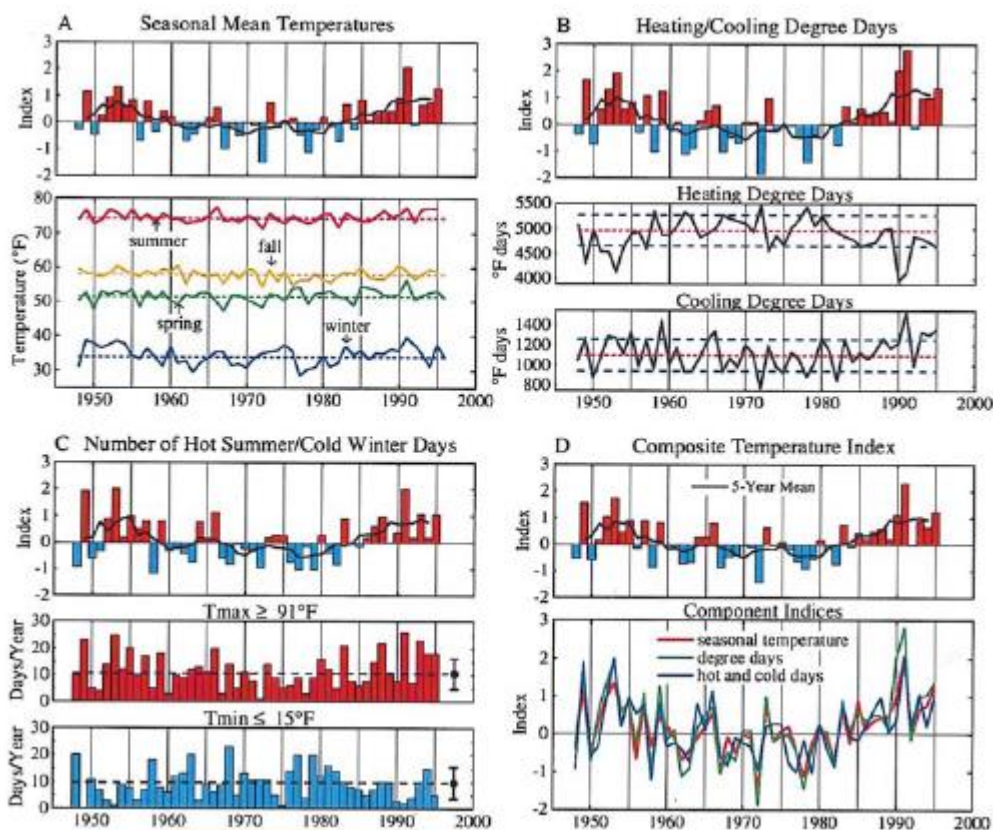
Az SD érték az évek közötti fluktuáció mértéke, a +1 illetve a – 1 értékek elég jelentős változást jelentenek. A bázisnak tekintett 1951 és 1980 közötti harminc évre az

SD érték 0. A hőmérsékleti klímaváltozási indexet a fent felsorolt hőmérsékleti jellemzőkre kiszámítják, majd átlagolják. A hőmérséklet alapú klímaváltozási indexet hőmérsékletváltozási indexnek is nevezik. Amennyiben az index értéke 0 illetve ahhoz közeli érték akkor a klíma változatlan a + 1 feletti értékek melegedést a – 1 alatti értékek hűlést mutatnak.

A klímaváltozási index másik összetevője a csapadék adatok alapján számítható. Az itt felhasználható adatbázisok az alábbiak:

- Az egyes évszakok teljes csapadék mennyisége (négy évszakra vonatkozóan);
- Az évi víz deficit (amit az elpárologtatott víz és a csapadék + talaj nedvesség különbségével jellemeznek);
- A heves csapadékhullás gyakorisága.

Az egyes jellemzőkre a (2.1) egyenletet analóg módon alkalmazva kiszámítják a megfelelő indexeket majd a három indexet átlagolva kapják meg a csapadék indexet. A következő ábra a hőmérsékletváltozási indexet mutatja New Yorkra. Az ábra A része az évszakok átlaghőmérsékletéből, a B része a fűtési és hűtési fokokból, a C része az extrém hőmérsékletű napok gyakoriságából számított indexet, míg a D része az a három index átlagát mutatja. Az index számítási módszer alkalmazható más jellemzőkre is, a feltétel a megfelelő adatbázis megléte.



2.5. ábra: A hőmérsékletváltozási index értékei New Yorkra

2.5.4 Extrémumok statisztikája

Egy másik módszer, ami számszerű eredményekre vezet a véletlen változók extrém értékeinek vizsgálata [2.9, 2.10]. Az extrém értékek eloszlása Gumbel, Fréchet vagy Weibull-eloszlást követ [2.9]. A három eloszlást egy közös összefüggéssel lehet felírni, amelyet általános extrém érték eloszlásnak (GEV) neveznek:

$$G(z; \mu, \sigma, \xi) = \exp\left[-\left\{1 + \xi(z - \mu)/\sigma\right\}_+^{-1/\xi}\right] \quad (2.2.)$$

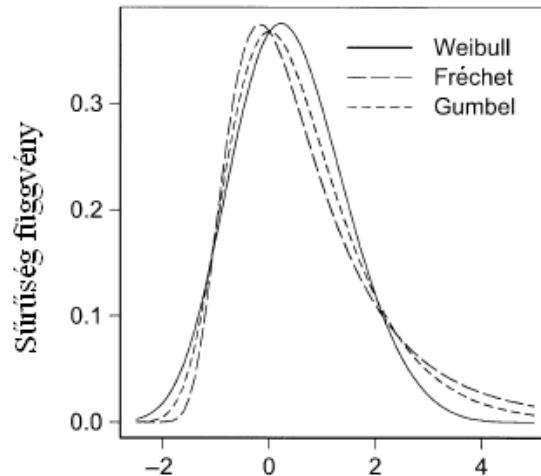
Ahol: $-\infty < \mu < \infty$;

$\sigma > 0$;

$-\infty < \xi < \infty$.

a hely, a skála és az alak paraméterek.

A plusz jel a maximum értékét jelöli. Az eloszlás típusát a ξ előjele szabja meg. Ha a ξ negatív, akkor a Weibull-eloszlást kapjuk, amennyiben ξ zérushoz tart a Gumbel-eloszlás adódik, és ha ξ értéke pozitív, akkor a Fréchet-eloszlást kapjuk. A 2.6. ábra mutatja a három eloszlás típusát.



2.6. ábra: A Gumbel-, Fréchet- és Weibull-eloszlás

Az eloszlások közül a Weibull-eloszlás felülről korlátos, azaz a maximum egy adott véges értéket nem léphet túl. A Gumbel-eloszlás esetén a maximum végtelen nagy érték és annak valószínűsége, hogy ilyen nagy értéket kapjunk, exponenciálisan csökken. A Fréchet-eloszlás esetén a nagyobb maximum értékeknek nagyobb a valószínűsége, mint a Gumbel-eloszlás esetén.

Az azonos eloszlású megfigyelések maximumaira a blokkmaximumok közelítést szokás használni. A másik használatos módszer a határérték feletti módszer (POT) metszék-módszer néven emlegetett, exponenciális eloszlás illesztésével működő eljárás. A szint fölötti maximumok módszere abból indul ki, hogy egy magas küszöb feletti megfigyeléseket tekintve, a kapott meghaladási értékek általánosított Pareto (GP) eloszlással modellezhetők. Adott küszöbérték esetén a paraméter becslés könnyen elvégezhető maximum-likelihood módszerrel. Az általános Pareto-eloszlás:

$$G\left(x; \bar{\sigma}, \xi; u\right) = 1 - \left[1 + \frac{\xi(x-u)}{\bar{\sigma}}\right]^{-1/\xi} \quad (2.3.)$$

Ahol: $x-u > 0$,

$$1 + \frac{\xi(x-u)}{\bar{\sigma}} > 0,$$

$$\bar{\sigma} = \sigma + \xi(x - \mu).$$

Az általánosított Pareto-eloszlás megadja annak valószínűségét, hogy egy nagy értéket átlépő valószínűségi változó értéke nagyobb egy küszöb értéknél. Az elemzésekben fontos szerepet kap a visszatérési idő. Egy extrém esemény visszatérési

ideje z_p , úgyhogy a p annak valószínűsége, hogy egy adott évben z_p -t meghaladja a véletlen változó extrém értéke, vagy a véletlen változó extrém értéke átlagosan egyszer $1/p$ évben átlépi a határértéket. Például ha egy adott helyen az 1,5 cm-es csapadék visszatérési ideje 100 év, akkor annak valószínűsége, hogy egy adott évben a csapadék mennyisége meghaladja az 1,5 cm-et $1/100 = 0,01$. Az általánosított szélsőérték eloszlás segítségével a visszatérési idő az alábbi összefüggésekkel számítható:

$$z_p = \left\{ \begin{array}{ll} \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left[1 - \{-\log(1-p)\}^{-\xi} \right] & \text{ha } \xi \neq 0 \\ \mu - \sigma \log\{-\log(1-p)\} & \text{ha } \xi = 0 \end{array} \right\} \quad (2.4.)$$

A módszer alkalmazására számítógépes programokat dolgoztak ki. [2.10, 2.11] A módszert alkalmazták az árvízszintek előrejelzésére [2.12] és a metszék-módszerrel és az *exponenciális eloszlás* alkalmazásával az 1%-os meghágású mértékadó árvízszintre (MÁSZ) minden egyes szelvényben (átlagosan 71 cm-rel) nagyobb értékeket kaptak a Tiszára, mint az 1976-ban számított mértékadó árvízszintek. A metszék-módszer szerinti MÁSZ értékek – a tivadari és a tiszafüredi szelvény kivételével – nagyobbak, mint az eddig észlelt maximumok (beleértve az 1998-2001. közötti extrém árhullámok tetőző értékeit is). A főbb vízmércéken az eltéréseket a 2.1. táblázat mutatja.

Vízmérce	Jelenleg érvényes MÁSZ 1% [vízállás cm]	Metszék-módszer szerinti MÁSZ 1% [vízállás cm]	Eltérés [cm] (4)=(3)-(2)	Eddig észlelt maximum [cm] (5)	Eltérés [cm] (6)=(3)-(5)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Tivadar	929	987	+ 58	1014	- 27
Vásárosnamény	985	1056	+ 71	941	+ 115
Tokaj	915	994	+ 79	928	+ 66
Tiszafüred	815	852	+ 37	881	- 29
Kisköre	933	1043	+ 110	1030	+ 13
Szolnok	961	1060	+ 99	1041	+ 19
Csongrád	971	1048	+ 77	994	+ 54
Szeged	971	1007	+ 36	960	+ 47
			átlag=70,88		
			szórás=24,89		

2.1. táblázat: A Tiszára számított és mért extrémumok

2.6 Irodalomjegyzék

- [2.1] Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change, Cambridge University. Press, Cambridge, UK. <http://www.ipcc.ch>
- [2.2] VAHAVA projekt www.vahava.hu, Láng István (2003): Bevezető gondolatok "A globális klímaváltozással összefüggő hazai hatások és az arra adandó válaszok" című MTA-KvVM közös kutatási projekthez. "AGRO-21" Füzetek. 31.
- [2.3] Palotás L.: Mérnöki kézikönyv III.; Műszaki Könyvkiadó 1991.
- [2.4] Schneider S. H.: A változó éghajlat; Tudomány 1989. november
- [2.5] Berner R. B., Lasaga C. A: A szén geokémiai körforgása; Tudomány 1989 május
- [2.6] Wirth E.: Földünk lázgörbéi; Élet és Tudomány 2000/42.
- [2.7] United States, Environmental Protection Agency: National Air Pollutant Emissions Trends Report 1997.
- [2.8] Pálfai Imre (1999): Az 1999. évi rendkívüli belvízvédkezés néhány tanulsága a belvízrendezés új stratégiájának kialakítása szempontjából. Hidrológiai Tájékoztató.
- [2.9] Hansen, J., Sato, M., Glascoe, J. Ruedy R. A common-sense climate index. Is climate changing noticeably? Proc. Nat. Acad Sci USA (1998) 95. 4113-4120
- [2.10] Gilleland, E., Nychka, D. Statistical models for monitoring and regulating ground-level ozone, Environmetrics 16 535-546 (2005)
- [2.11] Gilleland, E., Katz, R. W: Tutorial for The Extremes Toolkit: Weather and Climate Applications of Extreme Value Statistics: www.assessment.ucar.edu/toolkit 2011. 09. 21.
- [2.12] Szlávik Lajos (2003): Az elmúlt másfél évszázad jelentősebb Tisza-völgyi árvizei és az árvízvédelem szakaszos fejlesztése. Vízügyi Közlemények 1998-2001. évi árvízi külön füzet. IV. kötet.

3 A klíma előrejelzésének problémái

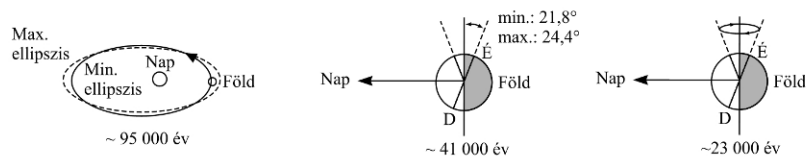
A klímaváltozás tényeit az előzőekben áttekintettük. A kiváltó okokról a vélemények megoszlanak. A kutatók döntő többsége az emberi beavatkozás miatt a légkörbe kerülő, növekvő mennyiségű üvegházhatású gázokat tartja a fő kiváltó oknak. Jelen fejezetben be kívánjuk mutatni a vizsgált okokat, az előrejelzésben alkalmazott klíma modellek főbb jellemzőit és az általuk megjósolt változásokat, valamint a modellek kritikáját.

3.1 A Klímaváltozás természetes és antropogén okai

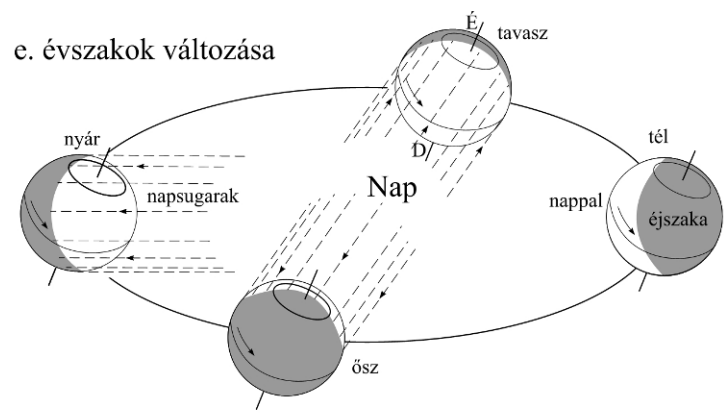
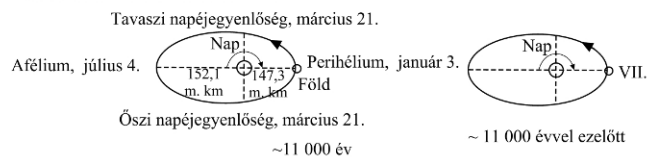
3.1.1 A Nap sugárzásának és a Föld orbitális paramétereinek megváltozása

Mint ahogy a földi energiakészlet forrása a Nap, így annak sugárzásváltozásai lényeges hatással bírnak a földi éghajlatra.

- a. Pályamódosulás (az ellipszis lapultsága)
- b. Tengelyelhajlás változása
- b. Tengelyirány változása (precesszió)



d. Perihelion eltolódás



3.1. ábra: A besugárzást módosító csillagászati tényezők

A napsugárzás intenzitása és földrajzi eloszlása a Föld Nap körüli keringésével függ össze. A Föld ellipszispályáján egy év alatt járja körbe a Napot, de az évszakok a két féltéken nem egyenlő ideig tartanak: az északi félgömb nyári féléve öt nappal hosszabb, mint a délié. Ez az eltérés szintén nem állandó. A Föld pályaparamétereinek kicsi és lassú változása is vezethet klimatológiailag fontos évszakeltolódásokhoz az évezredek során. Éghajlati visszacsatolások erősíthetik ezeket a kis változásokat, s akár jégkorszakokat is eredményezhetnek. Ilyen paraméterek például a Nap körüli ellipszispálya lapultsága, a Föld forgástengelyének dőlésszöge, a forgási szögsebesség módosulása.

3.1.2 Önerősítő és öngyengítő visszacsatolások

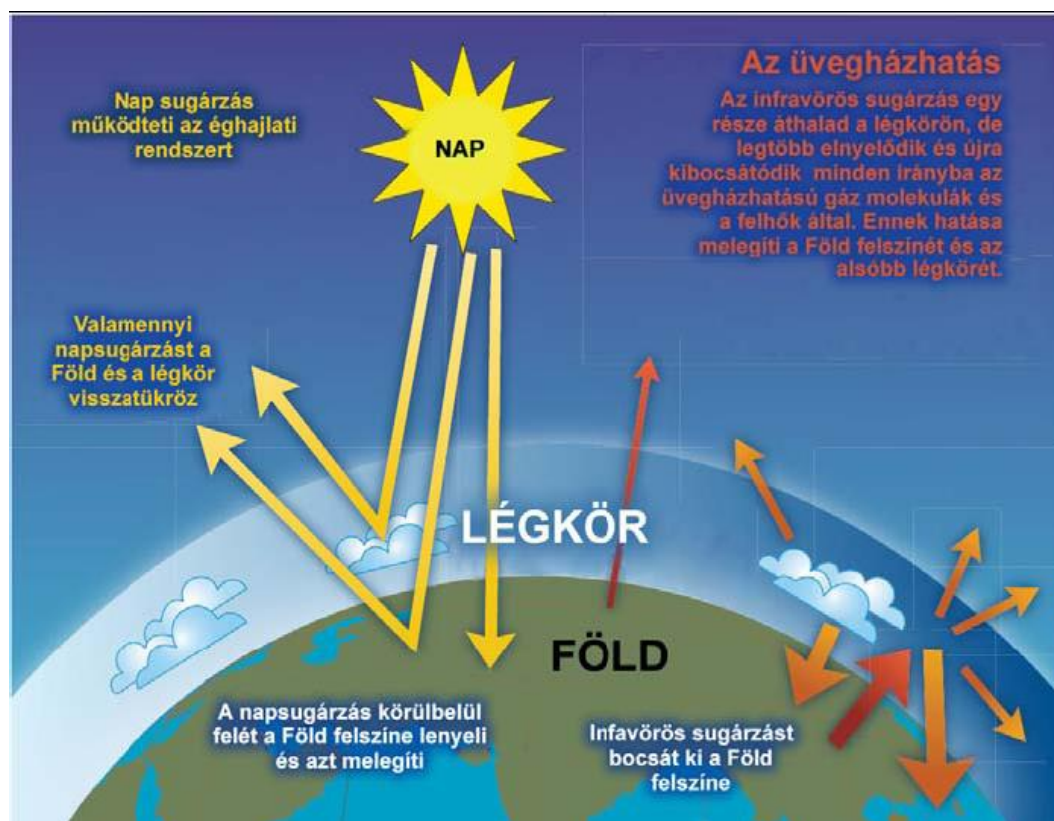
A beérkező sugárzást különböző mértékben nyeli el a felszín. Ennek mértékét az albedó mutatja, amely a visszavert és a beérkező energia hányadosa, és értéke 0 és 1 közé esik. Az óceánfelszín albedója kicsi (0,08-0,10), az óceánok hőkapacitása a szárazföldiekéhez képest nagy. Ezért az óceánok a Föld hőtározóinak szerepét töltik be.

A hóval borított felszín (0,42-0,85) és a tengeri jégfelszín (0,30-0,40) albedója viszonylag nagy. Ezek a felszínek visszaverik a napsugárzás nagy részét, így megakadályozzák, hogy a talaj felmelegedjen. Olvadáskor pedig tovább hűtik a környezetet.

A globális melegedés folyamatához számos visszacsatolási mechanizmus kapcsolható, melyek közül a három legfontosabb a hó-jég-albedó, a vízgőz és a felhő típusú visszacsatolási mechanizmusok. Közülük talán a legismertebb az önerősítő (pozitív) hó-jég-albedó visszacsatolási mechanizmus. Itt a globális melegedés következtében változik a Föld planetáris albedója. A hó és a jég mennyisége csökken a Földön, így bolygónk a világűr felé kevésbé reflektív, azaz kevesebb energiát ver vissza, viszont ennek következtében a légkör több sugárzási energiát képes elnyelni, s így melegebb lesz a légkör, amely a hó és jég mennyiségének további csökkenését eredményezi. Ez a körfolyamat a kiinduló melegedő hatást felerősíti, ezért nevezzük önerősítő visszacsatolási mechanizmusnak. Kis részecskék (ún. aeroszolok) légkörbe juttatása melegítő és hűtő hatással egyaránt járhat: a világos színű szulfát-aeroszolok a sugárzás nagyobb mértékű szórása miatt hűtő hatásúak, míg a sötét koromszemcsék a napsugárzás nagyobb mértékű elnyelése miatt melegítő hatásúak.

Földünk egységnyi felületére 342 W/m^2 energiasűrűség érkezik a Napból napfény formájában. A napfény energiájának egy része (kb. 31%-a) visszaverődik az űrbe elsősorban a felhőkről és a levegőből, másik része (kb. 20%-a) elnyelődik a levegőben, a maradék (kb. 49%) energia eléri a Föld felszínét és elnyelődik benne. Az elnyelt energia a Föld felszínét bizonyos hőmérsékleten tartja, aminek következtében a Föld, mint adott hőmérsékletű szilárd test maga is elektromágneses sugárzást bocsát ki hősugárzás formájában.

A Föld felszínéről távozó hősugárzást a levegő bizonyos, általában nyomnyi mennyiségben lévő összetevői – a vízgőz, szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid, halogénezett szénhidrogének és az ózon – nagy (mintegy 90%-os) valószínűséggel elnyelik. Ezen összetevőket nagyon szemléletesen üvegházhatású gázoknak nevezzük. A kisugárzott energia mintegy 62%-a térbeli okok miatt visszajut a Föld felszínére, és ott elnyelődik, míg a maradék kb. 38% (235 W/m^2) az űrbe távozik. Az üvegházhatású gázok által elnyelt és visszajuttatott energia következtében a Föld felszínén a globális átlagos hőmérséklet $+15 \text{ }^\circ\text{C}$, szemben a $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal, ami az említett gázok nélkül alakulna ki.



3.2. ábra: A sugárzási egyenleg

3.1.3 *Vulkáni tevékenység*

Vulkánkitörések alkalmával több ezer km³ mennyiségű anyag lökődik fel a légkörbe, melynek nagy része néhány napon belül leülepszik, vagy esőzések révén kimosódik a légkörből. A kis átmérőjű részecskék (szulfát-aeroszolok) nagyobb, robbanás erejű vulkánkitörések alkalmával feljutnak az alsó sztratoszférába, akár 30 km-es magasságba is. Ezen a szinten már szinte egyáltalán nincs felhő- és csapadékképződés, így akár 1-2 évig is eltarthat, mire ezek a részecskék kikerülnek a légkörből. A vulkánkitörésekből származó részecskéken szóródnak a Napból érkező sugarak, s így megnövelvén a planetáris albedót hűtő hatást fejtenek ki. Például az El Chicon és a Pinatubo vulkánok a kitörések évében (1982, ill. 1991) 0,5-0,7°C-kal csökkentették a globálisan átlagolt felszínhőmérsékletet.

3.1.4 *Az óceán cirkulációja*

Az óceánok közvetlen hatása az éghajlatra abból származik, hogy a légköri cirkuláció és az óceán áramlásai hőt szállítanak a trópusi zónából a sarkok felé. Ezeket az áramlási rendszereket nagyon sok folyamat befolyásolja és módosítja regionális és globális skálán. Az óceán–légkör kölcsönhatás olyan jelenségeket is létrehozhat, mint például az El Niño, mely 2-6 évente újra és újra megjelenik a Csendes-óceán trópusi területein.

Az óceánok az üvegházgázokra is hatást gyakorolnak, fontos szerepük van a légköri szén-dioxid-koncentráció kialakításában. A légköri szén-dioxid és az óceán felszíni vizeiben oldott szén-dioxid között hosszabb időszakot tekintve egyensúly van. Az óceánban lejátszódó cirkulációs, kémiai és biológiai folyamatok az egyensúly kismértékű eltolódása révén a szén-dioxid légköri mennyiségének módosításával az éghajlat lassú változását eredményezhetik.

3.1.5 *A földhasználat megváltozása*

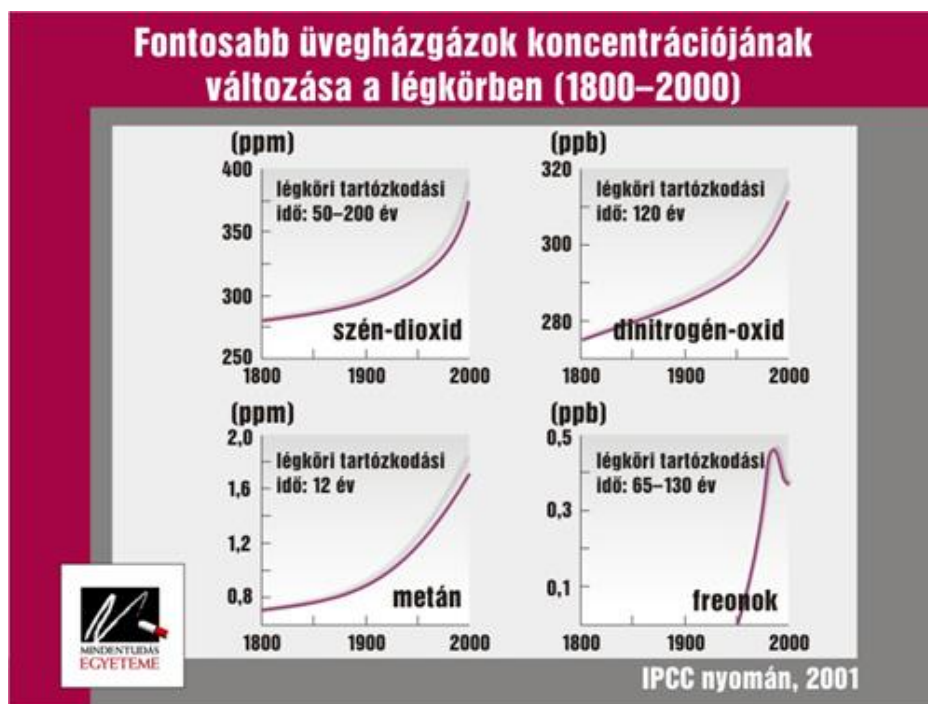
A földi eredetű éghajlat-alakító tényezők közé tartoznak a légkörrel érintkező szférák: a litoszféra (szárazföldek), a hidroszféra (óceánok), a krioszféra (hóval-jéggel borított felszínek) és a bioszféra (élőlények) hatásai. Az élőlények közül az emberiség tevékenysége van a legnagyobb hatással bolygónk klímájára.

Az emberek a Föld felszínét is átalakítják: erdőből például megművelt szántóföld lesz (mely éves ciklussal jelentős felszíni változásokat mutat); vagy

természetes felszínből betonnal, aszfalttal, tetőkkel lefedett városi környezet. Ezek a változások módosítják a lokális/regionális éghajlatot például a városi hősziget-jelenség kialakulása révén.

3.1.6 Az emberi tevékenység és az üvegházhatású gázok

Változott-e kimutatható mértékben az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja az elmúlt két évszázad során? A válasz egyértelmű igen, a lenti ábrán a szén-dioxid, a metán, a dinitrogén-oxid és a freonok koncentrációváltozásait kísérhetjük figyelemmel az elmúlt kétszáz évben.



3.3 ábra: Fontosabb üvegházgázok koncentrációjának változása a légkörben (1800–2000) [forrás: <http://www.mindentudas.hu>]

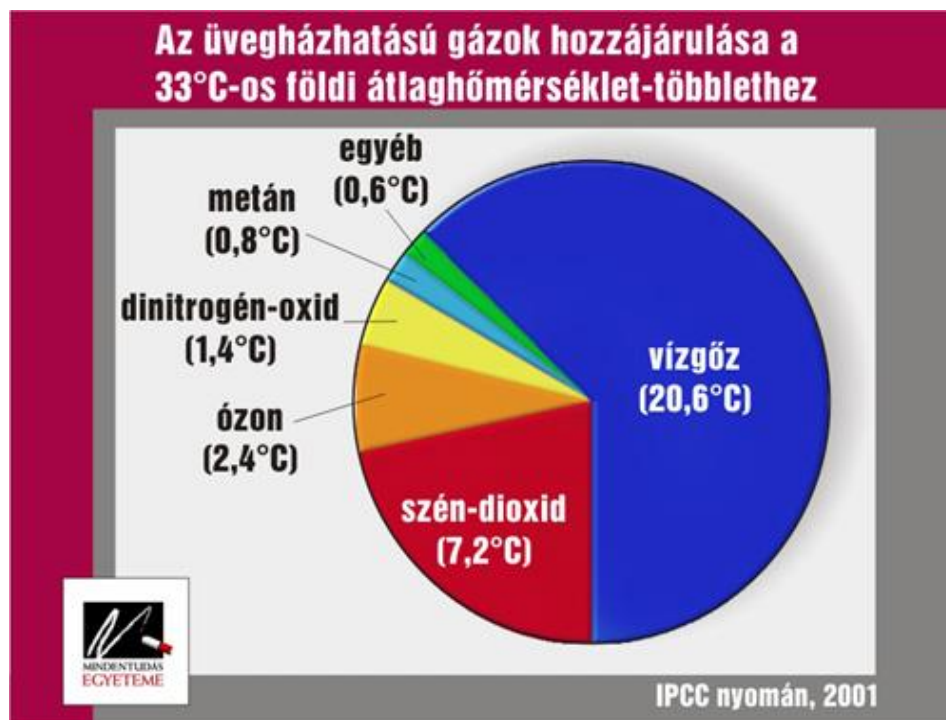
Jelentős mértékű, a 20. század második felében pedig gyorsuló növekedést láthatunk. Szembetűnő, hogy freonok természetes állapotban nem voltak jelen a légkörben, kimutatható mennyiségben csak az 1950-es években jelentek meg az ipari tevékenység következtében. Mik az antropogén eredetű metán- és szén-dioxid kibocsátás forrásai?

Az antropogén eredetű szén-dioxid kibocsátás közel fele (46%) az erőművek és finomítók révén jut a légkörbe. Az erdők irtása (23%), a cementgyártás (12%), a gázgyártás (9%) szintén jelentős mértékben hozzájárul a légköri szén-dioxid

megnövekedett mennyiségéhez. A metánemisszió komponensei között az ipari forrásokon (bányászat, 25%) kívül jelentős szerephez jut a mezőgazdaság. Míg az állattenyésztés 28%-kal, addig a rizstermesztés és a szántóföldek feltörése 15%-kal, illetve 7%-kal növelik a légköri metánkoncentrációt.

3.1.7 A szén-dioxid és egyéb üvegházhatású gázok koncentrációjának változása

Az egyre növekvő népesség és a fokozódó ipari tevékenység ugyancsak hat a klímára. Közülük a legnagyobb hatású a légköri üvegházgázok koncentrációjának növekedése.



3.4. ábra: Az üvegházhatású gázok hozzájárulása a 33 °C-os földi átlaghőmérséklet többlet-höz [forrás: <http://www.mindentudas.hu>]

Számos természetes és antropogén eredetű gáz hozzájárul az üvegházhatáshoz, mely melegíti a Föld felszín közeli légrétegeit. Ezek közül a gázok közül a legjelentősebbek a vízgőz, a szén-dioxid, a metán, a dinitrogén-oxid, az ózon és a halogénezett szénhidrogének (freonok). Ha a földi légkörnek nem lenne természetes üvegházhatása, akkor a felszín közeli léghőmérséklet 33 °C-kal lenne alacsonyabb. A legnagyobb hozzájárulása a természetes üvegházhatáshoz a vízgőznek (20,6 °C) és a szén-dioxidnak (7,2 °C) van (lásd 3.4. ábra).

Az antropogén eredetű globális melegedésben a legjelentősebb szerep a szén-dioxidnak jut, amely a teljes emberi eredetű hatás mintegy 55%-áért felelős.

Az üvegházgázok hatása a következőképpen foglalható össze. A Napból érkező sugárzás felmelegíti a földfelszínt, amely azonban az elnyelt többletenergiát az infravörös tartományban visszasugározza a világűr felé. E sugárzásnak egy részét a légköri üvegházgázok elnyelik, s visszasugározzák a felszín irányába, ily módon tovább melegítve a Föld felszínét.

Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy az alsó légkörben az elmúlt 250 évben bekövetkezett sugárzási viszonyok megváltozásáért számos folyamat felelős. A legnagyobb hatású, s egyértelműen a globális melegedés irányába mutat ezen összetevők közül az üvegházhatás, pontosabban az üvegházgázok antropogén eredetű koncentrációváltozása. További légkört "melegítő" komponensek: a troposzférikus ózonkoncentráció emelkedése, a fosszilis tüzelőanyagok égetéséből származó aeroszolok mennyiségének növekedése, a repülőgépekből a légkörbe kerülő égéstermékek hatása, valamint a Nap sugárzásának változásai. A sugárzási kényszer megváltozásához sokkal kisebb mértékben járulnak hozzá a légkört "hűtő" folyamatok: a sztratoszférikus ózonkoncentráció csökkenése, a szulfát-aeroszolok és a szerves anyagok égetéséből származó aeroszolok mennyiségének növekedése, valamint a földhasználatban bekövetkezett változások. [3.1-3.3]

3.2 Az éghajlat modellezései és a modellezés bizonytalanságai

Az eddigiek során láttuk, hogy az elmúlt két évszázadban az üvegházgázok légköri koncentrációja jelentős mértékben növekedett. Ez értelemszerűen együtt jár a légköri sugárzási viszonyok megváltozásával és az üvegházhatás fokozódásával. E folyamatok sokrétű visszacsatolási mechanizmusokat indítanak el, melyek nehezen modellezhető, nehezen prognosztizálható folyamatláncolatokat vonnak maguk után.

Az éghajlat vizsgálatának egyik fontos eszköze a légkör dinamikus modellezése. A nagy éghajlatkutató központok a teljes Földre vonatkozó numerikus előrejelző modellek fejlesztésére vállalkoznak, mégpedig úgy, hogy az éghajlati rendszer összetevőire (légkör, óceánok, szárazföld, bioszféra, krioszféra) felírják a megmaradási egyenleteket, ezeket kiegészítik egyéb diagnosztikai összefüggésekkel – létrehozva az egyes alrendszerek modelljét –, és numerikusan (nagyteljesítményű) számítógépek segítségével megoldják azokat. A légköri alrendszer modellezése az operatív gyakorlatban is használt időjárás előrejelző modellek adaptálását jelenti, oly módon,

hogy az eredeti modellhez képest bizonyos folyamatokat, például a sugárzásátvitelt és a felhőképződést más módon, a tér- és időskálának megfelelően írják le. Az óceánok modellezésére külön óceán modellt használnak, melyet összekapcsolnak a légköri modellel, és így módon a két rendszer egymásra való hatását is le tudják írni. A szárazföldi folyamatokat a talaj–légkör rendszer közötti kölcsönhatás miatt fontos pontosan leírni, míg a bioszféra modellezése az üvegházgázok elnyelése és kibocsátása miatt elengedhetetlen. A modellek lehetőséget adnak a természetes és antropogén okok hatására bekövetkező globális hőmérsékletváltozások külön-külön és együttes szimulálására. [3.4-3.8]

3.2.1 A klíma modellek típusai

A klíma modellek szimulálják a klimatikus rendszer viselkedését. A modellek célja megérteni a klímát irányító alapvető fizikai, kémiai és biológiai folyamatokat. A klíma viselkedésének megértésével világosabb képet kaphatunk a múltbeli klímáról, össze tudjuk hasonlítani a megfigyelésekkel és becsülni tudjuk a jövőbeli klímaváltozásokat. A modellek térbeli és időbeli szimulációkat tesznek lehetővé.

Három folyamat sorozat létezik, amelyeket egy klíma modell megalkotásakor figyelembe kell venni:

1. A sugárzási folyamatokat az egész klímán keresztül;
2. A dinamikus folyamatokat, a vízszintes és függőleges energia transzferet (advekción, diffúzió);
3. A felületi folyamatokat, figyelembe véve a szárazföld, az óceán és a jégtakaró felületén végbemenő légkör–felület energiacsereket.

A modellt alkotó egyenletek vagy elméletileg levezetett összefüggések vagy empirikus függvények. Az egyenletrendszer megoldása térbeli és idő koordinátákra történik.

A modell egyszerűsítése:

Az egyszerűsítések lehetnek a térbeli és időbeli felbontásra vonatkozóak illetve bizonyos parametrizáció. A legegyszerűbb modellek zéró rendűek a térbeli felbontást tekintve. A klíma rendszer állapotát egy globális átlaggal jellemzik.

Más modellek egy-, két- vagy háromdimenziósak. A dimenziókn kívül további térbeli egyszerűsítés lehetséges pl. az egydimenziós modellben bizonyos számú

szélességi sávot, a kétdimenziós modellben korlátozott számú rácspontot vesznek figyelembe. Az időskála perctől éves nagyságig terjed.

Ahhoz, hogy a megoldás stabilitását megőrizzük, a térbeli és időbeli felbontást össze kell kapcsolni, ami bizonyos problémákkal járhat, amikor a térbeli és időbeli felbontás erősen különbözik. Parametrizációként empirikus függvények alkalmazására kerül sor. Bizonyos folyamatok elhanyagolhatók egyes időskálák esetén. Így például a mély óceáni áramlásokat nem kell figyelembe venni, ha a modell változásait éves vagy dekádós időskálán vizsgáljuk.

A klímamodellek:

1. Energia megmaradási modellek (EBMs)
2. Egydimenziós sugárzási–konvekciós modellek (RCMs)
3. Kétdimenziós statisztikai–dinamikus modellek (SDMs)
4. Háromdimenziós általános körzési modellek (GSMs)

Energia megmaradási modellek:

Ezen modellek a klímát meghatározó két alapvető folyamatot szimulálják:

- a globális sugárzási egyensúlyt (a beérkező és kisugárzott energiát);
- a szélességi fokokon végbemenő energia átadási folyamatokat.

Az ebbe a csoportba tartozó modellek vagy 0, vagy egydimenziósak. A zéródimenziós modell a Földet pontszerűnek tekinti és csak az első folyamatot vizsgálja. Az egydimenziós modellben a szélesség a dimenzió. Az egyes szélességi sávokra a hőmérsékletet a klimatikus jellemzők szélességi sávra jellemző értékeivel (albedó, energia fluxus, stb.) számítják. A szélességen végbemenő energia átadást lineáris, empirikus összefüggéssel határozzák meg a szélességi és globális átlaghőmérséklet különbsége alapján. A modellben figyelembe lehet venni az időfüggő energia tárolást, az óceán mélyén végbemenő energia áramot.

Sugárzási–konvektív modellek.

Ezek a modellek egy vagy kétdimenziósak lehetnek. Az egydimenziós modell a magasságot használja koordinátaként. Figyelembe veszi:

- a sugárzással beérkező, szóródó illetve visszasugárzott energiát;
- a függőleges konvekcióval végbemenő energia cserét.

A kétdimenziós modellek ezenkívül figyelembe veszik a vízszintes konvekciót is. Az energetikai folyamatok alapján számítják a függőleges hőmérsékletprofil az

egydimenziós illetve a kétdimenziós profilt a kétdimenziós modellekkel. A modellek alkalmasak a légköri perturbációk hatásainak vizsgálatára, pl. vulkáni porok hatásainak elemzésére.

Statisztikai–dinamikus modellek

Ezen modellek kétdimenziósak, a vízszintes és függőleges koordinátákat veszik figyelembe. A modellek kombinálják a vízszintes energia áramlást a sugárzási–konvektív folyamatokkal. Az egyenlítőől a sarkok felé irányuló energia átadást az egyes szélességi elemek közötti áramlással veszik figyelembe. Olyan paramétereket mint a szélesség, szélirány statisztikus adatokból határozzák meg. Különösen alkalmasak a vízszintes energia áram hatásainak figyelembe vételére.

Általános körzési modellek

E háromdimenziós modellek a következő fizikai alapelveken nyugszanak:

- Energia megmaradás;
- Impulzusmomentum megmaradás;
- Tömegmegmaradás;
- Az ideális gáztörvény.

Ezen törvények alapján megfogalmazott egyszerű összefüggésekkel meghatározzák az szélesség eloszlást a hőmérséklet függvényében és szimulálják a felhőképződési folyamatot. A modellnek minden egyes rácspontban 105 adatot kell tárolnia, újraszámítania, újratárolnia az egyes idő lépésekben. Általában a modell 1000 rácspontot tartalmaz, így a számítások költség- és időigényesek. Az ilyen modellek, mivel háromdimenziósak, megfelelően pontos becslést adnak a klímára. A modellek segítségével készíthetők éghajlati forgatókönyvek is.

Ahhoz, hogy a modellek bemenő paramétereiként megadhassuk 50-100 évre előre az üvegházgázok emissziójának, illetve koncentrációjának értékeit, ismernünk kellene a gazdasági és társadalmi folyamatok jövőbeni alakulását (mint például a népesség változása, a globalizációs folyamat térhódítása és sebessége, a megújuló energiahordozók, illetve a környezetkímélő technológiák elterjedése, a globális és regionális gazdaságpolitika iránya, a nemzetgazdaságok regionális fejlődési tendenciái, területi és elemenkénti emisszió-értékek, stb.). Ám ilyen nagy időtávra előre ezeket a folyamatokat nem ismerhetjük. Ezért csak éghajlati forgatókönyvekben, ún. klímaszcenáriókban gondolkodhatunk, azaz „ha..., akkor...” jellegű folyamatokban.

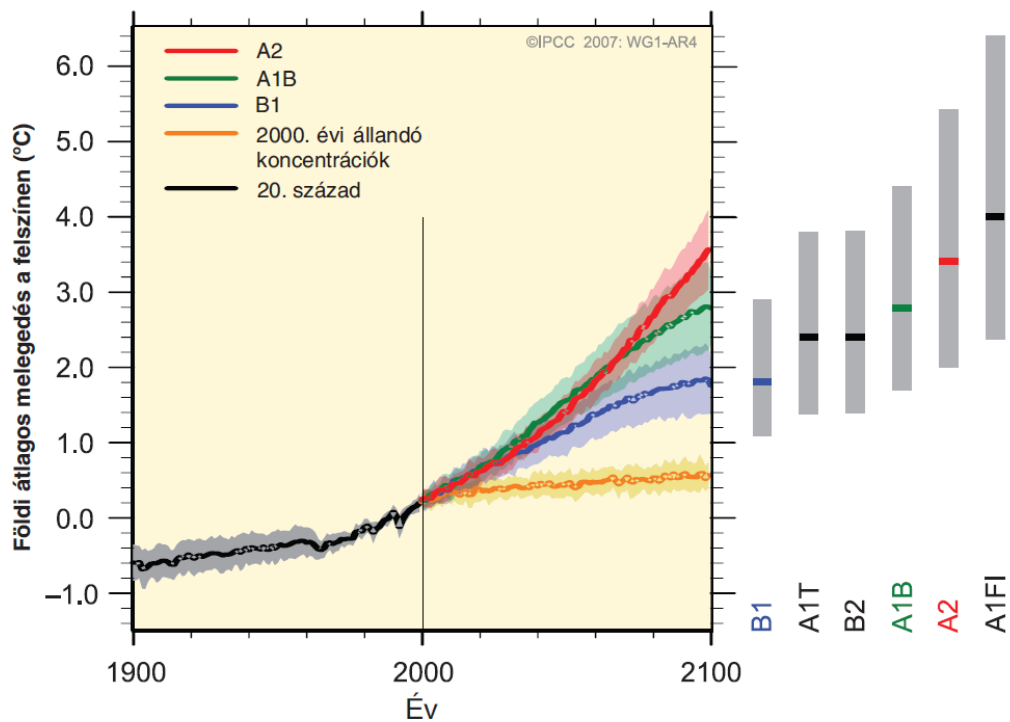
3.2.2 Az általános körzési modellekkel végzett szimulációk

Az éghajlatkutató közösség éghajlati helyzetértékelését tartalmazó, öt-hat évenként megjelenő ún. IPCC jelentés négy alapszcenárióját szemlélteti a 3.1. táblázat. Láthatjuk, hogy a négy forgatókönyv eltér egymástól. Az A1, B1 és A2, B2 szcenáriópárok a globalizációs folyamatok felgyorsulása, illetve a régiónkénti fejlődés alapján prognosztizálják a jövőt. Az A1, A2 szcenáriók esetén a gyors gazdasági fejlődés, míg a B1, B2 esetben a környezettudatos technológiai fejlesztések a prioritás. Ezek tükrében az emissziók (s egyben a klímaváltozás mértéke) szempontjából az A1 a legoptimistább és a B2 a legpesszimistább forgatókönyv. A fenti négy alapszcenárión belül 19 kiinduló forgatókönyv áll rendelkezésre, melyek a gazdaság leendő állapotát, a szennyezőanyag-kibocsátás globális mértékét és összetételét írják le. A nyolc éghajlati világgözpontban közel húsz, hatalmas számítógépes kapacitást igénylő globális modell képes becsülni a jövőbeni klíma alakulását. Ezek a globális éghajlati modellek általában 2050-ig, illetve 2100-ig becsülik meg az éghajlati paraméterek globálisan várható alakulását. Tesztfuttatások igazolják, hogy ha a szcenáriók alapadatait kellő pontossággal meg tudnánk adni, akkor a modellek képesek lennének a jövő klímáját többé-kevésbé jól leírni.

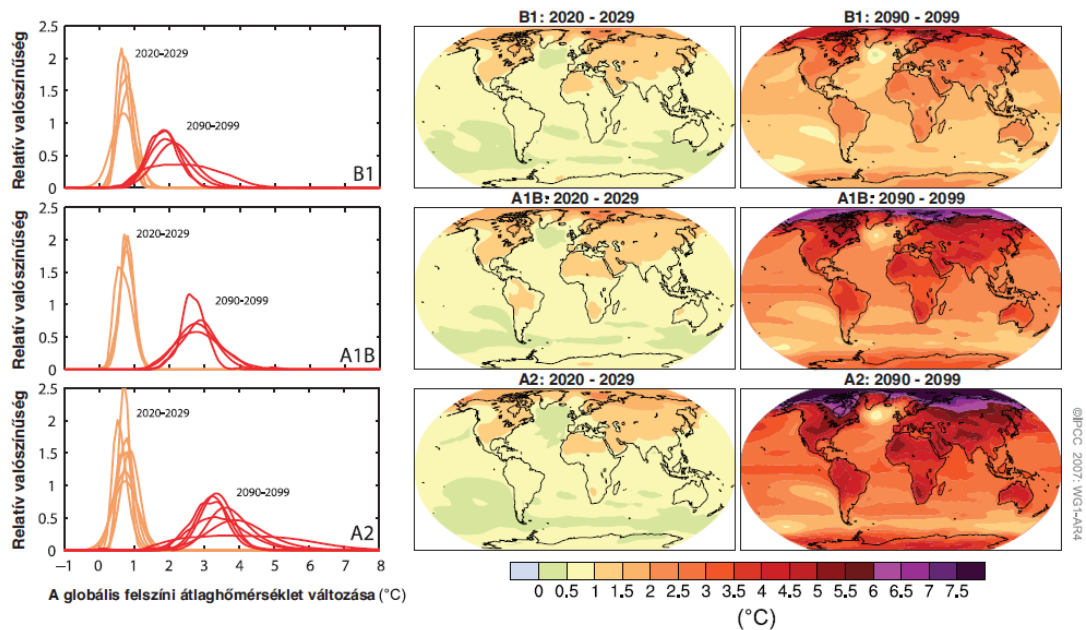
<p style="text-align: center;">A1</p> <ul style="list-style-type: none"> - nagyon gyors gazdasági növekedés; - a népesség növekedése a 21. sz. közepéig, utána csökkenés; - új és hatékony technológiák gyors megjelenése, elterjedése; - az egyes régiók közötti kiegyenlítés; - fokozott kulturális és társadalmi impulzusok; - a regionális jövedelemkülönbségek csökkenése. 	<p style="text-align: center;">A2</p> <ul style="list-style-type: none"> - heterogén fejlődési séma; - a helyi önkormányzatok, önszerveződések hangsúlyosabb működése; - folyamatosan növekvő népesség; - divergens regionális gazdasági fejlődés; - lassú és területileg nem egyenletes technológiai fejlődés.
<p style="text-align: center;">B1</p> <ul style="list-style-type: none"> - kiegyenlítő gazdasági fejlődés; - az A1-hez hasonló népességváltozások; - a gazdasági szerkezet gyors eltolódása a szolgáltatási és információs ágazatok felé; - környezetbarát és energiahatékony technológiák bevezetése; - a gazdasági, társadalmi és környezeti problémákra globális megoldások kidolgozása. 	<p style="text-align: center;">B2</p> <ul style="list-style-type: none"> - a gazdasági, társadalmi és környezeti problémák lokális szintű kezelése; - folyamatosan növekvő globális népességváltozás; - közepes mértékű gazdasági fejlődés; - az A1-hez és a B1-hez képest lassabb és sokoldalúbb fejlődés.

3.1. táblázat: Társadalmi fejlődés típusok a klímamodellekben

A teszt eredménye mutatja a mérési adatok alapján számított globális átlaghőmérsékletek megváltozását az elmúlt több mint két évszázadra (1770-1991), valamint bemutatja a 21. századra vonatkozó modellbecsléseket. A különböző scenáriók és modellek eredményeit más-más szín jelöli. A becslések bizonytalanságát a jobb oldalon jelzett intervallumok mutatják. A modellek szerint a földi átlaghőmérséklet 2100-ra előreláthatóan 1,4-5,8 °C-kal növekedne. Az éghajlati rendszer bonyolultsága miatt ugyanakkor a bizonytalanság elég nagy.

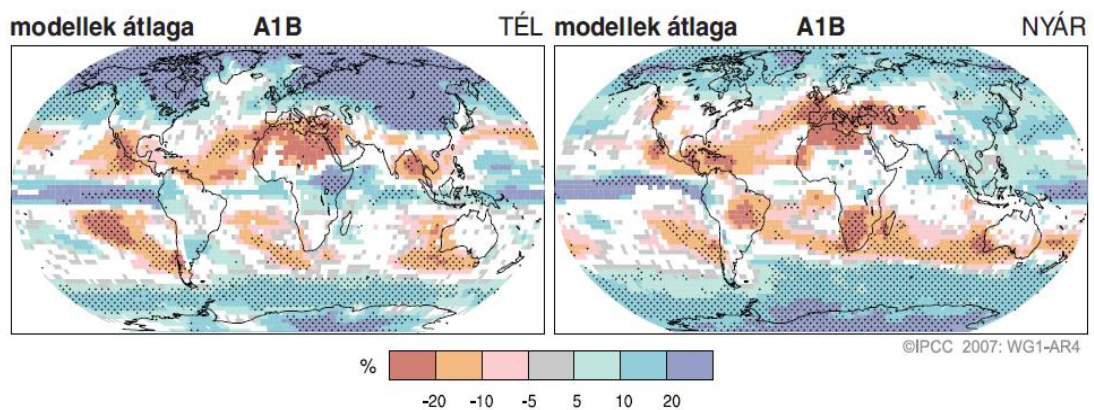


3.5. ábra: Az átlaghőmérsékleti előrejelzések a különböző fejlődési scenáriókra



3.6. ábra: A várható globális melegedés mértéke különböző scenáriók felhasználásával a 2020-29 és a 2090-99 időszakra. Forrás: IPCC, 2007.

A továbbiakban bemutatjuk néhány szimuláció eredményét, mindig ügyelve arra, hogy vagy nagyszámú modell kiátlagolt (simított) eredményeit, vagy egy nem szélsőséges scenárió becslését adjuk közre. Látszik, hogy a melegedés mértéke a Föld felszínén nem egyenletes, különösen nagy a magas földrajzi szélességeken, s szinte nincs változás az Észak-Atlantikum térségében.



3.7. ábra: A globális, éves csapadékeloszlás relatív változása 2090 és 2099 között

A hőmérséklet megváltozásához hasonló egyenetlen területi eloszlást kapunk, ha a globális éves csapadékmennyiségek 2100-ra modellezett értékeit elemezzük (3.7. ábra). Az éves csapadékösszeg általánosan nő a Földön a 21. században.

A növekedés a magasabb földrajzi szélességeken és az Egyenlítő körzetében a legintenzívebb. A mérsékeltövi zónában régióként kisebb csökkenést találunk. Az egész Földön a legnagyobb mértékű csapadékcsökkenés a Földközi-tenger körzetében várható, mely területhez a térkép szerint még a Kárpát-medence is hozzátartozik.

3.3 Regionális modellek

Az éghajlatváltozás regionális hatásainak vizsgálata alapvető fontosságú a társadalom szempontjából, hiszen ahhoz, hogy felkészülhessünk a klímaváltozás következményeire, először mindenképpen azzal kell tisztában lennünk, hogy az adott térségben az éghajlat milyen irányú megváltozásával kell számolnunk.

A jelenlegi globális modellekkel lehetetlen regionális térskálán is megfelelő pontosságú becsléseket készíteni, s ezek alapján regionális hatástanulmányokat végezni. Egyrészt azért nem, mert e modellek területi „felbontása” általában durva, gyakran 150-250 kilométer, ami azt jelenti, hogy egész Magyarországra mindössze néhány rácpont esik. Másrészt e közelítés nem tartalmazza a felszín és a domborzat kellően részletes adatait. Így a globális modellekből egy adott térségre vonatkoztatott pontos információkat nem kaphatunk, ezért regionalizációs (ún. leskálázási) eljárások alkalmazására van szükség. Számos statisztikus és dinamikus közelítésen alapuló módszert alkalmaznak világszerte a globális modellek eredményeinek regionalizálására.

A globális modellek tehát nem képesek sem az orografikus, sem a felszínípus-beli különbségek (pl. a hegységek magassági tagolódása, vagy a tengerek, szigetek, szárazföldek eltérő felszínformái) követésére, tehát a GCM eredményekből levonható következtetések erősen korlátozott érvényességűek. Ezért a globális modellek eredményeit bemenő paraméterként (kiindulásként és oldalsó peremfeltételekként) felhasználó korlátos tartományú beágyazott modellek képesek a nagyskálájú változásokat leképezni területileg finomabb skálára. A regionális modellek felbontása akár 10-25 km is lehet, mely már kisebb régiók pontos éghajlati leírását is lehetővé teszi.

A regionális éghajlati modellek megbízható fizikai tartalommal, nagy területi felbontással rendelkeznek, de a Földnek csak egy kisebb, korlátos tartományán vannak

értelmezve. Általában az éghajlati rendszer komponensei közül a légkört és a földfelszínt tartalmazzák, s képesek a felhő-, a sugárzási-, a csapadék-, valamint a talajhidrológiai-folyamatok leírására. Ma már számos regionális klímamodell áll rendelkezésre, melyek alkalmasak kisebb térségek XXI. századi éghajlatának finomabb térszkálájú becslésére.

Az IPCC ajánlásai között kiemelten szerepel, hogy mind több térségre, mind több modellel készüljenek klímabecslések, hiszen egyetlen éghajlati projekció önmagában csak korlátozott érvényességgel bírhat. A többféle modell bizonyosan nem adja pontosan ugyanazt a becslést egy-egy térségre, de az elemzés, összehasonlítás során kirajzolódnak a Föld azon régiói, melyekre nagyobb bizonyossággal, illetve csak nagy bizonytalansággal tudjuk a jövő éghajlatát becsülni. A modell-szimulációk együttes elemzése adja meg az előrejelzések valódi értékét, s lehetőséget a modellekben rejlő bizonytalanságok számszerűsítésére a felhasználók számára.

Az elmúlt években mind az Európai Unió, mind az Amerikai Egyesült Államok szenátusa nagy erőfeszítéseket tett annak érdekében, hogy lehetővé váljon a regionális éghajlati előrejelzések információtartalmának, minőségének, s megbízhatóságának növekedése. A korábbiakban jellemző sporadikus, nem kellően koordinált kutatások helyett megjelentek egyrészt az 5-ös és 6-os EU-keretprogramban az egész kontinenst, illetve annak egy-egy térségét átfogó projektek (PRUDENCE, ENSEMBLES, CECILIA, CLAVIER), másrészt az Amerikai Egyesült Államokban egy külön kormánybizottság létesült a klímaváltozással kapcsolatos kutatások összehangolására.

Az elmúlt néhány évben hazánkban az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Numerikus Modellező és Éghajlat-dinamikai Osztályán, valamint az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) Meteorológiai Tanszékén két-két regionális klímamodell hazai adaptálására is sor került, amelyek segítségével lehetőségünk nyílik becslést adni a Kárpát-medencében a XXI. századra várható éghajlatváltozás tendenciáira és a projekciókban rejlő bizonytalanságok számszerűsítésére. Az összesen négy regionális klímamodell közül három vonatkozik ugyanarra a mérsékelt (A1B) forgatókönyvre, és áll rendelkezésre a közelebbi jövőre (2021-2040 időszakra) vonatkozóan. Ezen modellek egyike a hamburgi Max Planck Intézet (MPI-M) által az ECHAM4 globális klímamodell alapján kifejlesztett REMO regionális modell, amelynek adaptálására egy kétoldalú (MPI-M–OMSZ) együttműködés keretében 2004 nyarán került sor. A REMO modellel a hamburgi Max Planck Intézet által koordinált

CLAVIER (CLimate ChAnge and Variability: Impact on Central and Eastern EuRope, <http://www.clavier-eu.org>) projektben hajtunk végre kísérleteket, amely a modellszimulációkon keresztül kifejezetten Közép- és Kelet-Európa éghajlatát vizsgálja (Szépszó és Horányi, 2008).

Az NCAR RegCM modell első generációjának kidolgozásául az NCAR-Pennsylvaniai Állami Egyetem (Pennsylvania State University, PSU) 4-es verziószámú mezoskálájú modellje (MM4) szolgált alapul, mely egy összenyomható, véges differenciál hidrosztatikus modell. A RegCM jelenlegi verziójában a dinamikai leírás hasonló az 5-ös verzió számmal jelzett hidrosztatikai mezoskálájú modelléhez (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, <http://www.cecilia-eu.org>) Európai Unió projekt keretében került sor a RegCM regionális modell adaptálására a Kárpát-medence térségére (Torma et al., 2008).

Az ALADIN-Climate modell a nemzetközi együttműködésben (amelyben az OMSZ aktív partnerként vesz részt) kifejlesztett ALADIN rövidtávú, korlátos tartományú előrejelző modell regionális klímaváltozata. Az ALADIN-Climate modell anyamodellje az ARPEGE-Climate globális klímamodell, melyet a rövidtávú célokra alkalmazott ARPEGE globális előrejelző modell korábbi változatából fejlesztettek ki Toulouse-ban az 1990-es évek elején. Az ARPEGE-Climate kifejlesztésekor elsősorban az ARPEGE globális modell fizikai parametrizációs eljárásait módosították, mivel a hosszabb időskálákon más fizikai folyamatok dominánsak, mint rövidtávon. Ezeket a módosított fizikai parametrizációs eljárásokat ültették be később az ALADIN modellbe, úgy, hogy a modell dinamikai része változatlan maradt. Így alkották meg az ALADIN-Climate modellt (Csimá és Horányi, 2008), amely eredményesen vett részt a fentebb már említett CECILIA EU projektben.

Ezeket az eredményeket nem tudjuk közvetlenül Magyarország területére értelmezni, mivel e modellek „felbontása” általában nem kisebb 250 kilométernél. Ez azt jelenti, hogy az egész országra 2-3 rácpont esik. Ebből pontos információkat nem kaphatunk, ezért regionalizációs eljárások alkalmazására van szükség. A globális modellek eredményeit felhasználó ún. beágyazott modellek képesek a nagyskálájú változásokat területileg finomabb rácsra lebontani. A regionális modellek felbontása 20-40 km is lehet, mely már kisebb régiók pontos leírását is lehetővé teszi. A hamburgi

Max Planck Intézetben és az angliai Hadley Központban kifejlesztett modellek alkalmasak lehetnek a Kárpát-medence 21. század végére várható éghajlatának becslésére.

3.4 Korlátok, bizonytalanságok

A világ nyolc legnagyobb nemzeti kutatóközpontjában közel húsz globális éghajlati modell képes megközelítőleg jó fizikai közelítést adni a légköri és az óceáni folyamatokra különböző jövőbeli emissziós scenáriókból kiindulva. Értelemszerűen e modellek csak hipotetikus éghajlatokat jelezhetnek előre. Éghajlati kísérleti laboratóriumok nem létezhetnek, így az eredmények kontrollálására sincs lehetőség. További probléma, hogy a modellekben rejlő bizonytalanságok nehezen számszerűsíthetők. Alább felsorolunk néhány tényezőt, melyek növelik e modellek pontatlanságát, s melyek óvatosságra intenek az eredmények közvetlen és feltétel nélküli interpretálásával kapcsolatban:

- minden modell egyszerűsítés, csak a valóság egy részét írja le;
- a modellek térbeli felbontása nem elegendő;
- a domborzati adatok nem adják meg a felszínt elég pontosan;
- a mérési adataink térben nem adnak elég sűrű lefedettséget;
- sem a modell határfeltételei, sem a bemenő paraméterei nem adhatók meg pontosan.

3.4.1 Extrém események

Gyakoribbá válnak-e a globális melegedéssel a szélsőséges éghajlati események? A globális melegedés folyamata elméletileg három séma szerint történhet:

- 1) Az átlaghőmérséklet eltolódásával a szokásosnál melegebb időszakok gyakorisága megnövekedik, míg a hűvösebb időszakok aránya csökken.
- 2) A változékonyság nő, az átlagérték nem változik. Ekkor szimmetrikusan mind a meleg/hideg időszakok, mind a rekord meleg/rekord hidegek gyakorisága növekszik.
- 3) A hőmérsékleti átlagértékek és változékonyságok együttes növekedése esetén jelentős mértékben nő a meleg, illetve rekord meleg időszakok gyakorisága, míg a hideg eseményeké arányosan lecsökken.

Vajon a fenti sémák közül melyik jellemzi a 20-21. századi klímaváltozásokat?

Szinte minden héten hallunk a rádióban, televízióban óriási árvizekről, földcsuszamlásokról vagy nagy erejű tornádók, illetve hurrikánok pusztításairól. Úgy tűnik, mintha gyakoribbak lennének a szélsőséges éghajlati események, az ún. klímakatasztrófák, mint korábban. Az éghajlati katasztrófák okozta károk egyértelmű növekedése figyelhető meg a 20. század során.

Vajon csak látszat ez a növekedés, vagy van valóságalapja? Esetleg csak annak a következménye, hogy egyre sűrűbben lakott a Föld, s egyre drágábbak a klímakatasztrófák során megsemmisült ingatlanok és más vagyontárgyak? Ezeknek a kérdéseknek a megválaszolásához objektíven mérhető mutatókra van szükség.

Ha az átlaghőmérsékletek eltolódása hatással van az emberi társadalmakra és a különböző ökoszisztémákra, akkor az extrémértékek megváltozásának értelemszerűen akár hatványozott következményei is lehetnek ezekre a rendszerekre. Ennek jegyében szerte a világon számos nagyobb térségre vonatkozó klíma-extrém vizsgálat indult, melyek egy széleskörű nemzetközi összefogáshoz vezettek. 1997. június 3-6. között került sor az amerikai Észak-Karolina állambeli Asheville-ben az *Éghajlati extrémumok indexei és indikátorai* című munkakonferenciára, melynek fő céljai között szerepelt annak meghatározása, hogy milyen egységes adatbázis és milyen extrémindexek lennének a legalkalmasabbak az éghajlati szélsőségek változékonyságának vagy esetleges nagytérségű tendenciáinak vizsgálatára.

Az elemzésekhez 15 hőmérsékleti és 12 csapadékindexet definiáltak, melyeket napi maximum-, minimum- és középhőmérsékleti, valamint napi csapadékösszegek idősorainak segítségével határozhatunk meg. A globális és európai vizsgálatainkhoz 350, illetve 140 állomás adatait, míg a Kárpát-medence extrém csapadék és hőmérsékleti analíziséhez 21 hazai és 10 külföldi állomás idősorait használtuk fel. A 20. század extrém tendenciáinak összehasonlító elemzéséből egy-két példát mutatunk be.

A több mint húsz extrémindex jelentős hányada vagy valamilyen küszöbérték túllépésének a gyakoriságát, vagy valamilyen szint feletti tartózkodás időtartamát elemzi. Az előbbire példák a fagyos napok évi száma, a nyári napok évi száma, a hőségnapok évi száma, a 20 mm-t meghaladó csapadékú napok évi száma stb. Az utóbbiakra pedig a hóhullámok évi összhossza, a vegetációs periódus évi hossza, a száraz időszakok évi összhossza, stb.

A hőmérsékleti extrém paraméterek mind földi, mind európai, mind kárpát-medencei térskálán egyöntetű melegedő tendenciát mutatnak a teljes 20. századra vonatkozóan, ami például földi skálán a fagyos napok számának csökkenését az európai térségben pedig a hóhullámok hosszának növekedését jelenti.

Annak ellenére, hogy a 20. században a Kárpát-medence régiójában a lehullott évi csapadék mennyisége fokozatosan csökkent, az extrém csapadékok gyakorisága mégis megnövekedett. Jól emlékezünk még az 1998-2002 közötti időszak heves árvizeire. A Kárpát-medencében valóban nagyon számító 20 mm-t meghaladó csapadékú napok száma nagyon jelentősen növekedett az utolsó negyedévszázadban, ami valószínűsíti az extrém csapadékok növekedő gyakoriságát.

A 21. századra vonatkozó modellbecslések szintén a 24 órás extrémcsapadékok számottevő gyakoriságnövekedését jelzik, azaz egy-egy szélsőségesen nagy csapadék ún. visszatérési periódusának hossza csökkenni fog.

3.4.2 A hirtelen változás lehetősége

A Földtörténet során már többször is volt arra példa, hogy a Föld egy nagyobb régiójában gyors lefolyású éghajlatváltozás következett be. A pleisztocén kor legutolsó eljegesedési periódusa becslések szerint 100.000-110.000 éven át tartott. Ennek végén, a melegedési periódust megszakítva ékelődött be a Felső-Dryas hideg időszak, melynek hossza megközelítően 1100-1300 év volt. A Felső-Dryas egy nagyon hirtelen melegedéssel fejeződött be, grönlandi jégfuratminták alapján ennek mértéke meghaladta az évtizedenkénti 5 °C-ot. A tudósok feltevése a Felső-Dryas kialakulásáról az, hogy az interglaciális melegedés során Észak-Amerika hirtelen olvadó jégtakarója leállította a Golf-áramlást, ami jelentős lehűlést eredményezett az észak-atlanti térségben. Ennek éghajlati következményeit Euráziában számos helyen megtalálták (a skandináv tülevelű erdőket tundrák váltották fel, a magashegységekben intenzív hófelhalmozódás és gleccserképződés jelentkezett).

Van-e esély napjainkban a Mexikói-öbölből induló és az Atlanti-óceánt átszelő Golf-áramlat gyors leállítására? A Golf-áram délnyugatias hőszállítása egyértelműen melegíti (5-7 °C-kal) az észak-atlanti térséget, s vele együtt Európát is. A Világóceán mélytengeri és felszíni áramlásainak rendszere az ún. óceáni szállítószalag egyedüli jelentős leáramlási zónája az Atlanti-óceán északi részén található. Az áramlás jellege elsődlegesen termohalin, ami azt jelenti, hogy a hőmérsékleti (termo) és a

sótartalombeli (halin) különbségek kiegyenlítődésére irányul. A hidegebb és nagyobb sókoncentrációjú sűrűbb víz lesüllyed az észak-atlanti térségben. A globális melegedés következtében jelentős mértékben olvadó sarki jég csökkentheti a leáramlás mennyiségét és intenzitását az olvadó jég alacsony sótartalma miatt, ami elméletileg legvégső esetben akár az áramlás leállításához is vezethet. Az elmúlt három évtizedben kimutatható egy kismértékű, s ellenkező előjelű sótartalom-változás a trópusi vizekben és az észak-atlanti térségben.

Az észak-atlanti térség óceáni vízáramlás-erősségének szimulációiból látható, hogy a modellek egy hányada a 21. század második felétől már a vízáram jelentős csökkenését prognosztizálja. Egyértelműen látszik az is, hogy a 21. század végéig egyik modell sem feltételezi a Golf-áram leállítását. (Ez a tény természetesen adódhat a modell fizikai korlátaiból is.) Más kiinduló állapotokból indítva a modellezést, s feltételezve az óceáni szállítószalag felbomlását a vonatkozó modell térképe az erre az esetre becsült globális hőmérsékletváltozást eltérően jelzi. Az északi féltekén egyértelmű hűlés (észak-atlanti maximumértékekkel), a déli féltekén egyértelmű melegedés várható. A globális melegedés epizódjaként bekövetkező időszakos lehűlést követően évek, esetleg évtizedek telhetnek el, míg az óceáni áramlás átrendeződve újraindul. Ezután a globális melegedés tovább folytatódik mindaddig, míg az antropogén eredetű üvegházgáz-kibocsátás le nem csökken. Az ilyen típusú éghajlati eseményeknek az esélye azonban hihetetlenül kicsi, és semmiképpen sem egyik napról a másikra történnek.

3.5 Az előrejelzés kritikái

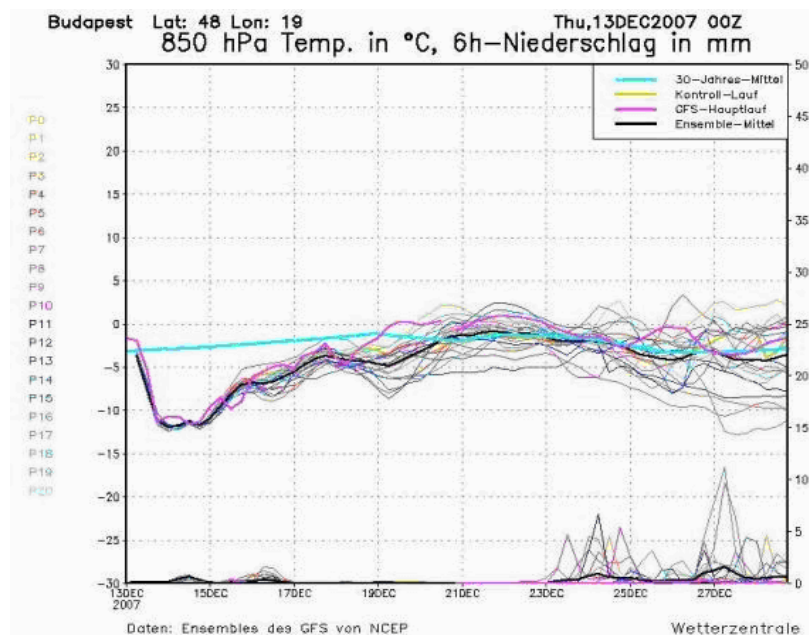
3.5.1 Klímaszkeptikus állásfoglalás

Az IPCC és más klímamodellek is értekeznek bolygónk bonyolult ökoszisztémájáról arra, milyen kétséges is tendenciákat levonni a jövőre nézve. Az IPCC negyedik jelentésében az Észak-atlanti áramlat leállása esetén is legfeljebb megtorpanást prognosztizál Európa klímájára nézve. Számos más klímamodellel ezzel vitatkozik, vagy gondoljunk a 2004-es CIA forgatókönyvre, amely egy új jégkorszakot prognosztizált, hatalmas pánikot és a közismert „*The day after tomorrow*” (Holnapután) című filmet produkálva. Sajnálatos módon számos klímamodellel, klimatológusok és főként sajtóorgánumok, politikusok hajlamosak a jövőbeli tendenciákkal kapcsolatban levont következtetésekről kijelentő módban beszélni. Álljon itt példaként a Geo

magazin 2007. szeptemberi számából egy idézet: „*ami biztos: Dél-Spanyolország fokozatosan sivataggá alakul*”. Józan ésszel is beláthatjuk, mennyire megalapozatlan ez a mondat. Ugyanezen magazinban pár sorral lejjebb már a következő mondat található: „*A világ éghajlata, az ökológiai rendszerek, valamint az emberi tevékenységek kölcsönhatásai olyannyira összetettek, hogy lehetetlen számítógépes programokkal egyértelműen előrejelezni*”. Ez a mondat az előző éles cáfolata! Szerencsére az IPCC nem használ ilyen kijelentéseket, a tendenciák előrejelzésénél leggyakrabban a „*likely*”, „*very likely*”, „*unlikely*” – „valószínű”, „nagyon valószínű”, „nem valószínű” kifejezéseket használja, pedig szemmel láthatóan a legbonyolultabb matematikai modellek eredményeit mutatja be. Éppen ezért az egész tanulmány egy irodalmi értekezés hangulatát idézi. Láthatjuk a különböző modellek előrejelzésének szélsőértékeit: Az IPCC éghajlatmodelljei szerint a Föld felszíni hőmérséklete 1990 és 2100 között 1,1–6,4 °C-kal nőhet. A skála már önmagában is igen széles terjedelmű. Számításba kell vennünk, hogy a klimatológia és a meteorológia az egyik legfiatalabb tudományunk. Mért adataink leginkább csak az utóbbi évszázadból vannak. Azt sem tudhatjuk, hogy az utolsó jégkorszak utáni interglaciális időszak melyik szakaszában járunk éppen. A múltbeli klímára és légkörre jóformán csak az antarktisi és grönlandi jégtakaróban történt kísérleti fúrásokból, régészeti, geológiai adatokból, fossziliákból, történelmi leírásokból következtethetünk. E kutatás feladata egy igen fiatal tudományág, a paleoklimatológia feladata. A klímaváltozás szélsőséges következményeinek igazolására szokták felhozni érvként az észak-amerikai hurrikánszezon szokatlan aktivitását. A korábbi évszázadok hurrikán-aktivitásáról azonban semmilyen információval nem rendelkezünk. Nem tudjuk, milyen évtizedes, évszázados ciklusokban ingadozik a trópusi ciklonok gyakorisága, intenzitása. Elgondolkodtató tény, hogy a földtörténeti időkben a pólusok gyakrabban voltak jégmentesek, mint jéggel borítottak. Ebbe a megvilágításba helyezve úgy is tűnhet, hogy a jelenlegi klíma nevezhető „abnormálisnak”. A múltbeli klímaváltozásokra szolgálhatnak bizonyítékul az egykori Pannónia provincia területén található római vízvezetékek: ha a XVI. századtól a hozzávetőlegesen az 1950-es évekig tartó „kis jégkorszak” klímája jellemezte volna a Kárpát-medencét, akkor ezek a vízvezetékek nem épülhettek volna meg, hiszen télen szétfeszítette volna őket a megfagyott víz. Ebből logikusan következtethetünk arra, hogy az ún. római klímaoptimum idején a mai Magyarország területén a gyenge fagy is ritka lehetett. A rómaiak jellemzően addig terjeszkedtek,

amíg a legfontosabb mezőgazdasági terményeik (pl. a szőlő) megtermelhető volt. Ez a mai Skócia határáig húzódhatott, de még 1450 tájáról is szólnak oklevelek az észak-angliai Yorkshire környéki szőlőművelésről.

Érdekes megfigyelni a klímaváltozás híreinek a társadalmat érintő tudatformáló erejét: Magyarországon a közvélemény nem emlékszik az új évezred rendkívül hidegnek számító teleire és határozottan enyhe teleket említ, holott még a rendelkezésre álló 100 éves adatsorokból is kitűnik, hogy az '50-es, a '70-es évek telei jóval enyhébbek voltak az átlagosnál. (OMSZ Éghajlati Osztály adatai) Az emlékek torzítanak. Jellemző szemlélet például, hogy „régen mekkora telek voltak, leesett a hó novemberben és el sem olvadt márciusig!” Ilyen a „fehér karácsony” divatja, pedig a karácsonyok többségén nem fordult elő számottevő hótakaró. [3.9]



3.8. ábra: Időjárás előrejelzés, GFS ENS diagram (forrás: <http://www.wetterzentrale.de>)

Jogosan vetődhet fel bennünk a kérdés, hogyan lehetne 50-100-200 évre előrejelezni bolygónk éghajlatát, ha sokszor az 5 napos meteorológiai prognózis sem válik be. A meteorológiai előrejelzés lehetőségének elméleti határa is 14 nap jelenleg. A különböző numerikus (matematikai) előrejelző-modellek, mint például a GFS (Global Forecasting System) is kéthetes prognózisokat számít. Még ezen időszakra is 20 modellfutást jelenít meg, amelyek az időszak vége felé egyre jobban széthúznak. (3.8. ábra)

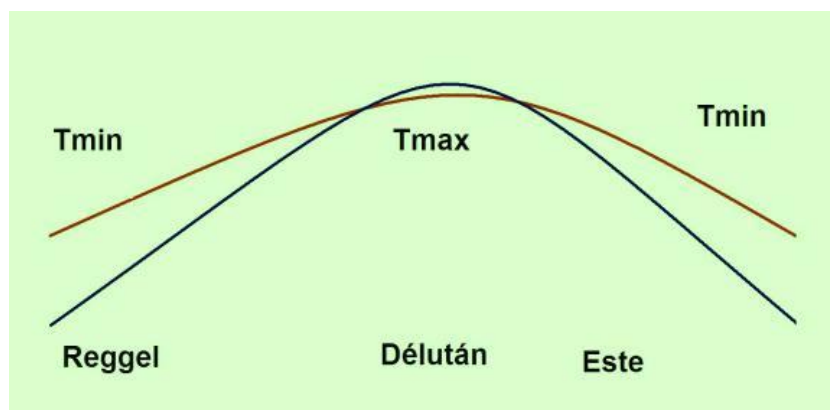
Pedig a modell nem is a földfelszíni hőmérsékletet jelzi előre, hanem az atmoszféra azon magasságát, ahol a légnyomás 850 hPa értéket vesz fel. Ebben a légrétegben jóval stabilabb hőmérsékleti viszonyok uralkodnak. Az időjárás márpedig nem matematika, említhetjük a „*lepkeszárny-effektust*”, vagyis ha mondjuk az Alpokban egy lepke szárnya meglibben, akkor lehet, hogy olyan apró légáramlatot indít el, amely láncreakcióként terjedve az egész Föld időjárására hatással lehet.

A klímamodellek fajtái a hidrodinamikai, numerikus (matematikai), globális, regionális, általános cirkulációs és az előrejelző modellek. Természetesen ezek mindegyikének pontossága folyamatosan javul, azonban merész jóslás velük évtizedekre előre következtetni. A múltbeli és a jelenlegi meteorológiai mérések pontossága is vitatható, ennek egyik oka a kevés adatsor, ezek is csak az utóbbi néhány évtizedből. Ezek a mérési pontok is zömmel nagyvárosi területeken találhatók és, mint ismeretes, a XX. században is jelentős volt az urbanizáció, valamint a szuburbanizáció is jelentősen növelte a beépített területek számát. Úgy tűnik, az egész világ meteorológusai mintha megfélemedtek volna a városi hőszigetek létéről és az urbán hőszennyezés helyi klímaalakító tényezőjének jelentőségéről.

Ez egyértelműen látszik az Országos Meteorológiai Szolgálat Magyarország éghajlatáról szóló tanulmányából is: egy diagramon szemlélteti az elmúlt évszázad teleinek leghidegebb hőmérsékleti értékeit, valamint a 20°C fok feletti minimumú éjszakák évi számát Budapest–Pestszentlőrinc meteorológiai állomáson. A grafikonon megjelenő jelentős emelkedést kételkedés nélkül az éghajlatváltozás hatásának tudják be. Azzal nem számolnak, hogy 100 év alatt milyen jelentős mértékben emelkedett a környéken a beépítettség. Márpedig a falak, fűtött épületek, aszfalt, stb. hőkibocsátása éppen télen, és éppen az általában a leghidegebb minimumhőmérsékletet eredményező, szélcsendes, derült, anticiklonos éjszakákon érvényesül leginkább. A nyári nappali besugárzást pedig köztudottan ontja magából éjszaka a beépített környezet. Szélsőséges esetben a nagyvárosok léghőmérséklete 10-12°C fokkal is magasabb lehet környezetüknél. Ha az OMSZ ezt az adatsort kritika nélkül az éghajlatváltozás hatásának tudja be, és egyetlen más, vidéki állomás adatsorát sem vizsgálja meg egy komolyan szánt elemzésben, akkor jogosan vetődik fel a kérdés, hogy ez máshol, más országokban vajon előfordulhat-e? Ezzel bizonytalanná válnak a XX. század középhőmérsékleti adatsorai, amelyekre a 0,8 fok körüli globális felmelegedést alapozzák.

További bizonytalansági faktort eredményeznek a mikroklimatikus tényezők, amelyeknek oka egy, a meteorológusok többsége számára nem kellőképpen ismert, ellenben rendkívül egyértelmű jelenség, amely ismeretének hiányossága, mivel nem veszik kellőképpen figyelembe a meteorológusok, például Magyarország klímájának totális félreértelmezéséhez vezetett.

Bizonyára a hétköznapokban is tapasztaltuk, hogy akár a vízhez hasonlóan a hideg levegő sűrűbb, nehezebb, ezért a gravitáció hatására a légoszlop legalján helyezkedik el a leghidegebb levegő. A légréteg melegedése a nappali besugárzás hatására viszont a Föld felszíne felől történik, mivel a sűrűbb közeg, vagyis a szilárd felszín és a sűrűbb levegő a napsugárzás hatására hamarabb felmelegszik. Ez a magyarázata annak, hogy nappal a felszínközeli, vagyis egyben az alacsonyabb tengerszint feletti magasságú területek produkálják a legmagasabb hőmérsékleti maximumokat. Azonban a naplementétől a napfelkelte utánig terjedő időszakban a troposféra kihülése megy végbe. Ez azt jelenti, hogy a leghidegebb levegő a legmélyebbre süllyed. Ez egy rendkívül egyszerű gázfizikai jelenség, amely egy térség bármely egyéb klímaalakító tényezőjétől független. A troposzférában ezért a hőmérséklet napi járásában a legnagyobb szélsőség a felszínen, a mélyen fekvő területeken jellemző. Felfelé haladva a napi középhőmérséklet folyamatosan csökken, azonban a napi hőingás is.



3.9. ábra: a hőmérséklet napi menete fagyzugban (kék) és dombi pozícióban (piros)

A fenti tényezők legtöbbször a szél átkeverő hatásától és a felhőzet kisugárzást akadályozó hatásától mentes, tehát szélcsendes, derült hajnalokon jellemzőek. Ilyenkor megfigyelhető, hogy a légoszlop aljától a minimumhőmérséklet felfelé emelkedik, (majd lassan ismét csökken). Ezt nevezzük kisugárzási hőmérsékleti

inverzióknak. Ezért tehát a legenyhébb minimumok a közhiedelemmel ellentétben nem a legmélyebben fekvő területeken fordulnak elő. Ez magyarázza, hogy az Alföld hőmérsékleti minimumai sokszor a Kékes értékeinél is hidegebbek, míg a nappali csúcshőmérséklet általában kb. 10°C fokkal magasabb az előbbi területen. Az inverzió a napi középhőmérséklet alakulásában is jelentős szerepet játszik. A nappali felmelegedés egy alacsonyabb értékről indul a mélyebben fekvő területeken, míg a besugárzás hatására rövid időre magasabb értéket tetőzik, mint a terület feletti néhány száz méteres légréteg hőmérséklete. A maximum elérése után ismét fordított helyzet áll elő (3.9. ábra). Így az inverziós helyzet fennállása esetén a napi középhőmérséklet sem a legalacsonyabban fekvő területeken a legmagasabb.

A fentebb részletezett jelenség értelemszerűen a relatív tengerszint feletti magasság függvénye. Tehát a legmagasabb minimumhőmérséklet és a legmagasabb napi, ebből következően havi, évi középhőmérséklet a legalacsonyabban fekvő terület fölötti légréteg bizonyos magasságában jellemző. Magyarország 100-130 m-es síkságai esetén ez a magasság 200-350 m körüli. Tehát a legenyhébb minimumokra és a legmagasabb napi középhőmérsékletekre az ebben a magasságban lévő, környezetükből kiemelkedő dombokon számíthatunk. A leghidegebbre pedig a legmagasabban fekvő területek legalacsonyabban fekvő völgyeiben, medencéiben, mivel ezeken a területeken már a nappali maximum is alacsonyabban alakul, a leghidegebb levegő pedig az adott terep legmélyebb területeire süllyed. Még rosszabb, ha ezen területeknek rossz a „lefolyása” a mélyebben fekvő tágasabb síkságokra, így a leghidegebb levegő „megüli” a völgyet, medencét. Ennél is rosszabb, ha ez köddel is párosul, ez a következő nappali felmelegedést is akadályozza, így a hideg levegő mintegy konzerválódik, megreked. Az ilyen területeket nevezzük fagyzugoknak. Szélsőséges fagyzugokra hazai példa a középhegységek völgyei, de az ország területén bárhol előfordulnak kisebb-nagyobb fagyzugok a relatív szintkülönbségtől és a mélyedés területi kiterjedésétől függően.

A legenyhébb minimumú és egyben a legjobb fagylefolyású területek a síkságból kiemelkedő domború felületű dombok déli kitettséű lejtői, mivel a nappali besugárzás szöge itt a legnagyobb, tehát az éjjeli lehűlés is egy magasabb értékről indul. A legtöbb besugárzást egy közepes lejtésű, kb. 45°-os déli lejtő kapja (a síkság közvetlen sugárzásból jutó energiamennyiség évi 136%-át). Ezen mikroklimatikus jellemzőkből adódó különbségek egy észak-déli irányban kisebb kiterjedésű, zárt medence jellegű országban felülmúlják a mezoklimák, vagyis adott régiók klímájának

különbségeit. Szélsőséges esetben az inverzió a minimumok 10-15 C fokos szóródását is eredményezheti az országban. Mivel az év folyamán jelentős a derült éjszakák száma, és az inverzió következtében a környezetüknél alacsonyabban fekvő tereppontok hőmérséklete a nap 24 órájából mintegy 20 órában jelentősen elmarad az átlagos, vagy jobb fagylefolyású, magasabb pontok hőmérsékletétől, az évi középhőmérsékletben jelentős különbség mutatható ki, amely különbségek nagyobbak két, egymástól távoli, de analóg fekvésű mérőpont értékénél.

Álljon itt egy példa néhány magyarországi település 2006 évi középhőmérsékletéről, de bármelyik évet nézve hasonló következtetéseket vonhatnánk le: az egymástól alig 20 km-re lévő Bataapáti: 9,8 °C (120 m tengerszint feletti magasság) és Tevel 11,26 °C (200 m tszfm.), Nagykanizsa 10,15 °C (143 m), valamint a Pécs melletti Pogány 10,88 °C (203 m), a szlovéniai Lendva/Lendava 10,8 °C (190 m) Miskolc 10,0 °C. Jól láthatjuk, hogy az egymástól legkisebb távolságra lévő két település évi középhőmérsékletének különbsége 1,46 °C, míg az egymástól lényegesen nagyobb távolságra lévő Pogány és Miskolc közti különbség csak 0,88, vagy Nagykanizsa és Miskolc esetében csak 0,15 °C (OMSZ adatok).

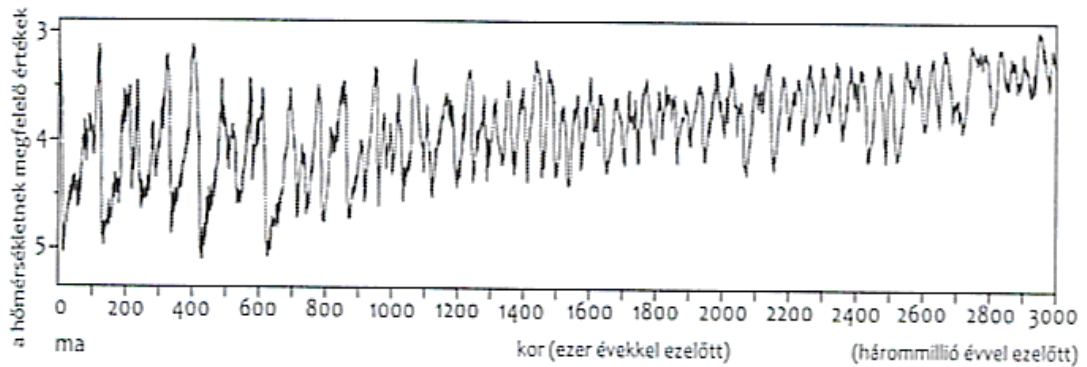
Éppen az ilyen különbségek miatt kellene minden meteorológiai mérőállomást az adott térség lehető legátlagosabb fekvésű pontjára telepíteni, ilyen koncepció azonban az OMSZ mérőhálózat esetében csírájában sem megfigyelhető, így évtizedek óta torz klimatológiai képet festenek egy egész országról. Baranya megyét például szinte kizárólag dombra telepített, városi mérőállomások képviselik, míg Zala megyét kizárólag völgyfenéki települések klímaadatai. Ebből olyan merész következtetést vontak le és jelentettek meg klímaatlaszokban, középiskolai földrajzi atlaszokban, klimatológiai tanulmányok sorozatában, hogy Baranya melegebb, sőt, „szubmediterrán klímajegyekkel bíró”, míg Zala hűvös, a fagyos napok magas száma jellemzi. (Varga János klimatológus mérései, megfigyelései) Több mérőállomást áttelepítettek az elmúlt években, mint Miskolc esetében, ahol völgyből beépített dombtetőre helyezték át az állomást, többek között emiatt az OMSZ Magyarországról írt éghajlati jellemzésében azt olvashatjuk, hogy az északkeleti és a nyugati országrész középhőmérséklete az átlagnál jobban emelkedett a klímaváltozásnak köszönhetően.

3.5.2 A bizonytalanságok

Sajnos a globális felmelegedés problematikájához ma nehéz és „veszélyes” a természettudományban kötelező objektivitással közelíteni. Egy-két évtized alatt ez olyan „dogmává” vált, amelyért vér folyik az utcán, s a vele kapcsolatos tüntetések során rohamrendőrök is bevetésre kerülnek. Bjorn Lomborg, a Dán Környezetvédelmi Értékelő Intézet igazgatója szerint: „*Aki ma nem támogatja a globális felmelegedésre kínált radikális megoldásokat, azt a társadalom kiveti magából, felelőtlennek és az olajlobbi kiszolgálójának tekinti*”. [3.10] Bár mintha újabban több kritikus hang hallatszana a szóban forgó kérdéssel kapcsolatban, egyes folyóiratok esetében épp a klímaváltozás tárgykörében is [3.11].

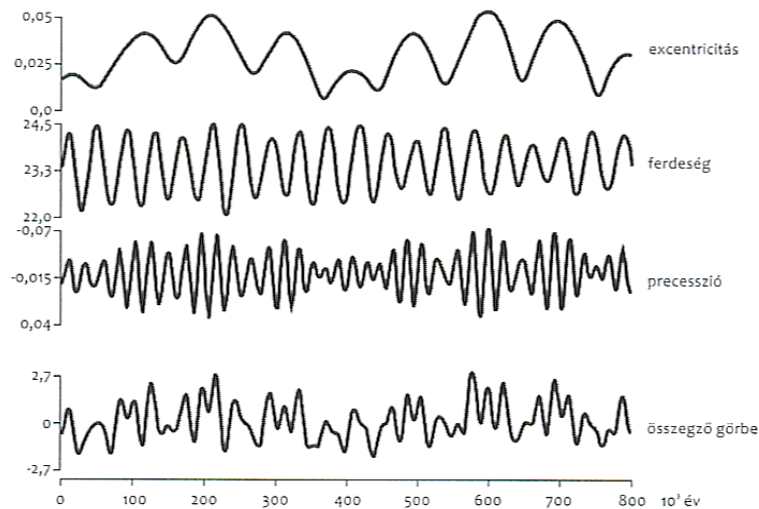
Mindenképpen elgondolásra kell, hogy késztesen mindenkit, hogy nemrég harmincegyezer tudós írt alá egy petíciót, „*amely kétségbe vonja, hogy a globális felmelegedés emberi tényezők következménye*”. Az együttesen közel kétszázezer tagot tömörítő Európai és az Amerikai Fizikai Társaság pedig 2009. november 30-án nyilatkozatot tett közzé: „*...a klímával kapcsolatos kérdés komplexitása [...] nehezzé teszi a pontos előrejelzéseket...*” [3.12]. Továbbá a Föld évének legfontosabb üzenete: A Föld környezeti gondjai nem egyszerűsíthetők le egyetlen problémára, a globális felmelegedésre.

Ma már több módszer is van, amelyek segítségével a kor- és hőmérséklet-meghatározás kombinálásával többé-kevésbé, meglehetősen biztonsággal megállapíthatóak mintegy hárommilliárd évre visszamenőleg a különböző földtörténeti korokban a hőmérsékleti viszonyok (sőt más éghajlati elemek viselkedése is nyomon követhető). Természetesen az egyes módszerek hibája különböző, és ismereteink bizonytalansága is változik a hőmérsékletre vonatkozólag az egyes földtörténeti korokban, illetve ezen korszakok bizonyos szakaszaiban is változó. Minél messzebb megyünk visszafelé az időben, ezek az adatok általában annál pontatlanabbak.



3.10. ábra: A hőmérséklet változása a Földön [3.13]

Példaként nézzük a 3.10. ábrát, amely az elmúlt hárommillió évre vonatkozólag mutatja be a földi átlaghőmérséklet változását. Az első dolog, amit az ábra alapján megállapíthatunk, hogy a hőmérséklet, és ennek megfelelően a klíma, állandóan változik. A kissé pontosabb vizsgálat azt is mutatja, hogy a változások egy része periodikus vagy legalábbis kvázi-periodikus.

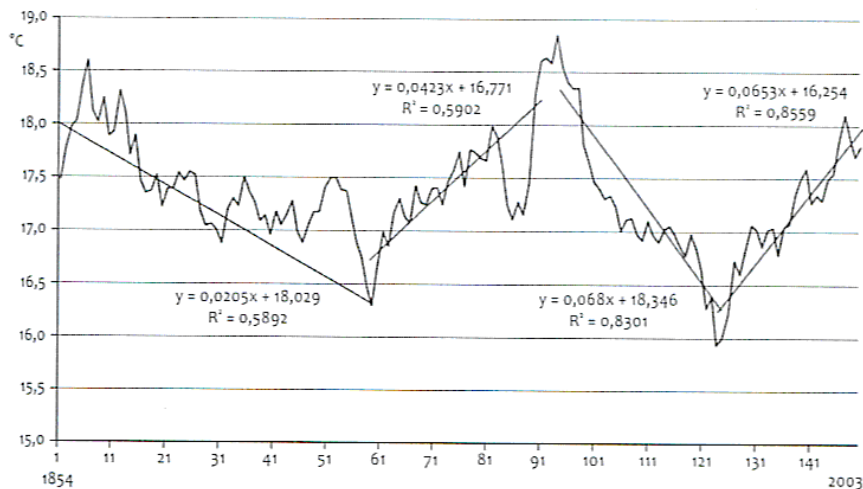


3.11. ábra: A Föld pályaelemeinek változása alapján számított hőmérsékletváltozások [3.14]

Másrészt megállapíthatunk hosszabb távú aperiodikus változásokat is: egészen a legutóbbi 600-800 ezer évig tendenciaszerűen a hőmérséklet csökkenését láthatjuk (amelynek oka különben ismeretlen), majd ettől kezdve a hőmérséklet – megint csak tendenciaszerűen – nem csökkent, de a szuperponálódott változások amplitúdója növekedett az előző szakaszhoz képest. A fentiekből látjuk tehát, hogy klímaváltozások állandóan, folyamatosan jelen voltak a Föld története során.

Hogy a periodikus változások honnan erednek, és egyáltalán, a meglehetősen szeszélyesnek tűnő változásnak többek között mi az oka, azt – legalább részben – jól szemlélteti a 3.11. ábra.

Bizonyos szeszélyesnek látszó, de periodikus változásokat a Föld pálya- és tengelyirány-módosulásai okozzák. Látható, hogyha van is emberi hozzájárulás a klímaváltozáshoz (erre vonatkozólag lásd a későbbieket), a változások alapvetően embertől független, kozmikus erők hatására történnek. Ezek egy részét ismerjük (lásd a 3.12. ábrát), de számos továbbit valószínűleg nem ismerünk.

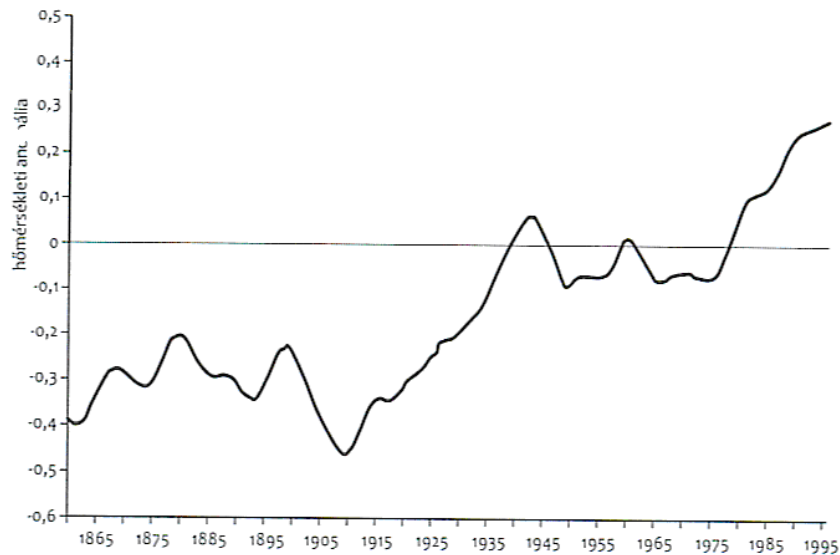


3.12. ábra: *Hőmérséklet változás Debrecenben 1854 és 2003 közt az év nyári szakaszára [3.15]*

Hogy csak egy ilyen lényeges kérdést említsünk, nem ismerjük például a földtörténet során jelentkező 10-100 millió éves jégkorszakok („hűtőház”) okát (ismereteink szerint legalább négy ilyen fordult elő a Föld történetében). Olyan megállapítások tehát, mint például az a kijelentés, hogy „...az időjárás nagyléptékű alakítói a múlt század ötvenes éveitől mi magunk vagyunk...” [3.16] a második világháború utáni „nagy természetátalakító tervek” emlékeztet, amikor a folyók folyási irányát is meg akarták változtatni, és azt gondolták, hogy bármit megtehetnek a természetben és a természettel. A fenti kijelentés tehát erre a magatartásra emlékeztet – csak negatív változatban.

Visszatérve a fenti ábrákra, bármilyen meglepő, de tagadhatatlan, hogy akár hőmérséklet-emelkedést, akár csökkenést meg lehet állapítani – különösen rövid időtartamokra – tetszés szerint (lásd például a 3.12. ábrát), attól függően, hogy milyen időtartamot választunk. Az ilyen megállapításoknak tehát, hogy például „...1981-2000

között a globális hőmérséklet 0,7 °C-kal nőtt...” szinte semmitmondóak [3.17], mert könnyű – akár a közelmúltban is – hasonló periódusokat találni, amelyek során a hőmérséklet a mostaninál még gyorsabban emelkedett. Másrészt viszont 1945-1975-ig egy olyan hideg átlaghőmérsékletű periódus következett be (lásd a 3.13. ábrát), hogy szélteben-hosszában „jégkorszak” beköszöntéséről beszéltek, cikkeztek világszerte.

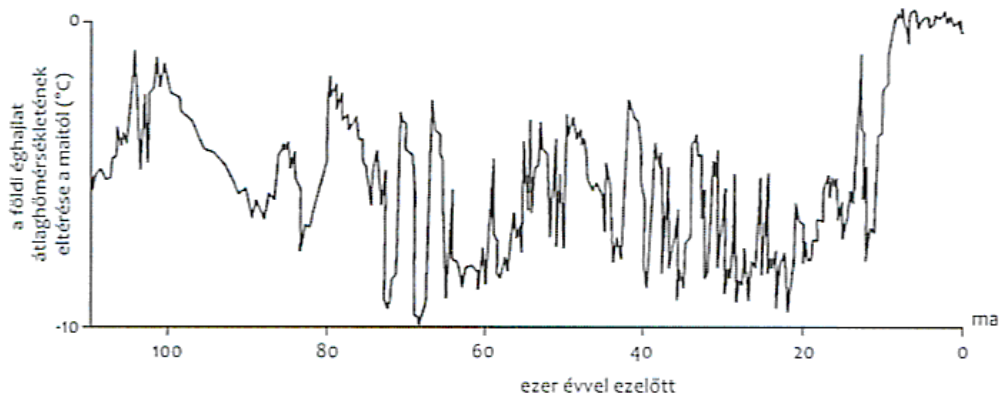


3.13. ábra: A globális hőmérséklet változása 1860-tól napjainkig (WMO No838.1995)

Hasonló a helyzet, amikor ilyeneket olvashatunk, hogy például a hőmérséklet napjainkban „...messze magasabb, mint az utóbbi 650 ezer évben bármikor.” [3.17] A 650 ezer év egyébként kevesebb, mint a földtörténet mintegy két század százaléka. Tegyük hozzá, hogy hasonlóan magas értékek a középkorban is előfordultak az első ezredforduló környékén. Másrészt, ha csak a 3.10. ábrára tekintünk, láthatjuk, hogy ha a 650 ezer éven túl megyünk visszafelé, bizony találhatunk magasabb vagy ugyanilyen magas értékeket is, mint a maiak. Nem beszélve arról, hogy a „...kréta időszak idején a globális átlaghőmérséklet 10 °C-kal haladta meg a jelenlegit.” [3.14]. Az okát ennek sem ismerjük, mint ahogy az un. „hólabda-elmélet” szerint a Föld története során megvalósult globális eljegesedés okát sem, amely utóbbi esetleg többször is bekövetkezhetett, amikor is a Föld felülete egészen eljegesedett. Ennek létrejöttét bizonyítja, hogy Afrikában is találtak erre utaló nyomokat. Egyébként annak okát sem ismerjük, hogy végül is hogy és miért ért véget ez a periódus.

Ami tehát egyértelmű, hogy a Föld klímája állandó változásban van, hol gyorsabban, hol lassabban váltakozik. Tehát amikor globális klímaváltozásról beszélnek manapság, ebben lényegében nincs semmi különösebb újdonság, hacsak az nem, hogy

most jöttünk rá, vagy legalábbis most került előtérbe a földi klíma állandó változásának a ténye. Másrészt viszont napjainkban nemcsak globális klímaváltozásról, de elsősorban globális felmelegedésről van szó. Különben fontos itt megemlíteni, hogy egészen kb. a 19. század végéig valóban változatlanok tekintették az éghajlatot. Ez pedig azzal függ össze, hogy a legutóbbi mintegy tízezer évben a földtörténet előző korszakaihoz képest közelítőleg – meglepően – konstans volt a Föld klímája (lásd a 3.14. ábrát).



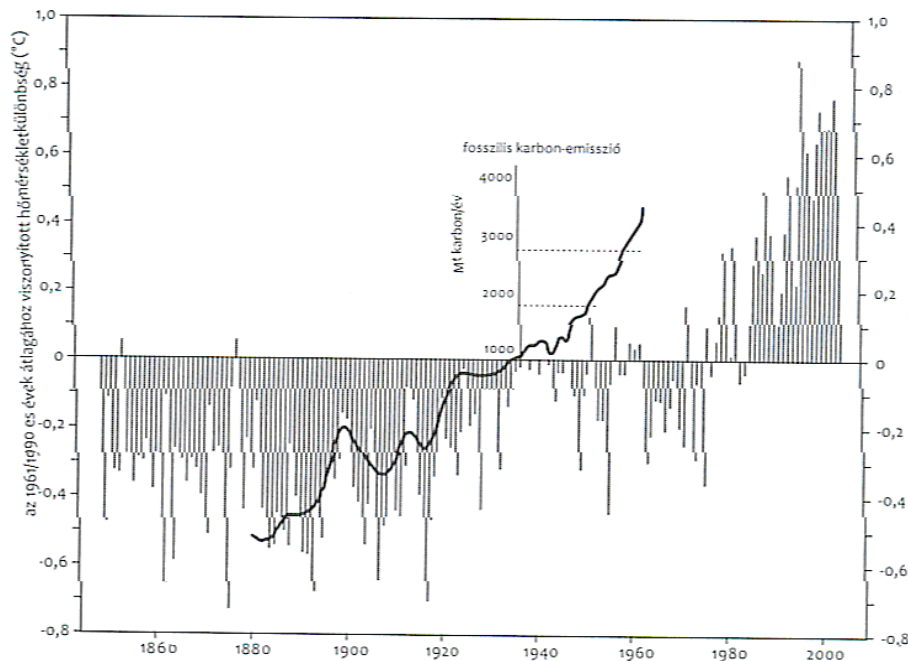
3.14. ábra: A Föld átlaghőmérsékletének eltérése a maitól az utolsó százezer évben

Bizonyára nem véletlen, hogy a Föld – részben még ma is „virulens” – nagy kulturái éppen ebben az időszakban tudtak kifejlődni. Végül azt is meg kell jegyeznünk, hogy erre a viszonylagos stabilitásra sem ismeretes a magyarázat, mint a földtörténet folyamán bekövetkezett – és az előbbieken már említett – számos más globális éghajlatváltozásra sem. Érdekes megemlíteni különben, hogy a világmindenséget is egészen a 20. század elejéig statikusnak tekintették, valójában csak a század második felében „nyert polgárjogot” a tudományban az ősrobbanás-elmélet.

Az előbbieken már láttuk, hogy a földi klíma állandó változásban van. Láttuk azt is, hogy ennek okait csak részben és hiányosan ismerjük, esetleg csak többé-kevésbé megbízható feltevésekre vagyunk utalva.

Ám kétségtelen: a Földtörténet során a hőmérséklet változása és a légkör CO₂ (és más ún. üvegházi gázok, mindenekelőtt a vízgőz, a CH₄ és N₂O, stb.) tartalma többé-kevésbé együttmozogni látszik. Hangsúlyozzuk, hogy többé-kevésbé. Mert például „...a. nem kiugróan meleg kambrium elején a szén-dioxid-tartalom a mai érték tizennyolcszorosa volt, míg a jóval melegebb kréta időszakban csupán hatszorosa” (Császár et al., 2008). Jelenünkhöz közeledve: „Ugyancsak problémás egyértelműen

magyarázni a 15-18. század folyamán, az ipari forradalom előtti globális és Kelet-Európában tapasztalt lehűlést, amely kb. $1,5^{\circ}\text{C}$ tartományban mozgott." [3.19] Vagy: a közelmúltban 1940 és 1970 között nőtt a légkör CO_2 -tartalma, a Föld átlagos felszíni középhőmérséklete viszont csökkent (3.15. ábra).



3.15. ábra: A légkör szén-dioxid tartalmának és a földfelületi átlaghőmérséklet alakulása [3.19]

Az alapvető kérdés, hogy mi az oka a szén-dioxid időnkénti felszaporodásának a földtörténet során. [3.20] Tudniillik, ez éppen úgy lehet ok, mint okozat. Szemben azzal a véleménnyel, hogy „...az üvegházhatású gázok koncentrációjának változása okozta a hőmérséklet változását, ez fordítva is lehetett, ugyanis a szerves anyagok bomlásának üteme hőmérsékletfüggő, tehát a hőmérséklet változása is lehet oka a metán és szén-dioxid légköri koncentrációja változásának.” [3.18]

Valószínű, hogy egy pozitív visszacsatolás jellegű folyamatról van szó. De hogyan kezdődik az egész, és főleg, hogy lesz vége? Mindenesetre az is megállapítható továbbá, hogy a CO_2 -koncentráció maximumai egybeesnek a vulkáni tevékenység maximumaival a földtörténet során. [3.14] Az egész mai globális klímaváltozásról szóló „narratíva” azon alapszik, hogy napjainkban az emberi tevékenység következtében nő a légkörben a CO_2 koncentrációja, és ez globális hőmérsékletemelkedéshez vezet. Valójában senki nem tudja biztosan megmondani, hogy végeredményben az utóbbi mintegy százötven évben, illetve az utóbbi harminc évben észlelt koncentrációnövekmény mitől származik, illetve legfeljebb csak becsülni lehet, hogy

hányadrésze tulajdonítható az emberi tevékenységnek. Jól ismeretes, hogy a CO₂-nak számos forrása van: „...a földi vulkáni tevékenység, a biomassza levegőn való bomlása, a kőzetek mállása és az emberiség hozzájárulása a növekedéshez...” [3.19] A vulkánkitöréseknél vízgőz és szén-dioxid, továbbá kén-dioxid, hidrogén-klorid és hidrogén-fluorid is kerül a levegőbe.

Még az egyébként a CO₂ okozta globális felmelegedést elfogadó Czelnai Rudolf is ezt írja erre vonatkozóan: „Az antropogén hatás tudományos bizonyítása azonban nehéz feladat.” [3.21] Ismeretes, hogy a Földtörténet során a vulkánkitörések jelentősen befolyásolták a Föld klimatikus viszonyait. [3.14, 3.22] Nemrégiben például, a Pinatubo vulkán kitörésekor 3-4 W/m² volt a besugárzás csökkenés a Föld felületén (összehasonlítva az un. napállandó értéke 1370 W/m². Ezzel kapcsolatban jegyzik meg a szerzők a [3.14] cikkükben, „...ugyanilyen nagyságrendű melegedéshez az ipari forradalom előtti légköri szén-dioxid tartalom megkétszereződésére lenne szükség, azaz egyetlen vulkánkitörés jelentősebb változásokat képes előidézni, mégpedig nagyon rövid távon”. Igaz, hogy a CO₂ tartalom ma magasabb, mint a legutóbbi 650 ezer évben bármikor (379 ppm), és ugyanez igaz a metánra is, de mintegy 10-15 ezer évvel ezelőtt többfokos (mintegy 8 °C) hőmérsékletemelkedés következett be, hasonlóan intenzív CO₂-tartalom növekedéssel, amikor még emberi hozzájárulásról egyáltalán nem beszélhetünk.

Feltétlenül megemlítendőek itt Reményi Károly megfontolásai [3.19], melyek azon alapszanak, hogy a szén-dioxid emissziós és abszorpciós tényezője a koncentrációval telítettségi görbét mutat. Eszerint a légköri koncentráció növekedésével a CO₂ egyre kevesebbet abszorbeál a sugárzásból, és így az ettől származó felmelegedés jelentősége fokozatosan csökken. Láttuk az eddigiek folyamán, hogy a földi klíma változásának mennyi ismert, kevésbé ismert és – jogosan feltételezhetően – ismeretlen oka van (jogosan, hiszen vannak olyan jelentős megfigyelt változások a klímában, amelyeknek az oka(i) ismeretlen(ek). Ráadásul ezek sokszor ellentétes irányú hatások eredményeként alakulnak ki, az éppen aktuális klimatikus viszonyok, sőt végeredményben az egész folyamat adott esetben kaotikussá is válhat. A fentiek ismeretében felmerül a kérdés, hogy miért a CO₂ (és az üvegházhatású gázok) koncentrációja került előtérbe, és lépett elő mindenféle klimatikus változás szinte egyetlen elismert tényezőjévé. Ennek természetesen többféle oka is lehet, de talán a szén-dioxid-koncentráció viszonylag könnyű számításában/mérésében keresendő az egyik ok. A másik, amit sokan a fő oknak tekintenek, a hőmérsékletváltozás és a CO₂

léggöri koncentrációjának közelítő „együttmozgása”. Láttuk az előbbieken, hogy ez az „együttmozgás” nagyon is csak közelítő jellegű, és egyáltalán nem tisztázott, hogy melyik az ok és melyik az okozat. Ehhez még hozzá kell tenni, hogy csak becslés szinten ismeretes, miszerint a jelenlegi CO₂-koncentrációból mennyi a természetes és mennyi az antropogén eredetű, illetve, hogy mekkora az antropogén eredetű hányad jelentősége a klímaváltozás szempontjából.

A tenger szintjének emelkedésére vonatkozó számításoknál figyelembe kell venni olyan sokszor elhanyagolt tényezőket, hogy például a tengervíz szintjének emelkedését elsősorban a víz hő okozta tágulása idézi elő [3.23], szerepet játszanak továbbá ún. összetett magasságváltozással járó folyamatok is, de nem felejtkezhetünk meg arról sem, hogy az olvadás hőelvonással jár (olvadáshő!). Egyébként a globális hőmérsékletemelkedés egyik sokat emlegetett veszedelmes hatása a tengerszint emelkedése, és ennek következtében bizonyos szigetek és part menti területek víz alá kerülése. Valóban, a földtörténet a nem is olyan távoli múltban szolgáltatott erre példát. A százezer éves nagyságrendű glaciálisok és köztük a mintegy 10-20 ezer éves melegebb interglaciálisok idején 100 méternél nagyobb tengerszintváltozások következtek be [3.14]. Általában a hőmérsékletemelkedésnek csak a káros hatásait szokás hangsúlyozni, pedig minden bizonnyal több ember hal és halt meg a kihűléstől, a megfagyástól, mint a hőgutától [3.10]. Az is valószínű ma már, hogy bizonyos kultúrák kifejlődését és virágzását a felmelegedés tette lehetővé. Nem is beszélve arról, hogy bizonyos területeken bekövetkező termésveszteségeket ki- vagy túlkompenzálhatnak más területeken learatható nagyobb termések (akár évenkénti többszöri aratás).

A történelmi időkre visszatekintve ismeretes, hogy az első ezredforduló körül és a második évezred első századaiban – mint már említettük – egy melegebb periódus következett be, ekkor Angliában közel 1 °C-kal, Közép-Európában 1-1,5 °C-kal volt melegebb, mint a 20. században. Ennek következtében nőtt a földek eltartó képessége, és gyarapodott a népesség. A következő évszázadokban azonban hidegebbre fordult az időjárás („kis jégkorszak”!), és ennek következtében éhínségek, sőt éhhalál következett be Európában [3.24].

Végül, ami „a legdédélgettebb előjeleket” illeti, a rendkívüli időjárási jelenségeket, viharokat, áradásokat stb., ezekben tényleg nincs hiány napjainkban világszerte. A probléma csak az, hogy minősíthetjük-e ezeket egy nagymértékű éghajlatváltozásnak, (illetve annak előjeleinek) vagy az időjárás „természetes”

kilengéseiről van szó. Az időjárás tartós megváltozása esetén beszélhetünk éghajlat- (klíma-) változásról, de hogy mit tekinthetünk e vonatkozásban tartósnak, az meglehetősen problematikus.

Mindenesetre óvatosnak kell lennünk ezzel kapcsolatban. „...a laikus ember szokása az, hogy a megszokott időjárástól már kissé eltérő kilengéseket is rendkívülinek gondolja és jellemzésére túlságos bőséggel alkalmazza a felsőfokot, akkor midőn arra a középfok is sok.” „A nemrég még kiszáradástól, elsivatagosodástól féltett Alföldet vadvizek lepték el és az Alföld képe 1940 tavaszán hasonlított a szabályozás előtti állapothoz. Az 1935-ben kiszáradt kutak megteltek vízzel, mert a talajvíz eddig emberemlékezet óta nem tapasztalt magasságot ért el. De nem csak a téli hideg, a hó, az eső volt rendkívüli, de alig találunk olyan időjárási elemet, amelynek az utóbbi két évben feljegyzett értékei ne jelentenének rendkívüliséget nem csak az emberi emlékezet, amely tudvalevőén különösen rendkívül rövid, de az időjárási feljegyzésekben is.” – írta egy debreceni meteorológus professzor 1942-ben. [3.25]

Napjainkban viszont Major György írta le ezzel kapcsolatban a következőket: „...az átlagostól nem is nagyon eltérő időjárási eseményekre sem vagyunk felkészültek és a felkészületlenség hamis magyarázataként az éghajlatváltozásra hivatkozunk.” [3.11]

A fentieket átgondolva nem könnyű megmondani, mit is kellene valójában tennünk. Egy dolog azonban mint legfontosabb teendő világos. Sokkal többet kell tudnunk a Föld klímájáról, a klímaváltozások okairól, azaz további intenzív kutatásra több és fontosabb mérési adatokra van szükség ezen a területen.

Például jelenleg az átlagos globális hőmérsékletet egy adott évre csak 0,3 °C bizonytalansággal tudjuk megadni. A Naptól érkező sugárzás intenzitására, és a visszavert napsugárzás mennyiségére megbízható adataink csak 1978-tól, tehát viszonylag rövid időtartamra vonatkozólag állnak rendelkezésre, de ezek az adatsorok se folytonosak, és bizonytalanságuk meglehetősen nagy, néhány W/m². A számítások szerint a 19. század elejétől a Föld felszínére jutó sugárzási energia 1,5 W/m²-rel emelkedett, de ezt méréssel igazolni nem tudjuk [3.18]. A hőmérsékletet meghatározó műholdak adatai között ugyanazon helyen és időben több Celsius-fok eltérés is lehet.

Az eddigiek szerint az is világos, hogy klimatikus jövőnk előrejelzését nem nagyon építhetjük a CO₂ légköri koncentrációjára, függetlenül attól, hogy „természetes”

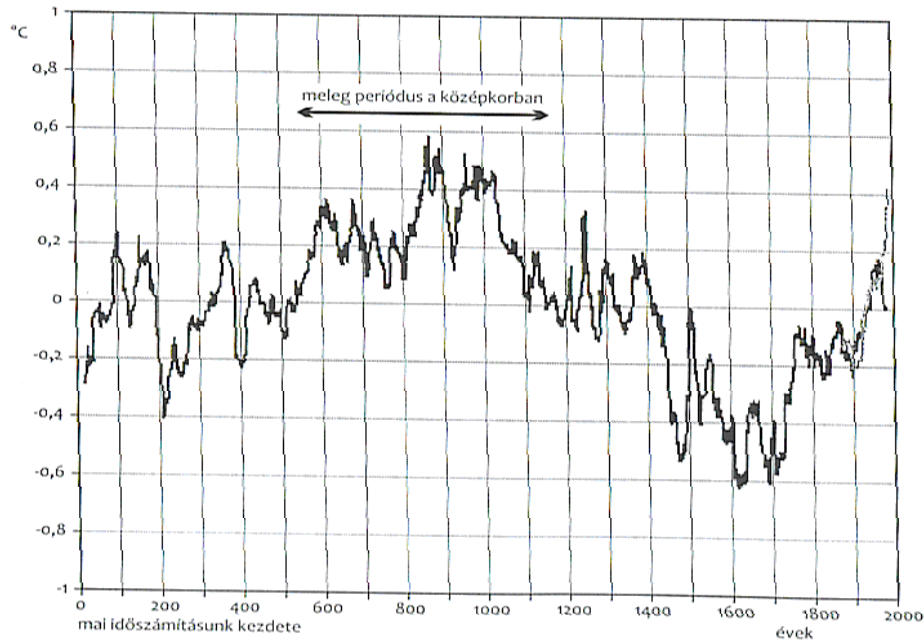
vagy antropogén eredetű. Nem ismerjük ugyanis a számszerű összefüggést a légkör CO₂-tartalma és a hőmérsékletemelkedés mértéke között [3.19, 3.26]. Kutschera egyenesen odáig megy, hogy a szén-dioxid-koncentráció növekedésének hatása a klímára „nem világos”. [3.27]

Ennél is nagyobb probléma, hogy a Föld klímájának változását nem lehet egyetlen tényezőre visszavezetni. A klíma számos ismert és ismeretlen tényező hatására alakul ki, illetve változik meg. Így galaktikus és naprendszeri hatások, a felhőképződés, a földhasználat-változás, a vulkáni tevékenység, a biomassa bomlása és így tovább, valamint kétségtelenül bizonyos mértékű antropogén hatások is (itt is hangsúlyozzuk, hogy mértéke és hatása problematikus!). Ráadásul ezek következményei sok esetben ellentétesek, esetleg egy jelenségen belül is. Például a felhők abszorbeálnak és vissza is vernek sugárzást, amelynek részleteit, függését a különböző tényezőktől ma sem ismerjük kielégítően. Császár Géza, Haas János és Nádor Annamária ezt cikkükben így fogalmazzák meg: „Az éghajlat a Földre ható rendkívül összetett, gyakran ellentétes irányú külső és belső hatások eredőjeként alakul ki.” [3.14]

Az következik-e mindebből, hogy mit se törődjünk a továbbiakban a légkör CO₂-koncentrációjával, illetve annak antropogén összetevőjével? Távolról sem! Azt továbbra is figyelni, lehetőség szerint csökkenteni kell (alternatív energiaforrások kutatása, előtérbe helyezése!), de nem szabad prioritást biztosítani neki, és az emberiség „fő ellenségének” kikiáltani. Ma már a tudományos közvélemény előtt egyre világosabb, hogy az emberiség égető problémái mások, így a Föld erőforrásainak végeessége és pazarlása, a túlnépesedés, a talajpusztulás, az édesvízhiány, a betegségek, az energiatermelés és a környezetszennyezés kérdései és ehhez hasonlók. Ezt hangsúlyozták az Amerikai Geofizikai Unió legutóbbi (2009), tizenhatezer fős konferenciáján és az Európai és az Amerikai Fizikai Társaság már említett nyilatkozatában is [3.20].

Mindezek fényében mi várható a közeljövőben, a következő évtizedekben, évszázadokban a klíma, a klímaváltozás vonatkozásában? Számos modellel számos előrejelzés készült, és ezek mind melegebbé jósolnak – a szén-dioxid-koncentrációk emelkedésére építve – egy elég széles hőmérsékleti tartományban 2,1-től 4,9 °C-ig, de előfordul ennél szélesebb intervallum is (1,1-6,4 °C) [3.1, 3.16]. A geológusok azonban óvatosságra intenek: „...számszerű értékeket tartalmazó előrejelzésekhez szükséges lenne ismerni a kiváltó okok hatásmechanizmusát, a változások ménékét és sebességét.”

[3.14] Az ún. Stern-jelentés szerint: „Senki nem tudja előre jelezni teljes bizonyossággal, hogy milyen következményei lesznek az éghajlatváltozásnak.” [3.28] A meteorológus Major György még tovább megy: „A sokszor bemutatott, nagymértékű globális felmelegedés az egyik jövője Földünknek (ez az, amit ki tudunk számolni). De nem ez az egyedüli lehetőség, a további lehetőségeket ma még nem tudjuk modellezni. Jelenleg egyik lehetőségről sem tudjuk megbecsülni, hogy mekkora valószínűséggel következik be.” [3.18]



3.16. ábra: A hőmérséklet változása mai időszámításunk kezdetétől napjainkig [3.18]

Hasonló megállapításokat bőven lehet idézni a legújabb szakirodalomból. Ha viszont így áll a dolog, vagyis „... ha nem értjük a jelenlegi folyamatokat, honnan vesszük a bátorságot a beavatkozáshoz?” [3.20] Ne csak a „kvóta-adásvételre” gondoljunk itt, de olyan hajmeresztőnek tűnő javaslatokra is, mint például kén injektálása a sztratoszférába [3.27]. Mindezek után úgy látszik, hogy jó, ha a mai társadalom igyekszik felkészülni (már amennyire lehet) mind a hőmérséklet emelkedésére, mind esetleges csökkenésére(!). Gondoljunk csak egy hirtelen vulkánkitörésre, vagy például arra, hogy a jelenlegi interglaciális a vége felé jár, és akár mikor bekövetkezhet egy fokozatos, de akár hirtelen lehülés is. Ne felejtjük továbbá, hogy a múlt század ötvenes éveitől a hetvenes évekig tartó lehülés magyarázatát se ismerjük, senki se számított rá (egyesekek vulkánkitöréssel magyarázzák). Nézzünk például a 3.16. ábrára. Akár évtizednyi idő alatt is jelentős

klimatikus változás történhet még akkor is, ha például a tendencia a hőmérsékletemelkedés. Közben akár 0,5 °C-nyi csökkenés is beállhat, és be is áll átmenetileg.

Ne feledjük, az utolsó mintegy tízezer év viszonylag stabil hőmérsékleti viszonyainak, amelyek között az emberiség kulturális fejlődésére lehetőség nyílt, szintén nincs magyarázata. A jelenség egyre jobb megismerése alapján – a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodás legjobb útjainak-módjainak kimunkálása és megvalósítása érdekében – számos szakember közreműködésével, körültekintő munkával elkészült a magyar VAHAVA-projekt [3.29] összefoglaló jelentése. Az ebben foglaltakkal következtetéseink nagy része egybecseng.

3.5.3 A melegedés oka az emberi tevékenység okozta növekvő vízgőz mennyiség

Egyesek véleménye alapján az ipari forradalom óta észlelhető, emberi eredetű szén-dioxid és hasonló üvegházhatású gázok mennyiségének növekedése a fő oka az erősödő üvegházhatásnak és az ezzel kapcsolatos éghajlatváltozásnak. Közvetlen bizonyíték erre viszont nincs. A téma kutatásával foglalkozó szakemberek zömének összefoglaló és mind frissülő véleményét az IPCC és IPCC PÁR jelentések, valamint a Koppenhágai Megállapítások tartalmazzák [3.1]. Ezek szerint az éghajlatváltozás emberi tevékenységekhez kapcsolható. Okaként elsősorban a CO₂, másodsorban a CH₄, harmadsorban az N₂O légköri töménységének növekedését kell tekinteni. Sajnos ezeknek a kutatásoknak egyes vetületei rendkívül át vannak politizálva.

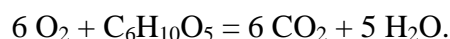
A légköri folyamatok rendkívül sokrétűek, és nagyon fontos feladat az észlelések fizikai hátterének mind pontosabb megvilágítása. A légköri mozgásrendszerek bonyolult termodinamikai és hidrodinamikai sajátosságainak vizsgálatát feltételezik. Az éghajlat, mint a fizika egyik kutatási tárgya, állandóan változó adatgyűjteményt is képvisel. Az éghajlattal kapcsolatban mért mennyiségek zöme elvileg nem reprodukálható, de ez a légkörkutatásban a fizika egyik legfontosabb mérési alapelveinek megsértését jelenti.

Muzsnay Csaba [3.30] elsősorban az emberi tevékenység által az utóbbi 2-3 évszázadban folyamatosan légkörbe kerülő, mind nagyobb mennyiségű vízgőz hatásának tulajdonítja a növekvő üvegházhatást és a vele kapcsolatos általános felmelegedést és időjárás-változást.

Nagyjából 400 éve jelentek meg az emberi tevékenységekhez közvetlenül vagy közvetve kapcsolódó, légkört tápláló vízgőzfejlesztők. Ugyanis az ipari forradalommal kezdődően, 360 év óta, mind több és több vízgőz kerül a légkörbe emberi tevékenység következtében. Több tízmilliárdnyira tehető az ilyen kisebb-nagyobb földi vízgőzfejlesztők száma. Nagyfokú átlagos hőmérséklet-állandóság csak akkor maradhatna fenn, ha a földfelszín különböző, főleg szárazföldi részein nem növekedne jelentősen a vízgőz mennyisége, nem jelentkeznének nagy számban vízgőzgenerátorok, vízgőzforrások.

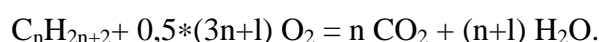
3.5.4 A legfontosabb vízgőztermelő folyamatok

I) Az emberiség által energiatermelésre felhasznált vegyi átalakulások mind vízgőztermeléssel járnak. Leggyakrabban szerves vegyületek oxigén jelenlétében való elégetéséről van szó. Kezdetben a fa égetése szolgáltatta az energiát, az égethető cellulóz – $(C_6H_{10}O_5)_n$ – 1000-3000 glükóz-egységet tartalmaz:

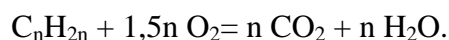


Ehhez a vízmennyiséghez járul még a fa tetemes nedvességtartalma. A szén előfordulása alapján rendkívüli változatosságot mutat, és égése elsősorban CO_2 -képződéséhez vezet, de nedvességtartalma és kondenzált aromás szénhidrogén-tartalma nem elhanyagolható vízgőzképződést is eredményez.

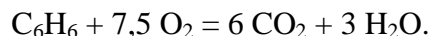
A kőolaj több száz és ezer egyedi szénhidrogént tartalmaz. A telített szénhidrogénekből a keletkezett víz móljainak száma nagyobb, mint a CO_2 -é:



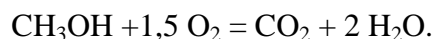
Az olefinek égésekor a két gáz aránya 1:



A benzol és az aromás szénhidrogének égésekor az arány $\leq 0,5$:

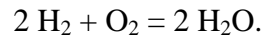


Az elégetett szerves vegyületből annál nagyobb arányban képződik víz, minél nagyobb a molekulában előforduló H-atomok száma a szénatomok kétszereséhez képest. Például az EtOH esetén a H/2C arány: $6/4=3/2$, a MeOH-nál $4/2=2$. A metanol elégetésekor kétszer annyi víz képződik, mint szén-dioxid:



A legismertebb zsír összegképlete: $C_3H_5-(CO_2-C_{15}H_{31})_3$, a H/2C arány: 98/102 = 49/51, közel 1. A táplálkozásunkban oly fontos szerepet játszó keményítő esetén a $C_6H_{12}O_6$ -os átlagképletet tekintve a keresett arány ugyancsak 1.

II) A jövő elképzelt energiatermelő reakciója:



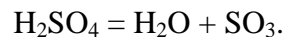
III) Robbanóanyagok víztermelése robbantások során mutatkozik, a tüzesetek is sok vízgőzt eredményeznek.

IVa) Fém-oxidoknak hidrogénnel való kohászati redukálása: $MO + H_2 = M + H_2O$.

IVb) Oxigéntartalmú és hidrogéntartalmú szervetlen vegyületek reakciója, például



IVc) Dehidratáció, például



V) Polimerizációs folyamatok és kondenzációs reakciók vízgőztermelése.

VI) Szárítási folyamatok vízgőz kibocsátása:

a) Főzés (pl. lekvárfőzés), párologtatás, sütés (kenyér, gyümölcs, tészta, pecsenye) a kiinduló anyagok víztartalom-csökkenésével jár.

b) Különböző ércekből, kőzetekből kohászati izzítások során távozó nedvességtartalom.

c) Gőzfejlesztés, például távfűtés céljaira. Az itt fellépő veszteségek tetemesek, és ezek a légkörbe kerülnek.

VII) Az emberiség közel 7 milliárd emberének vízkilégzése, párologtatása (izzadása) és párologtató tisztálkodása.

VIII) Az öntözéses mezőgazdaság által felhasznált víz nagy mennyisége elpárolog a tavasztól őszi terjedő termelési időben,

a) Tekintettel a Földet benépesítő emberek mind növekvő számára, az ellátásukat szolgáló öntözéses élelmiszer-termelés óriási mennyiségű víz felhasználását igényli, ami kiapasztja a folyókat és lecsökkenti a mezőgazdasági területek víztartalékait.

b) Az előbbihez kapcsolható a nagyüzemi állattenyésztés vízpárologtatása.

A bemutatott vízgőzfejlesztők két nagy csoportba oszthatók: kémiai és fizikai vízgőzgenerátorok. Nagy számban vannak biológiai természetű vízgőzgenerátorok is, melyek számát jelen esetben első közelítésben változatlanak tekintjük. Elképzelhető, hogy bizonyos változások adott területeken a vízgőztermelés csökkenését eredményezik, például sűrűn lakott városrészek betonborításai, de ezek elhanyagolható hatásúak az eddig bemutatottakéhoz képest. Az emberi tevékenységhez kapcsolható többletvízgőz jelentős mennyiséget képvisel, pontos értékének megítélése a jövő feladatai közé sorolható. A legsürgősebb feladat az óriási számú vízgőzgenerátor léggözt szennyező hatásának csökkentése.

A légkörben vízgőz nagyon egyenlőtlen eloszlásban található, mennyisége az alsó légkörben (a troposzférában) 0,1 % és 4 % között változik, míg a tropopauza fölötti magasabb légrétegekben előfordulása szinte 0 %. A vízgőz mennyisége nagymértékben függ az éghajlati feltételektől – a hőmérséklettől és a légköri nyomástól – és a földrajzi (helyi) feltételektől. Az Egyenlítő közelében, úgy északra, mint délre, nagy a légkör vízgőztartalma. Júliusban az északi féltekén nyár van, és az Északi-sark körzetében ilyenkor nagyobb a víztartalom, mint a Délin.

3.5.5 Állandó és változó gázok a légkörben

Helyi előfordulástól és időtől függően, egy adott, a légkörben található gáz lehet egyenletes (homogén) eloszlású – ilyen például a nitrogén, az oxigén, az argon, a neon – , vagy egyenlőtlen (inhomogén) eloszlású, ilyen például a vízgőz, az ózon és sok, nagyon kis mennyiségben található nyomgáz. Az egyenletes eloszlású gázok a légkörnek alsó, 80-100 km-es rétegében, a homoszférában, állandó koncentrációval jellemezhetők. E magasság felett a gázok már fajsúlyuk szerint rétegződnek (heteroszféra). Az eddig felsorolt gázok, a vízgőz, CO₂, H₂ és ózon kivételével, még ha kis mennyiségben fordulnak is elő, úgy vegyi, mint mennyiségi előfordulás szempontjából állandó gázoknak tekinthetők. A változó gázokat csoportosíthatjuk a légkörben való tartózkodási idejük, mennyiségük és térfogaton belüli arányuk szerint is. Addig, amíg az állandó gázok mennyisége hosszú távon változatlan marad, a változó gázok koncentrációja kicsiny (ppm vagy ppb nagyságrendű, ezért nevezik ezeket nyomgázoknak is). Átlagos tartózkodási idejük (ATI) hosszabb vagy rövidebb lehet, de az adott gázra nézve jellemző értéket képvisel. A viszonylag nagyobb mennyiségű gázokat (metán, ózon, nitrogén-dioxid) fő nyomgázoknak is nevezik, szemben a „kisebb

nyomgázokkal” [3.31] (pl. számos, növények által kibocsátott illatanyag, bután, etanol, CFC). A változó gázok, kis mennyiségük ellenére (pl. ózon), igen fontos szerepet játszhatnak bizonyos légköri folyamatok kialakításában. A gázokon kívül finom eloszlásban cseppfolyós és szilárd anyagok, un. aeroszolok is előfordulhatnak légkörünkben, melyek együttesen gyengítik a Föld felszínére érkező sugárzást - főleg felhőképzés révén.

A szén-dioxid képződése és előfordulása kitüntetetten tanulmányozott és több vonatkozásban ismert, jelenleg a légkörben átlagban 0,039%-os az előfordulása. Mennyisége az emberi tevékenységek (energiatermelés, energiafogyasztás, vegyi üzemek, emberi és állati kilégzés) miatt folyamatosan növekszik. Mivel az északi félgömbön a legterjedelmesebb a szárazföld, és itt él és tevékenykedik az emberiség zöme (közel 90%-a), ezen a féltekén legnagyobb az energiafelhasználás, így a CO₂-képződés is bőséges.

Ma általánosan elfogadott, hogy az ipari forradalom óta tapasztalt, egész Földre vonatkoztatott felmelegedést főleg a légkörben előforduló, egyes hőt elnyelő gázok, így a szén-dioxid, a metán, az ózon, a nitrogén-oxidok, a halogénezett szénhidrogének okozzák. Ezek mennyisége nem túl nagy, de állandó növekedést mutat. Nagyon sok helyi adat riasztó jelzésnek tekinthető a jövőbeni felmelegedési vagy éghajlat-változási kilátásokat illetően. Ezek közé sorolható például a nyári hónapokban az Északi-sarkvidék jegének gyorsuló olvadása, a magas hegyek hótakarójának riasztó mértékű olvadása, a hónap alsóbb szintekről való teljes eltűnése, kisebb óceáni szigetek vízszintemelkedés miatti teljes vagy részleges víz alá kerülése, stb.

A vízgőznek a földi éghajlat viszonylagos állandóságára van hatása. A legfontosabb üvegházgáznak, a vízgőznek ezek szerint nincs számottevő pozitív visszacsatolási hatása a földfelszín éghajlatának alakulására. Más vélemények alapján [3.31] a legjelentősebb bizonytalanság e téren a vízgőz pozitív visszacsatolásából fakad. A felhők részben visszaverik a Naptól érkező rövidhullámú sugárzást (albedó növekedés), de az üvegházgázokhoz hasonlóan, a Földről érkező hosszú hullámú sugárzást is elnyelik, és részben visszasugározzák a Föld felé. Az alsó légkör 2 km-nél magasabb részében nem teljesülnek a párolgás ideális termodinamikai feltételei, növekszik a vízgőz mennyisége, ezért ennek modellezése sokkal bonyolultabb. Az éghajlati modellek túl durva felbontásúak, nem vehetik figyelembe minden kicsiny

felhő kialakulását vagy eloszlását. Ebből elég nagy bizonytalanságok származnak [3.31].

A szén-dioxid, mint a legjelentősebb antropogén gáz, csupán az üvegházhatás 20-25%-át okozza, míg a légköri vízgőz az üvegházhatás 60-70%-áért felelős [3.31]. Az eddig elfogadott álláspont az, hogy a globális vízgőztartalom az elmúlt századokban nem változott jelentős mértékben s ezért a felmelegedési folyamathoz nem járult hozzá [3.31]. A vízgőzt nem antropogén eredetűnek tekintik, és fő forrásaként csak a természetes párolgást veszik számításba [3.31]. Az üvegházhatás semmiképp sem tekinthető kiküszöbölendő csapásként, hiszen nélküle a földi élettér átlagosan mintegy 33-40 fokkal hidegebb lenne, és valószínű, hogy képtelen volna az élet fenntartására [3.32].

A szén-dioxid légköri előfordulása a 19. század végétől kezdett észrevehetően növekedni, s ennek tulajdonítják, komolyabb bizonyítás nélkül, a Földi légkörnek azóta észlelt, számbelileg kismértékű (kb. 0,8 °C), valójában jelentős átlaghőmérséklet-emelkedését.

Tulajdonképpen nem állapítható meg közvetlen és szoros kapcsolat a Föld felszíni hőmérséklete és a légköri CO₂-koncentráció között. A CO₂-töménység növekedése emeli a felszíni hőmérsékletet, de rengeteg más, jelenleg még ismeretlen hatás is közrejátszik az aktuális hőmérséklet kialakításában, így például kb. 3-3,5 millió évvel ezelőtt, nagyjából a jelenleginek megfelelő légköri CO₂-tartalomnál, a mainál sokkal melegebb volt a Földön (vajon miért? - tehető fel a kérdés; csak azért, mert más tényezők is emelték a hőmérsékletet), és az erdők az Északi-sarkig húzódtak. 150 millió évvel ezelőtt a légköri CO₂ mennyisége a mainak mintegy nyolcszorosa volt; jóval melegebb volt, mint napjainkban, de nem annyival, mint a CO₂-koncentráció alapján várható lett volna. 400-450 millió éve a légköri CO₂-töménység a mainak mintegy 16-szorosa, a Föld hőmérséklete mégsem magasabb, sőt a jelenleginél kissé alacsonyabb volt. (Ez hogyan lehetett? Úgy, hogy nem csak a CO₂ a hőmérséklet és éghajlat egyedüli meghatározója.)

A felszínt a teljes sugárzás 43%-a éri el, és jelentős részét a nagy hőkapacitású földfelszín és óceánok nyelik el, míg az energia egy részét visszasugározzák. Ez a visszasugárzás, a földfelszín mintegy 290 K-es hőmérséklete miatt, elsősorban a 4-400 μm-es hullámhosszú vörösön inneni (infravörös) tartományba esik, 10 μm körüli maximummal. A rövidhullámú napsugárzás fenti, egyszerű szétosztása mellett nagyon

fontos a hosszú hullámú, földfelszíni eredetű sugárzás elosztódása. A földfelszíni sugárzás a légkör alsó rétegében elnyelődik, majd ismét kisugárzódik, sőt részben megint elnyelődik. Ez egy láncszerű, többszöri újraelosztással jellemezhető folyamat, így az energiamérlegben egyes adatok 100%-nál nagyobb értékekkel is felléphetnek. A felszíni sugárzás ilyen jelentős elnyelése a talaj közeli légréteg globális átlaghőmérsékletének +14 °C-ra való felmelegedését eredményezi ahhoz a -20 °C körüli hőmérséklethez képest, amely akkor állna be, ha a hosszú hullámú sugárzás közvetlenül a világűrbe jutna. Nem sugárzásos alapon a felszín vesztesége 29%, mely a párologtatás következtében képződő vízgőzre fordítódik, ebből 23% a troposzférában a kicsapódásból eredő látens hő révén felszabadul, 6% pedig turbulens hőszállítással adódik át a talajról a troposzférának. Az ilyen globális energiamérleg készítése gyakori [pl. 3.31], de nagy körültekintést igényel, mert egyetlen tag helytelen becslése a többi hibás meghatározásához vezethet. A létrejövő sugárzási egyensúly megértéséhez meg kell vizsgálni, hogy a Föld légkörében jelen lévő molekulák közül melyek képesek a különböző elektromágneses tartományokban elnyelésre, és meghatározandó az elnyelés pontos mértéke is. Ehhez képest az összes többi anyag és képződmény (aeroszolok, füstök, ködök stb.) csak másodlagos jelentőségűek.

Közismert, hogy a vízmolekula, de a különböző halmazállapotban előforduló víz is rendkívül különleges sajátosságú [3.33, 3.34], ami a földi élet kialakulásának lehetőségét és tartós fennmaradásának biztosítékát képezi. A légköri vízgőz is rendelkezik néhány különleges sajátossággal, amelynek alaposabb megvizsgálása és szükségszerű hangsúlyozása közelebb visz a légkör általános felmelegedésében játszott szerepének megértéséhez.

A légköri vízgőz különleges és rendkívüli viselkedésének öt szintje különböztethető meg:

- 1) Molekuláris szint;
- 2) Asszociációs szint;
- 3) Fázisátalakuláshoz kapcsolható kondenzációs szint;
- 4) Csapadékképződés és nedvességszállítás szintje;
- 5) Az északi és déli félteke közötti, emberi tevékenységek hatására kialakult határozott különbség szintje.

3.5.6 A felmelegedés első, molekuláris szintje, a 3 atomos molekulák különleges szerepe a légkör hőháztartásában

A Föld, de általában a bolygók légkörében többnyire a kisméretű és egyszerű szerkezetűnek tekintett molekuláké a meghatározó szerep. Mivel a nagyobb méretű és bonyolultabb szerkezetű molekulák legfeljebb nyomokban találhatóak, a légkör energetikai viszonyainak alakításában nem jutnak szerephez. Kvantumkémiai számítások szerint, valamint molekula-spektroszkópiai mérésekre támaszkodva, az egyatomos nemesgázok és a földi légkört szinte teljes egészében kitevő szimmetrikus kétatomos molekulák – N_2 és O_2 – csak elektrongerjesztés kapcsán képesek az elektromágneses sugárzással számottevő kölcsönhatásra. A nemesgáz-atomok gömbszimmetrikus elektroneloszlással bírnak, míg a kétatomos molekulák nem polárisak, tehát nem rendelkeznek dipólus nyomatékkal, sőt atomjaik kollektív rezgő-, illetve forgómozgásának hatására sem válnak polárisá. Ennek következtében a napsugárzással csak rendkívül korlátozottan lépnek kölcsönhatásba, míg a Föld felszínéről kilépő kis energiájú sugárzás elnyelése szempontjából is teljes mértékben elhanyagolhatóak [3.32]. A légkörbe belépő sugárzás elnyelésében a nitrogén gyakorlatilag semmilyen szerepet nem játszik, de a bonyolultabb elektronszerkezettel rendelkező oxigén mintegy 2%-ban felelős.

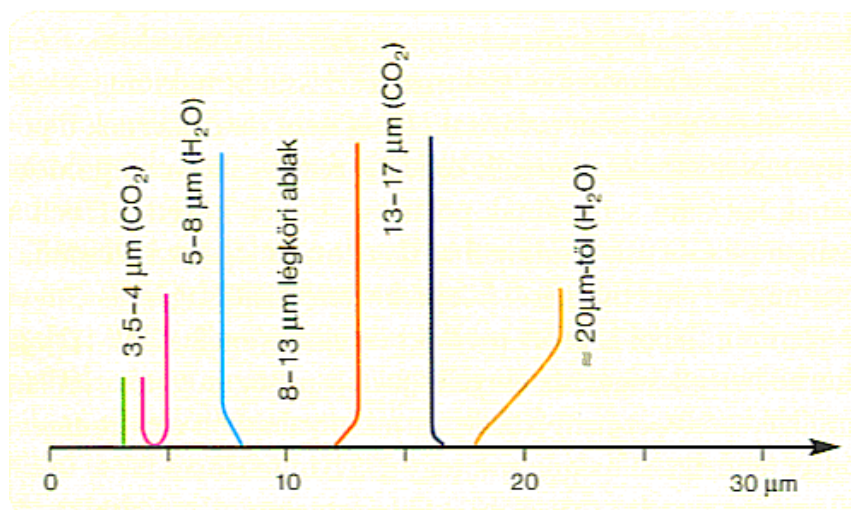
Elsősorban az O_3 , CO_2 és H_2O (3 háromatomos molekulák) rövidhullámú napenergia-elnyelését és az ebből eredeztethető hosszú hullámú földsugárzás-elnyelését kell megvizsgálni. Nyilván még érdeklődésre tarthat számot a metán, a nitrogén-oxidok és a kén-oxidok ilyenszerű viselkedése is.

Az ózon főleg a felső levegőrétegekben fordul elő. A sztratoszféra középső részén (20-35 km magasságban) éri el legnagyobb koncentrációját, kialakítva az ún. ózonpajzsot. Háromszög alakú molekulaként könnyen lép kölcsönhatásba a napfény különböző energiájú fotonjaival. Elnyeli az ibolyántúli sugárzást, s ezzel megvédi a bioszférát a napfény káros összetevőitől. Üvegházhatása is van, visszatartva a Föld felületéről kibocsátott hősugarak egy részét. Tekintettel oxidáló jellegére, a redukáló sajátosságú gázok (pl. NO) elbontják, az atomos Cl képződését és a halogénezett szénhidrogének lebomlását katalizálja. Mindezek az O_3 -réteg létét veszélyeztethetik, vagy vastagságát csökkenthetik.

Jóllehet a lineáris szén-dioxid molekula alapállapotban nem poláris, egyes rezgései során azonban polárisá és így alkalmassá válik a sugárzásokkal való

kölcsönhatásokra. Elsősorban a Föld felszínéről visszasugárzott energiákat nyeli el. Az óceánok és a földfelszín szén-dioxid-tartalma, illetve az emberek és állatok kilégzése, rezervoár-hatás révén, meghatározza a viszonylag állandó légköri CO₂ jelenlétet. Elég nagy és állandóan növekvő koncentrációja biztosítja, hogy az üvegházhatásban jelentősebb szerepet játsszon.

A vízgőz különleges szerepe az üvegházhatásban elsősorban annak tulajdonítható, hogy a V alakú, illetve lapított (torzított) tetraéderhez, vagy látszólag háromszöghöz hasonlítható [3.37], hajlított szerkezetű, aszimmetrikus pörgettyű típusú vízmolekulák állandó dipólus-momentummal rendelkeznek. Ezáltal kölcsönhatásba léphetnek az elektromágneses sugárzásnak mind a látható, mind a mikrohullámú, illetve infravörös összetevőivel. A víz az egyetlen olyan szabálytalan szerkezetű molekula, amely viszonylag jelentős töménységben van jelen a légkörben, nagy tartalékokkal rendelkezik (pl. az óceánok, tengerek, tavak, folyók vize), és a légkörben is képes halmazállapot-váltásokra. Mivel molekulája a legkönnyebb atomból, a hidrogénből kettőt is tartalmaz, kicsi a tehetetlenségi nyomatéka és úgy forgási, mint rezgési színe nagy színektartományban felettebb bonyolult szerkezetű. Gyenge gerjesztésnél ez a spektrum lehetővé teszi a hosszú hullámú sugárzás elnyelését, míg a többfotonos rezgési-forgási gerjesztés a rövidhullámú sugárzás elnyelését okozza. A teresztikus sugárzások elnyelésének 65-70%-áért a vízgőz okolható. A szén-dioxid elnyelése viszont csak 20-24%. Az ózon (O₃) 6-8%-os elnyelésért, az emberi tevékenységek miatt növekvő részarányú metán és nitrogén-oxidok további 6-8%-ért felelősek. [3.34].



3.17. ábra: A szén-dioxid és vízgőz teresztikus sugárzási színeének részlete

A 3.17. ábra a légköri elnyelés 2-2 legfontosabb sávját tünteti fel vízgőz és szén-dioxid esetén, a 3,5-30 μm tartományban. A CO_2 -nak 13-17 μm között van egy nagyon erős elnyelési sávja és egy gyengébb 3,5-4,0 μm között. Ezenkívül az 1-2,7 μm tartományban is vannak kisebb elnyelési sávok, melyek nem szerepelnek a grafikonon. 5-8 μm között a vízgőz igen erős elnyelése a vízgőz forgási-rezgési sávjának felel meg, míg a 20 μm -nél nagyobb hullámhosszknál a vízgőznek szerfölött erős elnyelést mutató forgási sávjai találhatók. A 8-13 μm -es tartományban sem a CO_2 , sem a vízgőz nem nyel el, és a jól ismert légköri „ablak”-on keresztül a felszín hosszú hullámú sugárzása szökik ki a világűrbe.

Az ózon a közeli ibolyántúli tartományban nyel el, és a légkört átláthatatlanná teszi a veszélyes UV-B sugarak számára. A sokszínű látható fény eljut a földfelszínre, megvilágítja és melegíti azt. A Föld kibocsátásából származó IR-sugárzás visszajuthat az űrbe, de elsősorban a vízgőz és a szén-dioxid miatt elnyelődik a légkörben - szinte átlátszatlaná válik e két anyag a vörösön inneni sugárzás számára. Ha más gázok is jelen vannak (pl. CH_4 , N_2O), azok is abszorbeálnak, a „légköri ablak” mind jobban zárul, így együtt nagyon hatékony ÜHG-ként (üvegházgázként) melegítik a Föld közeli légréteget [3.31].

A különböző légköri molekulák üvegházhatásban játszott szerepét a CO_2 -molekuláéhoz szokták viszonyítani, így a CO_2 üvegházhatásának (ÜHH) viszonylagos erősségét egységnyiinek tekintik. Poláris molekulák (N_2O , NO_2 , H_2O stb.) esetén úgy az elektromágneses sugárzással kialakuló kölcsönhatás, mint az ÜHH erősség nagyságrendekkel lehet nagyobb a szén-dioxidénál. [3.32] A vízgőz és a szén-dioxid rövidhullámú sugárzáselnyelése közötti különbség onnan is adódik, hogy a CO_2 mennyiség légkörben viszonylag állandó, ugyanakkor vízgőztartalom helytől és időtől függően változó. Ezért a globális sugárzási mérleg meghatározásakor figyelembe kell venni a vízgőz területi és időbeli eloszlását. Igaz, hogy a vízgőz légköri tartózkodási ideje szűk: két hét, tehát jóval kisebb, mint a CO_2 -é, de moláris töménysége legalább 0,20-100-szor nagyobb a CO_2 -énél, sugárzáselnyelésének mértéke pedig 0,10-1.000 közötti értékkel sokszorozódhat. A légkör kis víztartalma esetén (téli) a vízgőz ÜHH-erőssége csak 10-50 %-a a CO_2 -ének (tehát ekkor a szén-dioxid az ÜHH meghatározó vegyülete), míg a trópusokon vagy nyári kánikulák esetén, a nagy vízgőztartalom miatt, annak 1.000-szerese is lehet ez esetben tehát a vízgőz a fő ÜHG.

Jóllehet, a víz üvegházhatása rendkívül jelentős, azért sem vették figyelembe, mivel a múltban nem mutatkozott gyors túlmelegedés. Az egyensúlyi hőmérséklet jelentős hűtő hatás, negatív visszacsatolás révén állandósult. A földfelszín felmelegedése főleg a felhőkön/felhőkben bekövetkező sugárzásszóródás miatt csökken. A légkör felhőkkel borított részein, valamint a Föld felszínén és a földi testeken keletkező folyékony és szilárd halmazállapotú víz energiaelnyelése a 2,50-3,50 μm tartományban figyelhető meg.

Olyan, bizonyítás nélküli vélemények is elhangzanak, hogy a légkörben jelen lévő CO_2 a víznél jelentősebb szerepet játszik Földünk éghajlatának változásában. Az esetleges bizonyításhoz a rendkívül összetett vízszínképek teljes és helyes értelmezésére lenne szükség [3.32]. Más irányból is közelítenek a felmelegedés értelmezéséhez. Fordulópontnak tekintik a CO_2 mennyiségének esetleges megkétszereződését (280 ppm-ről 560 ppm-re), mely jól észlelhető hőmérséklet-emelkedésen kívül a vízgőztartalom és a vele kapcsolatos további jelentős hőmérséklet-növekedést is eredményezné. Ehhez hozzáadódhat a jelenleg még ismeretlen erősebb felhősődéssel kapcsolatos pozitív visszacsatolásos melegedés vagy negatív visszacsatolásos hűlés [3.31].

3.5.7 A felmelegedés második, asszociációs szintje

A víz olyan két összetevőt (H és O) tartalmaz, amely H-kötés kialakítására képes s ezért szinte minden légköri alkotóval (még a szén-dioxiddal is) vegyi kölcsönhatásba lép, és víztartalmú képződményeket, asszociátumokat képez, amelyek főleg a Földről távozó kis energiájú sugárzást nyelik el (második, asszociációs szint). Minél alacsonyabb a hőmérséklet, annál állandóbbak a klaszterek. Ezen vegyi átalakulások zöme a légkör alsó részében, a Föld közeli rétegben mennek végbe. Legnagyobb arányban viszonylag alacsony molekulaszámú ($7 > n > 1$) víz-víz klaszterek keletkeznek, de a levegő aktívabb és kevésbé aktív alkotóival is képezhet víztartalmú adduktumokat. Nagymértékben tanulmányozottak a kénsav-víz klaszterek. Legutóbb két savat (HNO_3 és HCl) tartalmazó stabil hidrátot is vizsgáltak [3.36] – az alacsony hőmérsékleten ($-73\text{ }^\circ\text{C}$ -on) felvett elnyelési színeképük bonyolultabb, mint a magasabb hőmérsékleten ($25\text{ }^\circ\text{C}$ -on) tanulmányozotté. A gyűrűs képződmény szobahőmérsékleten felhasad és viszonylag egyszerűbb elnyelési színeképű láncá alakul, de a nemesgázokkal kialakuló gyengébb kapcsolódású hidrátok is az érdeklődés előterében vannak. [3.37]

3.5.8 A vízgőz fázisátalakulásai a légkörben. A harmadik, kondenzációs szint

A víz és fázisváltásai egyedülálló módon érdekessé és tanulmányozandóvá teszik a légkör és óceán termodinamikáját, mely fontos információkat szolgáltat a légkör és felhők fizikájának, valamint a dinamikus meteorológia különböző területeinek.

A termodinamikai p , T , V állapotfelület fontosabb sajátosságait, egyszerűsítés céljából, szokták kétváltozós grafikonokon is szemléltetni [3.38]. A legközismertebb ábra a p - T fázisdiagram. A légkör állandó összetevőinek, a szén-dioxidot is ideszámítva, légnemű fázisa gáz, míg az erősen változó összetevői között csak a víz van számottevő mennyiségben, amelynek légnemű fázisa már gőznek tekinthető. A gázok kritikus hőmérséklete mindig messze alacsonyabb, mint a gyakorlatban előforduló légkör-hőmérsékletek, ezért folyékony állapotba nem csapódhatnak ki, mivel cseppfolyósodásukhoz olyan alacsony hőmérsékletekre lenne szükség, amelyet eddig a légkörben még nem mértek. A telített és telítetlen gőz-gáz rendszerek tulajdonságait a pszichrometria tárgyalja [3.39]. A levegő-víz rendszerre nagy részletességgel állnak rendelkezésre adatok.

Földünk elsősorban azért az élet bolygója, mert a felszínközeli légköre olyan jól körülhatárolt hőmérséklet- és nyomástartománytal bír, melyben az egyedi sajátságú víz mindhárom fázisban előfordul. A légkörben a többi összetevő hármaspontja nem valósul meg. A víznek ez az egyedi és rendkívüli sajátsága a Föld időjárási folyamataiban és az éghajlati viszonyok kialakításában meghatározó szerepet játszik. A víz fázisátmeneteinek másik különleges sajátsága, hogy a víz fagyáspont alá hűlve még -40 °C -nál is túlhűlt folyadékállapotban maradhat. Nyilvánvaló, hogy a légkörben sem a gázok, sem a víz kritikus pontjának megfelelő állapot nem alakulhat ki.

A levegő első közelítésben tökéletes gázelegy, ilyenkor úgy viselkedik, mint egyetlen tiszta gáz, és érvényes rá az ideális gázok törvénye. A száraz levegő 78 tömegszázalékban tartalmaz nitrogént, 21%-ban oxigént és 1%-ban argont. A parciális nyomások: N_2 0,7804 bar, O_2 0,2098 bar, Ar 0,0093 bar, víz 0,0005 bar. Az erre vonatkozó állapotegyenlet ugyanúgy alkalmazható elegyekre is, mint tiszta gázokra, állandóinak megfelelő megválasztásakor. A légkörben lejátszódó folyamatoknak és ezen belül a felhők elnyelésének és szórásának helyes modellezése nem könnyű feladat [3.40]. A legkorszerűbb modellszámítások is $15\text{-}30\text{ W/m}^2$ értékkel alábecsülik a légkörben elnyelt napenergiát. Sokoldalú elemzések alapján kiderült, hogy az

abszorpciós anomáliát sem az aeroszolok, sem a felhők kisebb modellezési hibái nem magyarázzák.

A napsugárzás folytonosnak tekintett elnyelési színekének Fraunhofer-vonalai nagyszámúak (a látható részben több mint húszezer van), 40 %-uk nagyon gyenge azonosított vonal [6a]. Közöttük olyanok is vannak, amelyek a földi légkör molekuláinak elnyeléséből származnak, és nem mutatják a Doppler-Fizeau-eltolódást, [3.41] utóbbiak energiái esetleg nem voltak figyelembe véve.

Egyes szakmai vélemények a molekuláris sugárzások teljesebb megértésének szükségességét hangsúlyozzák [3.32]. Más vélemények szerint ez idáig az nem tisztázott, hogy a felmelegedéssel járó fokozott felhőképződés végül is pozitív, vagy negatív visszacsatolást eredményez-e, mivel a különböző modellek alapján eltérő következtetésekre lehet jutni [3.39], de kiderült, hogy a magas szintű felhőknek lehet melegítő hatásuk, ellentétben az alacsony szintű felhőkkel. Ez a keverék már reális gázelegy. A reális gázok nem követik pontosan a tökéletes gázok állapotegyenletét. Az eltérés nagy, ha a gáz közel van a cseppfolyósodáshoz, vagy ha nagy a nyomás és alacsony a hőmérséklet. A reális gáz nem túl nagy nyomásoknál szinte úgy viselkedik, mint az ideális gáz, s az erre vonatkozó állapotegyenlet ugyanúgy alkalmazható elegyekre is, mint tiszta gázokra, állandóinak megfelelő megválasztása esetén. Azonban az állandók nemcsak az összetevők anyagi minőségétől, hanem azok viszonylagos mennyiségétől is függnek. Gyakran egyszerűbb empirikus összefüggésekre támaszkodni.

3.5.9 Az üvegházhatás maximált

Miskolczi Ferenc [3.42] az úrkutatói hivatal időjárás adatbázisát felhasználva olyan összefüggéseket és egyenleteket vezetett le, amelyek egyes vélemények szerint nagyon pontosan írják le a klimatikus energetikai folyamatokat. Szerinte a globális felmelegedésért felelőssé tett üvegházhatás a természet által jól szabályozott, egyensúlyban tartott folyamat. Az üvegházhatás mértéke nem egy független/szabad matematikai változó, mint eddig gondolták, hanem egy egyensúlyi érték (33 °C) körül ingadozik, és az eltérés ettől az értéktől az elmúlt 60 év során nem több mint 0,1 °C. Véleménye szerint a Föld légköre, részleges felhőborítása és elegendő víztartaléka segítségével energetikailag maximált üvegházhatást tart fenn, mely konstans, egyensúlyi, „telített” és kibocsátásokkal nem növelhető. Mindezek ellenére elfogadja

azt, hogy a külső vagy belső feltételek bármilyen megváltozása eldönti az egyes földrajzi övezetek és régiók éghajlatváltozásának mikéntjét.

A korábbiakban bemutattuk, hogy a Föld felszínének átlaghőmérséklete:

$$T_S = T_E + T_{\ddot{U}} \quad (3.1.)$$

Ahol: T_S a globális átlagos hőmérséklet, kb. +15 Celsius-fok, avagy 288 Kelvin;
 T_E az „effektív” vagy alaphőmérséklet kb. -18 °C, avagy 255 K;
 $T_{\ddot{U}}$ az üvegház-hőmérséklet, 33 °C (Ebből a tiszta égboltú üvegházhatás kb. 27,8 °C, a hosszuhullámú felhőjárulék kb. 5,2 °C).

Az üvegház-tényező (G) a felszín hosszuhullámú felsugárzásnak (S_U) és a kimenő hosszuhullámú sugárzásnak (OLR) a különbsége (Raval and Ramanathan, 1989):

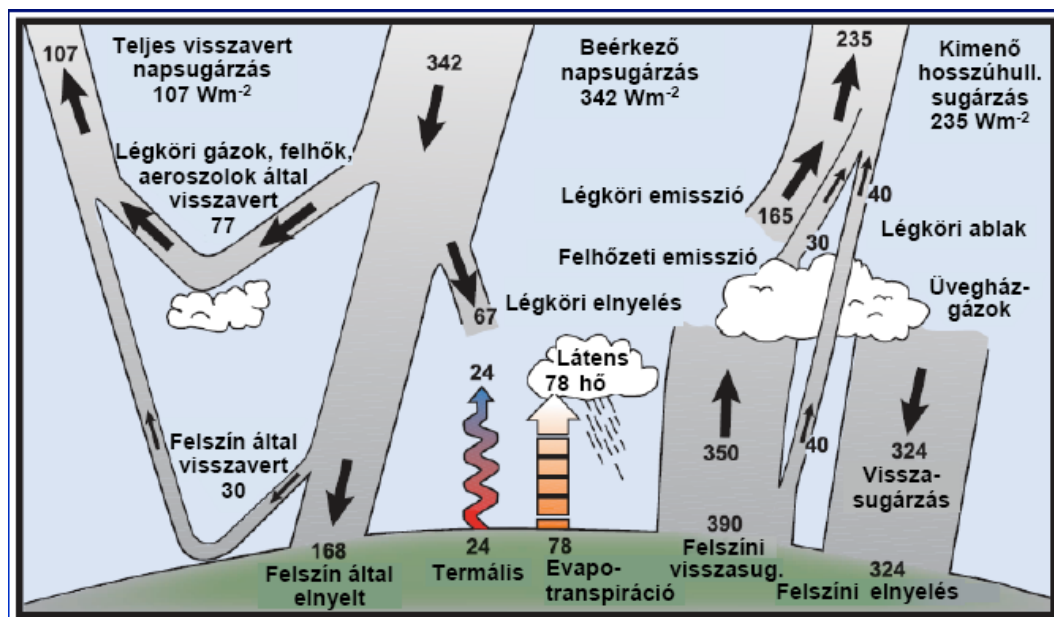
$$G = S_U - OLR \quad (S_U = sT_S^4; \quad OLR = sT_E^4). \quad (3.2.)$$

A (g) normált üvegház-tényező (vagy üvegház-függvény)

$$g = G / S_U. \quad (3.3.)$$

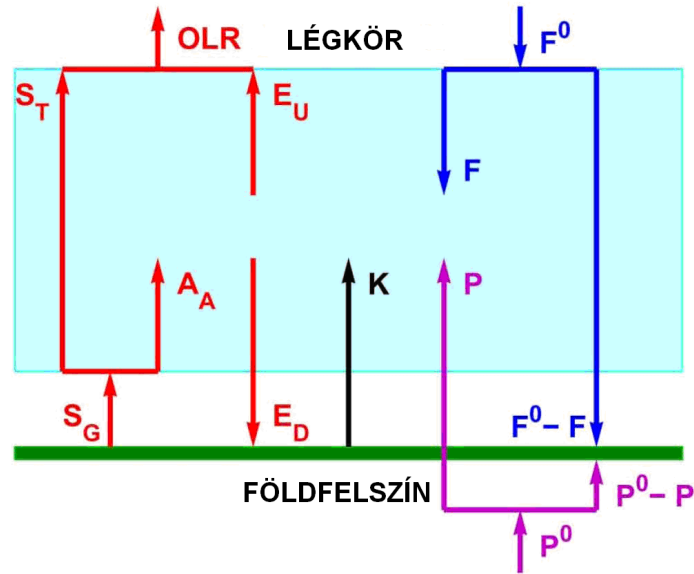
Az (f) transzfer-függvény ekképpen definiálható:

$$f = OLR / S_U \quad (f = 1 - g). \quad (3.4.)$$



3.18. ábra: A légköri energia eloszlás

A továbbiakban (G), (g) és (f) lesznek a főszereplőink. Ha (G)-t (ill. (g)-t vagy (f)-et) összefüggésbe akarjuk hozni a légkör üvegházgáz-tartalmával, radiatív transzfer kódot kell alkalmazni. [3.43] A légköri energia eloszlást a 3.18. és 3.19 ábrák mutatják



3.19. ábra: A légköri energia-eloszlás hálózati modellje

Klasszikus egyensúlyi energia egyenletek: NETTÓ LÉGKÖR
NETTÓ FELSZÍN
EGYENLEG FENT

$$F + P + K + A_A - E_D - E_U = 0 \quad (3.5.)$$

$$F^0 + P^0 + E_D - F - P - K - S_U = 0 \quad (3.6.)$$

$$F^0 + P^0 = OLR \quad (3.7.)$$

$$S_U * A = A_A = E_D \quad (3.8.)$$

A (3.5)... (3.8) egyenletekből következik:

$$F^0 + P^0 - S_U + E_D - F - P - K = 0 \quad (3.9.)$$

A (3.5) és (3.6) egyenlet átírható a következő formába:

$$E_U = F + K + P \quad (3.10.)$$

$$S_U - OLR = E_D - E_U \quad (3.11.)$$

Az üvegházhatás pedig:

$$G = S_U - OLR = E_D - E_U \quad (3.12.)$$

Ez az egyenlet egy nettó felfelé és egy nettó lefelé irányuló fluxus egyenlőségét írja le.

$S_U - OLR$ fűti a légkört, $E_D - E_U$ a légkör válasza erre a hatásra: fenntartja az energetikai egyensúlyt a felszínen. (E két hosszuhullámú fluxus jelenléte a légkörben az IR-aktív gázok, GHG-k következménye.) $(S_U - OLR) + (E_D - E_U)$ forrása a bejövő elérhető $F^0 + P^0$ fluxus. Írhatjuk tehát:

$$(S_U - OLR) + (E_D - E_U) = F^0 + P^0 = OLR \quad (3.13.)$$

A (3.8.) felhasználásával (3.13.) –ből kapjuk:

$$S_U = 3 OLR/2 \quad (3.14.)$$

$$G = S_U - OLR = E_D - E_U = S_U/3 \quad (3.15.)$$

$$g = G/S_U = 1/3 \quad (3.16.)$$

Ezekből következik, hogy

- A $g = G/S_U$ normált üvegház-faktor a Föld légkörére nem véletlenszerűen, hanem szükségszerűen egyenlő 0,333-mal;
- Kritikus (vagy egyensúlyi) értéke 1/3;
- Ez közvetlen aritmetikai következménye Miskolczi $A_A = E_D$ egyenletének.
- Az üvegház-függvény $g = 1/3$ és az átviteli függvény $f = 2/3$ értékeit teljes egészében alátámasztják a megfigyelések és egyértelműen megalapozza az elmélet;
- S_U és OLR az $S_U = OLR/f$ összefüggés révén össze vannak kötve a t globális átlagos IR optikai mélységgel az $f = 2/(1 + \exp(-\tau))$ reláció által.

A rendszer a tapasztalat szerint ezen értékeket a jelenben és az ismert leghosszabb (61 éves) adatsoron szigorúan tartja. Miskolczi elméletét egyre többen tartják meghatározónak.

Egy fontos tényt kell megemlíteni: a Föld átlagosan ugyanannyi energiát sugároz ki a világűrbe, mint amennyit a Naptól kap. Van, ami visszaverődik és változatlanul hagyja el a Földet, más része elnyelődik, hővé alakul, és hosszuhullámú sugárzás formájában távozik, összességében annyi energiát kötelezően vissza is kell adnunk, amennyit kapunk.

A helyszín, ahol ez megtörténik, a Föld légkörének külső rétege, ahonnan már akadálytalanul jut ki a hosszuhullámú (hő-) sugárzás a kozmikus térbe. Itt a „világ

tetején” dől el a felszín hőmérséklete. Ez az a fix pont az üvegházhatás folyamatában, aminél fogva „ki lehet billenteni” a Földet a sarkaiból.

A Napból érkező rövidhullámú sugárzás egy része tehát áthatol a légkörön, és melegíti a Föld felszínét, míg a felgyülemlett hó utat nem talál, hogy távozzon a világűrbe, sugárzás formájában.

Itt lépnek be az üvegházgázok, amik elnyelik a kifelé igyekvő hősugárzás egy részét, és mivel tárolni maguk sem képesek, lényegében változatlanul szét is sugározzák. Csakhogy míg a felszín sugárzása felfelé irányul, e gázok molekulái a tér minden irányába sugároznak, tehát a hősugárzás mintegy fele visszaverődik a felszínre.

Innentől kezdve a dolog egyszerűnek látszik, minél több az üvegházgáz (CO_2), annál több sugárzás verődik vissza újra és újra a felszínre, egyre erőteljesebben melegítve azt. Igen ám, csakhogy például a légkörben lévő széndioxid már 10 méteren belül elnyeli a sugárzásnak azt a részét, amit egyáltalán képes elnyelni. A klímaszkeptikusok fel is tették rögtön a kérdést: Nem mindegy, hogy 100-szor, vagy 120-szor nyelődik el, míg fölé a légkör határára? Bizony nem mindegy.

Most nyer értelmet az, hogy fönt, a „világ tetején” dől el, milyen meleg lesz alant, ugyanis minden egyes réteg, amin keresztül kell „verekednie” magát a fölfelé törekvő sugárzásnak, visszasugárzásával hozzáteszi a maga „meleg adagját” az alatta lévő rétegéhez, emiatt a rétegek között ide-oda pattogó sugármennyiség egyre dagad az alsóbb rétegekben ahhoz, hogy az eredeti mennyiség feljuthasson.

A legnagyobb fluxus, a legtöbb adok-kapok a felszín és az első réteg között pingpongozik, itt lesz a legmagasabb a hőmérséklet.

Minél tovább terheljük tehát a környezetünket például az antropogén CO_2 kibocsátással, annál több „takaró” állja útját a távozni kényszerülő energiának, a Föld felszínének egyre melegebbnek kell lenni ahhoz, hogy az a „világ tetejére” feljuthasson.

Súlyosbítja a helyzetet, hogy a CO_2 nem az egyetlen, és nem is a legfontosabb üvegházgáz. A vízgőz, a levegő páratartalma ugyanolyan üvegházhatást okoz, és mivel a hosszuhullámú sugárzás nagyobb részét (spektrumát) képes elnyelni, mint a CO_2 , vagy akár az összes üvegházgáz együttvéve, alapjaiban határozza meg a klíma alakulását.

A vízpára azonban nem annyira állandó összetevője a légkörnek, mint a többi üvegházgáz, amellet, hogy kb. 10 naponta megújul, nem oszlik meg egyenletesen sem időben, sem térben, ezért igen nehéz számolni hatásaival.

Sok ellentétes vélemény lát napvilágot a vízpára szerepével kapcsolatban, ezek között a pesszimistábbak egy szörnyű veszélyre figyelmeztetnek: a pozitív vízpára-visszacsatolás lehetőségére.

Az emberek által a légkörbe juttatott üvegházgázok lassan felszaporodnak, egyre erősebb üvegházhatást okozva megemelik a földfelszín hőmérsékletét. A meleg levegő több vízpárát tud magában tartani, növekszik a légkör abszolút nedvességtartalma, ami újabb melegedéshez vezet, végül az egész egy önfenntartó spirálba kergetheti az klímafolyamatokat, a melegedés újabb és újabb víztömegek légkörbe küldésével önmagát gerjesztő mechanizmussá válhat.

Vannak akik megelőgszenek szolid 5-6 °C emelkedés és az élővilág, valamint az emberiség 90%-ának kipusztulásával, vannak akik – e jelenségre alapozva – már-már vénuszi körülményeket vizionálnak.

Dióhéjban ennyi lehetne a történet, vagy mégsem? Vannak olyanok is, akik szerint csak most kezdődik.

Miskolczi professzor, több éves kutatómunkája során furcsa dologra lett figyelmes. A mérési adatok elemzése – amelyen dolgozott – azt mutatta, hogy a Föld légkörének optikai mélysége, ami az üvegházhatás mértékét is jelenti, nagy pontossággal állandónak bizonyult az évek során annak ellenére, hogy közben az üvegházgázok mennyisége jelentősen változott. Felismert néhány olyan alapvető törvényszerűséget, amit eddig nem vettek figyelembe a klímamodellek.

Elmélete arra a logikusnak mutakozó megállapításra épül, hogy ha a fizika törvényei megengedték volna, hogy a Földön kialakuljon a fent vázolt pozitív vízpára-visszacsatolás mechanizmusa, akkor az már meg is történt volna minden emberi közreműködés nélkül, sőt ez lenne a légkör alapvető tulajdonsága.

A légkör ugyanis magától is eljut, el kellett jutnia, és folyamatosan abban az állapotban is kell lennie, hogy a fizikailag lehetséges legnagyobb üvegházhatást létrehozza. Ez éppen a fent vázolt önerősítő folyamatból következik.

Az elmélet szerint tehát a külső körülmények, és a földi peremfeltételek engedte maximális mennyiségű víz van mindig a légkörben (átlagosan), ez nem csak azt jelenti,

hogy ennél többet nem képes megtartani, hanem azt is, hogy ha más üvegházgáz, például a CO₂ mennyisége megnő, akkor esetleg ennek megfelelő vízpára ki fog szorulni, a rendszer ezzel kompenzálja a CO₂ többletet, vagy más módon szabályozza vissza magát. Hogy ez hogyan zajlik, arról sajnos keveset mond az elmélet, a légkör dinamikája az a szabályozó eszköz, ami fenntartja a stabil állapotot.

Az elmélet mindazonáltal adós marad a rendszer működésének gyakorlati megjelenítésével, mindössze fizikai tételek megfelelő alkalmazásával próbálja egységes rendszerbe foglalni a fent vázolt elképzeléseket.

Azok számára, akik követték a gondolatmenetet az üvegházhatásról, nem szorul magyarázatra az a megállapítás, hogy a légkörnek felfelé haladva egyre hidegebbnek kell lennie, hiszen lényegében alulról, a felszín felől kapja a meleget.

Ez így is van, mondhatnánk, csak hogy sajna a légkör magától is egyre hidegebb, ezt a jelenséget csak „adiabatikus hőmérsékleti gradiens” néven emlegetik. A levegő ugyanis a magasban egyre ritkább és tudjuk, hogy ha egy gázt összepréselünk, felforrósodik, ha meg kitágul, lehűl. Ha közben nem cserél energiát a környezetével, akkor ezt a folyamatot adiabatikus állapotváltozásnak hívjuk.

Legegyszerűbben úgy képzelhetjük el a dolgot, hogy félig megtöltünk levegővel egy léggömböt. Lent mondjuk 20 °C a levegő hőmérséklete, a léggömbé is. Betesszük egy bőröndbe, felrepülünk vele 3 km magasra, elővesszük, láss csodát szép nagyra felfúvódott és éppen olyan -10 °C-os a benne lévő levegő hőmérséklete annyi, mint a légkör 3 km magasban.

Kicsit azért bonyolultabb a helyzet, mert még egy fontos tényező befolyásolhatja ezt a hőmérsékleti gradienst, a vízpára. A vízpára ugyanis hőt von el a környezetétől párolgáskor, amikor „születik”, ám ha a magasban, ahogy hűl a levegő, már nem bírja megtartani a benne lévő vízpárát, az kicsapódik, visszaadja azt a rejtett (latens) hőt, amit párolgáskor kölcsönvett.

Ez a hatás tehát csökkenti a hőmérsékletkülönbséget a légkörben felfelé haladva, amit „nedves adiabatikus hőmérsékleti gradiens” néven emlegetnek.

Mi köze van ennek az egésznek az üvegházhatáshoz?

Nos annyi, hogy amint kifejtettük az üvegházhatás a légkör alsó részében sokszoros energiaáramokat feltételez az eredeti, Naptól elnyelt, és hővé alakult energiához képest, ennek pedig a légkörben az lesz a következménye, hogy a

hőmérsékleti gradiens meredekké válik, egységnyi magasságváltozáshoz nagyobb hőmérséklet-változás járul, mint eredetileg.

Másképp fogalmazva a légkör „tetején” a fix ponthoz képest az üvegházhatás melegebb felszíni hőmérsékletet hoz létre, tehát az a vonal, ami a magassággal változó hőmérsékletet is mutatja, meredekké válik.

Sajnos itt némi konfliktusba keveredett a valósággal kedvenc üvegházelméletünk, ugyanis a légkör hőmérséklete az adiabatikus vonal mentén változik, nyomát sem igen lelmi az üvegházhatás többletének.

Ugyanez történik a levegővel. A légkört tekintve az alulról való fűtés instabil állapotot jelent, a felmelegedett levegő is felfelé törekszik, és igyekszik az adiabatikus gradienshez közeli állapotot helyreállítani.

Ez azt jelentené, hogy nincs üvegházhatás? Dehogyan nincs, csak éppen nem olyan mértékben tud növekedni minden határon túl, mint gondolnánk.

Mit is állít Miskolczi professzor elmélete? Azt, hogy a légkör dinamikája, a levegő mozgásai gondoskodnak róla, hogy az üvegházhatás ne nőhessen az égig.

Ez így is van, azonban az ebből levont következtetés már nem feltétlenül állja meg a helyét.

„Például a megnövekvő CO₂-t csökkenő mennyiségű H₂O kompenzálhatja, majd az általános légkörzés újraszabályozza önmagát, hogy kevesebb rendelkezésre álló vízpárával is fenntartsa a meridionális energiaáramot.” (Miskolczi)

Miskolczi professzor elvi okfejtése tehát akkor is helytálló lehet, ha ez a gyakorlati következtetés helytelen, és a légkör páratartalma nő a hőmérséklet növekedésével. A légköri mozgások ugyanis kialakítanak egyfajta virtuális optikai mélységet, azáltal, hogy a légkör teljes keresztmetszetében nem tud felépülni egy statikus sugárzási tér, a felmelegedett levegő ugyanis folyamatosan fölfelé továbbítja az energia egy részét. Ez látszólagosan csökkenti az optikai mélységet (üvegházhatást) a felfelé haladó hosszuhullámú sugárzás számára ahhoz képest, ahogy az az üvegházgázok mennyiségéből következne.

Ilyen konvektív áramlás kialakulásának a feltételét először Schwarzschild határozta meg és abban áll, hogy a környezet hőmérséklete nagyobb mértékben változzon a magassággal, mint a felfelé törekvő levegő. Ekkor ugyanis haladtával relatíve egyre melegebb lesz, egyre nagyobb felhajtóerő kényszeríti a magasba.

Esetünkben teljesül a feltétel, hiszen az üvegházhatás ilyen hőmérsékleti eloszlást valósítana meg. A konvektív áramlás legfeljebb arra elegendő azonban, hogy az ismert módon megossza a légkör valamely felületén áthaladó energiafluxust radiatív és konvektív összetevőkre. Erősíti viszont ezt a hatást a vízpára említett latens hője is, ami ugyancsak egyfajta energiatranszportot hoz létre a felszín és a magasban lévő légrétegek között, tovább csökkentve a virtuális optikai mélységet.

Mindkét összetevő csökkentheti, de nem stabilizálhatja az optikai mélységet (üvegházhatást), hiszen a konvektív áramlás feltétele a hőmérsékletkülönbség, legfeljebb az üvegházgázok változása okozta hőmérsékleti kényszer lesz így kisebb.

Ne feledjük azonban, hogy az üvegházgázok mennyisége erősíti a konvekciós áramlást még akkor is, ha a felszíni hőmérséklet nem nő, mert a hőmérsékleti gradienst növelné. Ugyanakkora felszíni hőmérséklet mellett tehát gyengébb napsugárzás és több üvegházgáz esetén erőteljesebb lesz a konvekciós áramlás, mint erős napsugárzás, kevés üvegházgáz mellett.

Ez már stabilizáló tényező, de van a légköri vízkörforgásnak még két tulajdonsága, ami ugyancsak ebben az irányban hathat. Az egyik a felhőképződés, amiről sok irodalom szól, amit itt nem fejtenénk ki bővebben, a másik a víz párolgása folyamán képződő latens hő szerepe különböző helyzetekben.

Fontos megjegyeznünk, hogy a párolgás mértéke energiakérdés, tehát nem a levegőben tartózkodó vízmennyiségtől függ, és viszont.

Korábban arról volt szó, hogy a melegebb levegő több párát képes megtartani, ami növeli az üvegházhatást, ám ez csak részben igaz. A vízpára ugyanis különleges üvegházgáz. Nincs ingyen. Folyamatosan pótolni kell, mert jelenleg körülbelül 10 nap alatt kiürül a légkörből. A pótlás energiát von el a felszíntől, ez a latens hő, ami a felhőmagasságokban kerül vissza a rendszerbe.

Más üvegházgáz energiaegyenlege csupán az általa okozott üvegházhatásból számolható, a vízpára esetén ebből le kell vonni a párolgáshoz szükséges energiát.

Az üvegházgázok okozta hőmérsékleti kényszert logaritmikus összefüggéssel írjuk le, tehát a gázmennyiség minden duplázódása fix értékű hőmérséklet emelkedést okoz. Csakhogy minden duplázódás dupla párolgási mennyiséget feltételez a vízpára esetében, könnyen belátható, hogy minél nagyobb a páratartalom, annál kisebb

üvegházhatást hoz létre a további növekedés, sőt a görbének van olyan szakasza, ahol az energiamérleg negatívba fordul.

Egy bizonyos határ fölött a többletpárolgáshoz szükséges többlet hő, amit a felszíntől von el, nagyobb lesz, mint a többlet üvegházhatás, amit a többlet vízpáratartalom okoz.

Eddig feltételeztük, hogy a vízpára tartózkodási ideje a légkörben állandó, tehát minden párolgási többlet automatikusan növeli a levegő páratartalmát. Ez nem egyezik a jelenlegi gyakorlati megfigyelésekkel, mondhatni a legrosszabb esetet vettük alapul. Elvileg lehet állandó, nőhet és csökkenhet is az az időtartam, amit a vízpára a levegőben tölt, ám melegedéskor erősödnek a légköri mozgások, feltételezhető, hogy inkább csökken a légköri tartózkodási idő.

A valóságban a levegő páratartalma globálisan a légkör mai állapotában nem változik számottevően, tehát a többletpárolgás minden esetben hőelvonással jár, negatív visszacsatolást jelent a légköri folyamatokban.

Összegzés:

- Az energia a légkör alsóbb rétegeiből részben termikus sugárzással, részben konvekciós áramlás útján jut abba a magasságba, ahonnan már képes a világuírbe szétsugárzódni. A konvekciós áramlás inkább az alsóbb rétegekre jellemző és erősege arányosan nő az üvegházgázok mennyiségével.
- A fenti jelenség csökkenti a légkör mérhető optikai mélységét, csökkenti az üvegházhatást.
- Az üvegházhatás növekedése erősíti a párolgást, ami hőt von el a felszíntől, a többlet hőelvonás egy bizonyos határ felett mindenképp nagyobb lesz, mint az a hőtöbblet, amit a megnövekedett páratartalom hozhat létre.
- Az eddig feltételezett pozitív vízpára-visszacsatolás jelensége csak nagyon alacsony páratartalom esetén létezik, a páratartalom növekedése magas légköri páratartalom esetén stabilizációs hatásúvá válik.
- Miskolczi professzor elméleti levezetése akkor is helyes lehet, ha a légköri vízpára mennyisége nem csökken, sőt növekszik a többi üvegházgázzal együtt a fentiek alapján.

3.6 Irodalomjegyzék

- [3.1] IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. (<http://www.ipcc.ch>)
- [3.2] IPCC-DÖ, 2007: Éghajlatváltozás 2007. Az IPCC Negyedik Értékelő Jelentését megalapozó Munkacsoportok Döntéshozói Összefoglalói. KvVM-OMSZ, Budapest 89 o. (http://www.met.hu/pages/ipcc/ipcc_eghajlatvaltozas_2007.pdf)
- [3.3] Czelnai R., Götz G., Iványi Zsuzsanna: Bevezetés a meteorológiába II. A mozgó légkör és óceán, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998. a) 346-347. b) 11-14. c) 56-61, 303-307.
- [3.4] M. Hantéi (szerk.): Observed Global Climate in Landolt-Börnstein, New Series, Group V Geophysics, Vol. 6, Springer-Verlag, Berlin, 2005. a) 5-4. b) 5-12.
- [3.5] Phillips, Norman A.: "The general circulation of the atmosphere: a numerical experiment". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 82 (352): 123–154. (1956).
- [3.6] Lynch, Peter: "The ENIAC Integrations". The Emergence of Numerical Weather Prediction (2006) Cambridge University Press. [ISBN 9780521857291](https://doi.org/10.1017/9780521857291).
- [3.7] McGuffie, K. and A. Henderson-Sellers: A climate modelling primer, John Wiley and Sons (2005) ISBN 9780470857519.
- [3.8] High Resolution Global Environmental Modelling (HiGEM) home page. Natural Environment Research Council and Met Office. 18 May 2004. <http://higem.nerc.ac.uk> 2010 október. 5.
- [3.9] Miklós Ákos Márton: Hová ültessünk pálmát Magyarországon – Avagy egy kis gyakorlati klimatológia, <http://palmaligetmagyarorszag.com/modules/news/article.php?storyid=382>
- [3.10] Lomborg, Bjorn): Coolit - Hidegvér. Typotex, Budapest (2008).
- [3.11] Major György: A környezeti előrejelzésről. In: Jávor András – Fürjéné Rádi Katalin (szerk.): Természeti energiák használata és szolgáltatása a társadalomnak DE Agrártud. Centrum, Debrecen, 35-43. (2007).
- [3.12] News and Informations to Physics and Engineering Section of Academia Europea, Institute of Physics" and Technology of University of Bergen, 2009

- [3.13] Raymo, Mauren E., Huybers, Péter: Unlocking the Mysteries of the Ice Ages, Nature 451, 284-285. (2008).
- [3.14] Császár Géza, Haas János, Nádor Annamária: A földtörténet klímaváltozásai és azok tanulságai. Magyar Tudomány. 169, 663-687. (2008) <http://www.matud.iif.hu/08jun/03.html>
- [3.15] Szász Gábor magánközlés, DE Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma, Debrecen (2009).
- [3.16] Végh László, Szám D., Hetesi Z.: Utolsó kísérlet, Kairosz, Budapest (2009).
- [3.17] Mika János: A globális és a regionális klímaváltozás újdonságai, Ezredforduló, 2, 19-24. (2007).
- [3.18] Major György: A Föld éghajlatának vázlatos története, Debreceni Szemle, 18, 221-231. (2010).
- [3.19] Reményi Károly: A konszenzus és evidencia nem tudományos érv, Magyar Tudomány, 171, 44-48. (2010). <http://www.matud.iif.hu/2010/01/09.htm>
- [3.20] Szarka László Mozaikok az éghajlatkutatáshoz. Magyar Tudomány. 171, 609-611. (2010). <http://www.matud.iif.hu/2010/05/13.htm>
- [3.21] Czelnai Rudolf: Válasz Reményi Károly észrevételeire, Magyar Tudomány, 170, 2, 237-239. (2009). <http://www.matud.iif.hu/2009/09feb/15.htm>
- [3.22] Vörös Attila, Pálffy József: Gyors változások evolúciós hatásai, Magyar Tudomány. 169, 6, 688-697. (2008). <http://www.matud.iif.hu/08jun/04.html>
- [3.23] Abonyi Iván: Jégtömbök és jégsapkák olvadása, Természet Világa. 139, 9, 429. (2008).
- [3.24] Pósnán László: A középkori Európa válsága. Klímaváltozás, természeti katasztrófák, éhínségek, járványok, háborúk. Debreceni Disputa. 7, 2, 47-51. (2009).
- [3.25] Berényi Dénes, id.: Az utóbbi évek rendkívüli időjárási viszonyai a Tiszántúli Mezőgazdasági Kamara területén. Tiszántúli Öntözésügyi Közlemények. 11-12, 1-46. (1942).
- [3.26] Leggett, Jeremy: A fele elfogyott. Typotex, Budapest (2008).
- [3.27] Kutschera, Walter: AMS and Climate Change. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Bz68, 7-8, 693-700. (2010).

- [3.28] Stern-jelentés: <http://www.humusz.hu/hirek/stern-jelentes-osszefoglaloja-magyarul/i83i>
- [3.29] Láng István – Csete L. – Jolánkai M.: A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA-jelentés. Szaktudás, Budapest (2007).
- [3.30] a) Muzsnay Csaba: Műszaki Szemle (EMT) (2010) Y 49, 29-35. b) Muzsnay Csaba: XV Nemzetközi Vegyészkonferencia, Marosvásárhely, 2009. november 14., 59. c) Muzsnay Csaba és ifj. Muzsnay Csaba: XY Nemzetközi Vegyészkonferencia, november Marosvásárhely, 2009. november 14., 77. d) Muzsnay Csaba: A Magyar Tudomány Napja Erdélyben, Őszi Természettudományi Konferencia, Kolozsvár, 2009, 34. e) Muzsnay Csaba: Összegyűjtött előadások, dolgozatok: Önkéntes Műnyilvántartás! szám: 001277/2010 - Magyar Szabadalmi Hivatal f) Muzsnay Csaba: „A fenntartható fejlődés, valamint a környezet- és természetvédelem összefüggései a Kárpát-medencében" konferencia, Pécs, 2010. szeptember 15. - előadás g) Muzsnay Csaba: XVI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, 2010. november 11., 63. h) Muzsnay Csaba: Műszaki Szemle (EMT) (2010) Y 52, 32-39. i) Muzsnay Csaba: EME felolvasóülés, Kolozsvár, 2011. január 28.
- [3.31] Environmental Science Published for Everybody Round the Earth Educational Network on Climate, ESPERE Climate Encyclopaedia, author: Elmar Uherek, Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, 2004, állandóan bővítve; magyar változat: <http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2640:1>) légkör/alsó légkör; <http://www.espe-re.net/> a) alsólégkör, alapfok, 3. komponensek (forrás: NASA vízgőz- project NVAP alapján, <http://www.cira.colostate.edu/climate/NVAP/nvapcira.htm>) b) alsó légkör, haladó, 4. Gázok a légkörben 1. Eloszlás & Koncentráció, c) alsó légkör, haladó, 2. Sugárzás & üvegházgázok / Vízgőz és a felhők, d) Óceánok
- [3.32] a) Császár Attila, Természet Világa (2009) Y140(2), 60-64. b) Császár A., Furtenbach T, Czakó G, Magy. Kém. F. (2006) 112 (4) 123-8.
- [3.33] Láng István (főszerk.): Környezet- és természetvédelmi lexikon, I, II. kötet, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2002.

- [3.34] M. Chaplin, Water structure and behavior, <http://www.lsbu.ac.uk/water/molecule.html>; (<http://www.lsbu.ac.uk/water/chaplin.html>) - rendszeresen és gyakran felújított fejezetekkel.
- [3.35] Cs. Muzsnay, a) Stud. Univ. Babeş-Bolyai, Ser. Chem. (1984) 29, 49. b) Magy. Kém. Foly. (1987) 93(2) 54.
- [3.36] P. C. Gómez, O. Gálvez, R. G. Mosteo, Cr. Puzzarini, R. Escribano, Phys. Chem. Chem. Phys. (2010) 12, 4617.
- [3.37] E. Tsvion, R. B. Gerber, Chem. Phys. Lett. (2009) 482, 30.
- [3.38] R.W. Atkins, Fizikai kémia, L kötet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1992. 1. és 6. fejezet.
- [3.39] Preisich Miklós (szerk.): „Vegyészek zsebkönyve”, 3. bővített és átdolgozott kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
- [3.40] A Arking., J.: Climate (Boston) (1999) Y 12 (6), 1589.
- [3.41] Fizikai kislexikon, Kriterion kézikönyvek, Bukarest, 1976. 339.
- [3.42] F. M. Miskolczi, a) Időjárás (2007) 111, 1, 1-40. b) Energy & Environment (2010) 4, 243-262. c) Mégsem növekszik a globális felmelegedés a szén-dioxid koncentrációjával?, Erdély Ma, 2011. február 17.
- [3.43] HARTCODE: High Resolution Atmospheric Radiative Transfer Line-by-Line Code — MISKOLCZI 1989 http://miskolczi.webs.com/hartcode_v01.pdf
 Verification: Kratz-Mlynczak-Mertens-Brindley-Gordley-Torres-Miskolczi-Turner: An inter-comparison of far-infrared line-by-line radiative transfer models. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer No. 90, 2005.
 Miskolczi and Guzzi: Effect of nonuniform spectral dome transmittance on the accuracy of infrared radiation measurements using shielded pyrrometers and pyrgeometers. Applied Optics, Vol. 32. No. 18., 1993.
 Rizzi-Matricardi-Miskolczi: Simulation of uplooking and downlooking high-resolution radiance spectra with two different radiative transfer models. Applied Optics, Vol. 41. No. 6, 2002.

4 A Kárpát-medence várható klímája a jelen évszázadban

4.1 A hazai éghajlatkutatás múltja

Hazánk éghajlatának leírásához, számszerű jellemzéséhez hosszú sorozatú és sok elemre kiterjedő meteorológiai adatbázis szükséges. A kezdetben hőmérséklet- és csapadékmérésekre alapozott időjárás-megfigyelések Magyarországon a 18. században indultak meg elsőként Sopronban, Eperjesen és Késmárkon. A rendszeres műszeres mérések 1781-ben kezdődtek, amikor a Mannheimben működő Societa Meteorologica Palatina által létesített európai megfigyelő hálózat egyik állomásaként Buda is bekapcsolódott az első nemzetközi, s a korábnál már komplexebb meteorológiai adatgyűjtésbe.

1850-ben az akkori Magyarországon az osztrák központi meteorológiai intézet szervezésében öt időjárás-figyelő állomás (Buda, Selmecbánya, Pozsony, Nagyszében és Brassó) működött, majd 1870-ben, amikor megalakult az önálló magyar meteorológiai intézet, számuk 42-re emelkedett. Az ezt követő 15 évben a hazai meteorológiai állomások száma gyorsan gyarapodott. 1885-ben már 230 helyen működött állomás, amelyből 50 csapadékmérési adatokat szolgáltatott, míg a többi 180-on több éghajlati elemre kiterjedő adatgyűjtés folyt. E megfigyelések alapján a 19. század második felében egyre-másra jelentek meg az ország éghajlatát leíró munkák. Az 1890-es évektől az időjárással kapcsolatos észlelések köre tovább bővült. Különböző mérőműszereket helyeztek el az állomásokon, sőt négy obszervatórium is létesült (Ógyalla, Kalocsa, Temesvár, Zágráb), ahol már részletes mérési programok folytak. Abban az évtizedben indult meg a hóvastagság, a szél, a napfénytartam és a csapadékmennyiség mérése is. Továbbra is gyorsan gyarapodott a megfigyelőhelyek száma: 1900-ban már 765, 1910-ben pedig 1426 meteorológiai állomás működött a történelmi Magyarországon. Méréseik több évtizedes adatbázisára és az addig megjelent monográfiákra támaszkodva írta meg Róna Zsigmond a *Magyarország éghajlata* c. könyvet (1909), amely több évtizeden át határkövet jelentett a hazai éghajlatkutatás történetében. [4.1]

A trianoni békeszerződést követően (1920) az új országhatárokon belül 320-ra csökkent a meteorológiai állomások száma. Közülük 55 volt klímaállomás és 265

csapadékmérő hely. A két világháború közötti évtizedekben az összezsugorodott országterületen újból megkezdődött a megfigyelő hálózat bővítése, ami a második világháború után sem fejeződött be. Ennek eredményeként a hazai meteorológiai állomások száma 1956-ra 1135-re növekedett, majd az 1970-es évek elejére szelektív fejlesztések eredményeként 900-ra csökkent, s ez a szám nagyjából állandósult. A 20. század utolsó negyedében 22 főhivatású, óránként észlelő, ún. szinoptikus meteorológiai állomás, 120 db napi három mérést végző klímaállomás működött az országban, hozzávetőlegesen arányos területi eloszlásban. Rajtuk kívül több mint 750 csapadékmérő állomás gyűjtötte az időjárási, éghajlati, agrometeorológiai és levegőkémiai adatokat az ország területéről.

A mérési program a pestszentlőrinci Aerológiai Observatórium megépülésétől (1952) kezdődően rendszeres magaslégköri megfigyelésekkel és ionoszférakutatásokkal bővült. A második rádiószondázó observatórium felépülése (1961, Szeged) tovább bővítette a korszerű eszközökkel végezhető megfigyelések körét.

Az egyszerűbb agrometeorológiai megfigyelések is a 19. század végén kezdődtek, a részletes programok megindulása azonban már a hazai agrometeorológiai observatóriumok létesítéséhez (Martonvásár 1955, Kecskemét 1959, Szarvas 1974) kapcsolódik. A klímakutatások szempontjából további előrelépést jelentett az országos párolgásmérőkád-hálózat és a csapadékkémiai mérőhálózat kiépítése az 1960-as és az 1970-es években. Hazánk éghajlatának megismeréséhez ez a viszonylag hosszú ideje folyó hálózati adatgyűjtés szolgál alapul. A másfél évszázada gyűlő meteorológiai adatbázist az Országos Meteorológiai Szolgálat archívumában őrzik.

A 20. században végzett meteorológiai mérések és megfigyelések felhasználása alapozta meg azokat a kutatásokat, amelyek eredményei egyre sokoldalúbb képet tártak elénk az ország klímájáról. Bacsó Nándor *Magyarország éghajlata* c. könyve (1959) az éghajlatkutatás akkori legfrissebb eredményeit alapul véve adott átfogó képet országunk éghajlatának sajátosságairól, míg a legtöbb számszerűsített információt *Magyarország éghajlati atlasza* (1960, szerk.: Kakas József) és ennek *Adattára* (1967), valamint Péczely György *Éghajlattan* (1979) c. kézikönyve tartalmazza.

A hatalmas meteorológiai adatbázis, továbbá a hazai éghajlatkutatások eredményei lehetővé teszik éghajlatunk részletes elemzését, és alkalmasak arra is, hogy választ kaphassunk az éghajlat-ingadozás mikéntjére, az éghajlatváltozás lehetséges trendjének alakulására.

4.2 Magyarország hőmérsékleti viszonyai

Leghidegebb hónapunk a január, a havi középhőmérséklet értéke délről-északra, és nyugatról- keletre haladva egyaránt csökken. A legenyhébbek a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölötti átlaghőmérsékletekkel a délnyugati, a leghidegebbek $-3, -4\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti átlaghőmérsékletekkel északkeleti területeink. Ez a hőmérséklet eloszlás jól illeszkedik az európai kontinens általános januári izoterma rendszerébe, s nyugat-délnyugat felől érkező meleg, valamint az északkeletről származó hideg légtömegek hatását tükrözi. Január és általában a téli hőmérsékletünk évről-évre nagy változékonyságot mutat. Így például januárban előfordult már hazánkban -9 , illetve $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ középhőmérséklet, de volt már $5-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ középhőmérsékletű januárunk is. Az első érték Finnország szokásos januári középhőmérsékletének felel meg, míg az utóbbi anomália a francia és az olasz Riviera télközépi hőmérsékletével azonos.

	Jan.	Feb.	Már.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Sze.	Okt.	Nov.	Dec.	évi
<i>Budapest</i>	<i>-0,67</i>	<i>0,98</i>	<i>5,95</i>	<i>11,2</i>	<i>16,4</i>	<i>19,6</i>	<i>21,6</i>	<i>20,7</i>	<i>16,6</i>	<i>11</i>	<i>5,33</i>	<i>1,5</i>	<i>10,8</i>
Szombathely	-1,63	-0,18	4,61	9,75	14,9	18	20	18,9	14,9	9,64	4,31	0,64	9,49
Árvaváralja	-4,2	-2,7	0,9	6,4	11,4	14,7	16,1	15,3	12	7,2	2,7	-1,4	6,5
Kolozsvár	-4,4	-2,3	3,2	9	14,1	17,2	18,9	18,2	14,2	8,8	3,1	-1,6	8,2
Debrecen	-2,22	-0,47	5,02	10,8	16,5	19,6	21,5	20,3	16,1	10,3	4,6	0,5	10,2

4.1. táblázat: A hőmérséklet havi átlagai Budapesten és négy kárpát-medencei nagyrégiót reprezentáló állomáson: Szombathelyen, Árvaváralján, Kolozsváron és Debrecenben 1901-1960 között [4.2.]

Legmelegebb hónapunk a július, amikor a hőmérséklet délről-északra haladva csökken, ám nyugatról-kelet felé haladva növekszik. Így nyár közepén a leghűvösebbek az észak-nyugati országrészek, $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ feletti középhőmérsékletekkel. A nyárra jellemző ilyen hőmérséklet-eloszlásban az északnyugat felől érkező hűvös óceáni, és a délkelet felől beáramló meleg kontinentális légtömegek hatása tükröződik. A július, és általában a nyári hónapok hőmérsékletének évről-évre való változékonysága nem olyan nagy, mint a téli hónapoké. A leghidegebb júliusunk középhőmérséklete $17-18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ között, a legmelegebbé $24-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ között váltakozhat, ami a nyár kiegyenlítettebb időjárására utal. Hazánkban a hőmérséklet évi menete igen szabályos eloszlást mutat, januártól júliusig fokozatosan növekszik a hónapok átlaghőmérséklete, majd júliustól januárig folyamatosan csökken. [4.2]

Az évi középhőmérséklet az ország déli-délkeleti területein a legmagasabb 11-11,5 °C körül alakul, északon azonban már csak 8-9 °C körüli értékek fordulnak elő. Országos átlagban jó közelítésnek fogadható el a 10 °C évi középhőmérséklet. Azonban ismernünk kell az abszolút hőmérsékleti maximumok és minimumok tartományát. Az évi legnagyobb felmelegedés átlagértéke Magyarországon a 200 méter alatti területein 33-36 °C, a legnagyobb lehűlés pedig -16, -19 °C. Sík vidékeinken a leghűvösebb nyáron is számíthatunk 30 °C-t meghaladó hőmérsékleti maximumra, s az abszolút hőmérsékleti csúcserték ezeken a vidékeken 38-41 °C között ingadozik. Extrém nyári hőségek idején még 1000 méter magasan is előfordulhat 30-31 °C-os léghőmérséklet. A számításba vehető legerősebb fagy az ország túlnyomó részén -25, és -30 °C közé esik. Az Alföld mélyebb fekvésű területein, és a hegyek közé ékelődő völgyekben a hideg összegyülekezése miatt a szélsőséges hideg a -30, -35 °C-ot is elérheti.

4.3 Magyarország csapadékviszonyai

A Kárpát-medencében a csapadék területi eloszlásában jelentős különbségek mutatkoznak, a Kárpátokban elérheti 1000-1400 mm-t, de a legcsapadékosabb délnyugat-magyarországi területeken is meghaladja a 900 mm-t. Ezeknek a csapadékos területeknek az ellenpontjai az Alföld középső területei 480-500 mm-rel, és a hegyvonulatok közé zárt Gyergyói, Csíki- és Háromszéki medence 5-600 mm-rel. A legtöbb csapadék hazánkban május-július között esik, a nyugati peremterületeken a július, a Dunántúl vidékén a május, az Alföldön pedig a június a legesősebb. Az ország déli területein, jelentkezik egy őszi (október-novemberi) másodlagos csapadékmaximum is, amely a mediterrán éghajlati hatás következménye. A legkevesebb csapadék január-február hónapban esik. A csapadék mennyisége évről-évre rendkívül változó mennyiségben hull. A legszárazabb esztendőben az Alföldön 290-320 mm körül alakult a csapadék mennyisége, míg a legcsapadékosabb Dunántúli területeken 1100-1400 mm-es éves átlagok is előfordultak. A csapadék éven belüli eloszlása is nagyon változékony. A hosszú csapadék idősorok tanúsága szerint majd minden hónapban előfordulhat teljes csapadékhiány, ám a nyári félévben havi 200-300 mm-es csapadékmennyiségek is hullhatnak.

Évi csapadékunk átlagosan 120-160 napon hull le, közelítőleg tehát az év minden harmadik napján számíthatunk csapadékra. A csapadékos napok eloszlása azonban nem egyezik meg a csapadék mennyiség éves eloszlásával, ugyanis a legtöbb

csapadékos nap ősz végén és tél elején, a legkevesebb a nyár végén fordul elő. Ebből az következik, hogy nyári csapadékunk kevesebb alkalommal hulló nagyobb, az őszi-téli csapadék pedig több-kisebb intenzitású esőből származik. Éghajlatunkon a csapadék egy része hó alakjában hull le. Alacsonyabb fekvésű területeinken évente átlagosan 20-30 napon havazik, magasabb hegyeinkben azonban 50-60 havazásos napra is számíthatunk. A hó alakjában lehulló csapadék az Alföldön és a Dunántúlon átlagosan 50-100 mm, a hegyvidékeken azonban helyenként meghaladhatja a 150 mm-t is. Sík vidékeinken az évi összcsapadék 10-15%-a, hegyvidékeinken 20-25%-a származik havazásból.

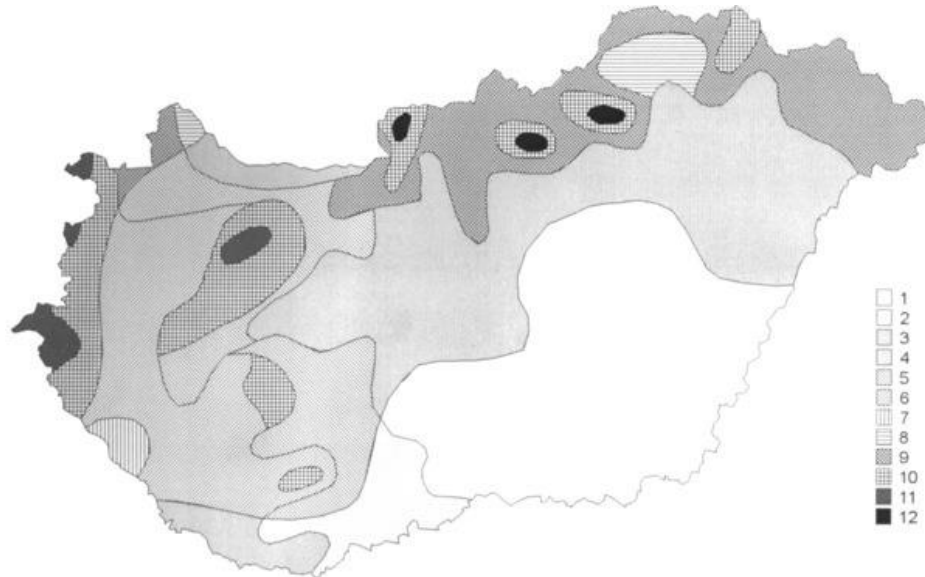
	Jan.	Feb.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Sze.	Okt.	Nov.	Dec.	évi
Budapest	40,1	39,2	42,2	51,6	68,3	71,9	53,5	48,8	44,5	54,3	61	51,7	626
Szombathely	29,5	28,3	36,9	48,5	68	77,3	91,7	79,4	61,4	53,8	48,7	42,4	665
Árvaváralja	45	48	50	52	76	101	112	101	68	64	60	44	821
Kolozsvár	27	26	27	51	75	99	81	78	50	43	29	28	613
Debrecen	34,1	34,8	33	43,8	61,3	74,7	58,5	61,8	45,6	49,2	50,8	43,3	591

4.2. táblázat: *A csapadék havi átlagai Budapesten és a négy kárpát-medencei nagy régiót reprezentáló állomáson: Szombathelyen, Árvaváralján, Kolozsváron és Debrecenben 1901-1960 között*

Fagypon alatti hőmérsékletek esetén a havazásokból rövidebb-hosszabb ideig tartó hótakaró képződik. A legrövidebb ideig a hótakaró az Alföld középső és déli területein tart, ahol átlagosan mindössze 30-35 hótakarós napra számíthatunk. A Dunántúl nagy részén a viszonylag enyhébb tél ellenére is 40-45 hótakarós nap fordul elő. A 600-800 méter magas hegyvidékeken 100-120 napon keresztül borítja hóréteg a talajt. Ám hosszan tartó zord teleken 80-100 napon keresztül is boríthatja hótakaró az Alföld vidékét, magasabb hegyeinkben pedig akár 140-160 nap is lehet a hóborítottság időtartama.[4.2]

A Köppen-féle osztályozás szerint az ország területének túlnyomó része az ún. meleg, mérsékelt éghajlat övezetbe – egyenletes évi csapadékeloszlással – kisebb része az ún. boreális éghajlat övezetbe – hideg tél, egyenletes évi csapadékelosztással. A Trewartha-osztályozás szerint hazánk az ún. hűvös éghajlatokhoz tartozik. Az osztályozás tekintetbe veszi a növényföldrajzi adottságokat és az éghajlat genetikus tényezőit is, ezért a felületszerű osztályozásra jobban alkalmas, mint a meteorológiai

adatokra épülő Köppen-féle. Az éghajlati körzetek kijelölésekor a Trewartha-osztályozás a vízellátottságot és a hőellátottságot veszi alapul. A vízellátottság az ariditási indexhez (H) méri a nedvességtartalmat. (Az ariditási index a légnyomás és az évi csapadékmennyiség hányadosa.)



4.1. ábra: A víz- és hő ellátottság szempontjából szóba jöhető 16 kombináció közül hazánkban 12 éghajlati körzet különböztethető meg: 1. Meleg, száraz 2. Meleg, mérsékelten száraz 3. Meleg, mérsékelten nedves 4. Mérsékelten meleg - mérsékelten száraz 5. Mérsékelten meleg - mérsékelten nedves 6. Mérsékelten meleg- nedves 7. Mérsékelten hűvös – száraz 8. Mérsékelten hűvös - mérsékelten száraz 9. Mérsékelten hűvös - mérsékelten nedves 10. Mérsékelten hűvös – nedves 11. Hűvös és nedves 12. Igen hűvös – nedves

4.4 Az éghajlatváltozások magyarországi sajátosságai

Az éghajlati változások egyik legfontosabb jegye a Kárpát-medencében a „természetes évszakok” időtartamának és időhatárainak megváltozása volt. A kis jégkorszak idején a március gyakorlatilag téli hónappá vált, a június pedig valójában tavaszi hónap lett, a nyár időtartama júliusra és augusztusra korlátozódott. Ezzel szemben a jelenkori felmelegedés során a téli hónapok időjárása vált tavasziassá, a nyári hónapok pedig sokat veszítettek önálló éghajlati karakterükből.

A kis jégkorszak okozta lehűlés elsősorban a téli félév hideg időjárásában mutatkozott meg, ám lényegesen nagyobb jelentőségű volt (mindenekelőtt a vegetációs időszak szempontjából) a nyári félév csapadéktöbblete. A jelenkori felmelegedés idején

a Kárpát-medencében, a téli félév lényegesen enyhébbé vált, míg a nyári félévben erőteljes szárazodási trend jelentkezett.

Az egész évre vonatkozó hőmérsékleti és csapadék idősorok tanúsága szerint a kis jégkorszak hűvös és csapadékos időjárással jellemezhető éghajlati rendszere a 16. század második felétől a 18. század végéig határozta meg a Kárpát-medence éghajlatát. Nem szabad megfélemednünk arról, hogy éppen ebben az időszakban a Balaton vízszintje 4 méterrel magasabb volt a jelenlegi szintnél, ami meggyőző mutatója a csapadékmérleg kora újkori kárpát-medencei megváltozásának. A 19. század első felétől a 20. század derekáig tartó másfél évszázadot átmeneti éghajlat jellemezte, amelyen belül enyhébb és hűvösebb, csapadékosabb és szárazabb évtizedek váltották egymást. A 20. század derekán azonban kibontakozni látszik a jelenkori felmelegedés meleg és száraz időjárással jellemezhető éghajlati rendszere.

A jelenkori felmelegedés veszélyességét növeli, előre jelezhetőségét pedig megnehezíti, hogy létrejöttében eddig mind az öntörvényű természeti-környezeti folyamatoknak, mind pedig az emberi-ipari tevékenységnek szerepe volt, ráadásul a két tényező által előidézett hatások egymást erősítik. Feltételezésünk szerint az utóbbi kétezzer év évszázados léptékű éghajlati változásait számba véve megkockáztatható az állítás, hogy a jelenkori felmelegedés természeti- környezeti okokra visszavezethető folyamata várhatóan 3-600 évig tart (amiből közel 140 év már eltelt), hiszen a „római optimumtól” a „kis jégkorszakig” az utóbbi két évezred klímaváltozásai egyaránt ilyen időhatárok között váltották egymást, s a jelenkori felmelegedés illeszkedik a hosszú távú éghajlati ciklusok sorába. Ám jelenlegi ismereteink szerint nem lehet pontosan felmérni és előre jelezni a klímaváltozás forgatókönyvét meghatározó környezeti és az antropogén folyamatok kölcsönhatásait.

4.5 A környezeti változások hatásai a társadalomra

Az elmúlt 100-150 évben nem csak a klíma változott, hanem a társadalomban is olyan folyamatok, események zajlottak, amelyek növelték az éghajlattal és az időjárással kapcsolatos kockázatokat. Ezek közül Magyarországon a legfontosabbak:

- Hosszabb lett az élettartam, ami azt jelenti, hogy több az idősebb ember, akik érzékenyebbek az időjárási eseményekre;
- Megháromszorozódott a városlakók aránya és így a hőség hullámok káros hatásai szélesebb néprétegeket érintenek;

- Nagyfokú függőség alakult ki a villamos energia ellátástól; szélsőséges időjárás okozta műszaki problémák megbéníthatják a tömegközlekedést, a lakások fűtését, hűtését, világítását;
- A vezetékes ivóvízellátást is veszélyeztethetik a szélsőséges meteorológiai események a sérülékeny vízbázisok esetében;
- Megjelentek és elterjedtek az energiatároló légkondicionáló berendezések;
- A szabad ég alatt drágább eszközök, berendezések találhatóak, mint korábban, amelyek az időjárás okozta sérülések esetén nagy kárt szenvednek.

Tehát az olyan megjegyzések, hogy „*régen is voltak viharok, jégesők, hőségperiódusok és túléltek azokat*”, csak részben igazak, mert a társadalomra gyakorolt hatása (vagyon- vagy egészségi) lényegesen eltérő jellegű és mértékű, mint amit korábban tapasztaltak.

A társadalom klímaérzékenysége, klíma sérülékenysége napjainkban sokkal nagyobb, mint 100-150 évvel ezelőtt. Ez a tény is indokolja, hogy az időjárás okozta biztonsági kockázatokra nagy figyelmet fordítsanak. Természetesen bekövetkeztek az elmúlt évek alatt kedvező és előnyös változások is. Elegendő az időjárás előrejelzés megbízhatóságára utalni. Továbbá korszerűsödtek a védekezési eljárások és technológiák is. Kiepültek a helyi és országos katasztrófa-elhárítást, kármentesítést végző csoportok vagy szervezetek. Az új távközlési rendszerek (pl. mobiltelefonok) a védekezés hatékonyságát növelik az észlelés, riasztás és a kapcsolattartás segítségével. Végkövetkeztetésként megállapítható, hogy egységes rendszerben célszerű szemlélni a klíma és a társadalom változását, átalakulását.

4.6 Éghajlati tendenciák a Kárpát-medencében

Az éves középhőmérsékletek sorozata a XX. század elejétől tendenciájában jól követi a globális hőmérséklet alakulásának ismert hullámát. Az 1901-2004 időszakban a melegedés mintegy 0,76 °C-ot tesz ki, értéke még a 90%-os megbízhatósági szint alsó határát figyelembe véve is legalább 0,38 °C. Magyarország átlagos évi középhőmérséklete az 1961-90-es normál időszakban 9,96 °C. Annak érdekében, hogy a változásokat jobban követhessük, az évszakok szerinti vizsgálatnál az anomáliákat, vagyis az 1961-1990-es sokéves átlagtól való eltéréseket mutatjuk be.

Az ingadozás mértéke a rövidebb időszak miatt sokkal nagyobb, mint éves szinten. A tavaszok sokéves átlaghőmérséklete 1961-1990 között 10,33 °C. Az utóbbi

évek jelentős pozitív eltérései miatt a tavasz melegedése is mintegy $0,77\text{ °C}$ a 104 év alatt. A melegedési tendenciát legjobban a nyarak hőmérséklete tükrözi. 1901-től napjainkig a melegedés körülbelül 1 °C erre az évszakra. Az 1961-1990-es időszakban a nyarak átlagos hőmérséklete $19,61\text{ °C}$. Míg az elmúlt 15 évben sok, jelentősen átlag feletti hőmérsékletű nyár volt, a hűvös nyarak inkább a XX. század elején domináltak. Az őszyk hőmérsékletének növekedése lassabb a többi évszakéhoz képest, $0,4\text{-}0,5\text{ °C}$ -ot ér el 104 év alatt. Ennek fő oka a XX. század közepén fellépő meleg őszyk. Az 1961-1990-es időszak ezen évszakainak átlaghőmérséklete $10,28\text{ °C}$. A hideg őszyk a XX. század első felében voltak uralkodóak. Az 1961-90-es időszakban a telek átlagos hőmérséklete országos átlagban $0,38\text{ °C}$. Bár az elmúlt évtizedre nem jellemzőek az enyhe telek, a téli időszakban is mintegy $0,76\text{ °C}$ -ot emelkedett az évszakos átlag a 104 év alatt, döntően annak köszönhetően, hogy a közelmúltban nem volt nagyon hideg telünk.

Magyarország átlaghőmérsékleti térképe elsősorban a zonalitás jegyeit hordozza, amit a domborzati hatások módosítanak. Az 1995-2004 időszak középhőmérsékletei alapján kimutatható, hogy az ország legnagyobb része a $10\text{-}10,5\text{ °C}$ -os tartományba esik, de a déli területeken, illetve a délies, dél-nyugatias lejtőkön a 11 °C -ot meghaladó átlag is előfordulhat. Míg az 1975-2004 időszak első két évtizede közötti melegedés nem érte el a $0,5\text{ °C}$ -ot, és elsősorban az ország középső részein volt jelentős, addig az időszak utolsó évtizedeiben a melegedés helyenként meghaladta a $0,5\text{ °C}$ -ot, és főként az ország nyugati és keleti területein volt kiemelkedő. Mindkét időszakban az egész ország területén nőtt az évi átlaghőmérséklet, bár nagyon különböző mértékben és az időszak második felében jelentősebben.

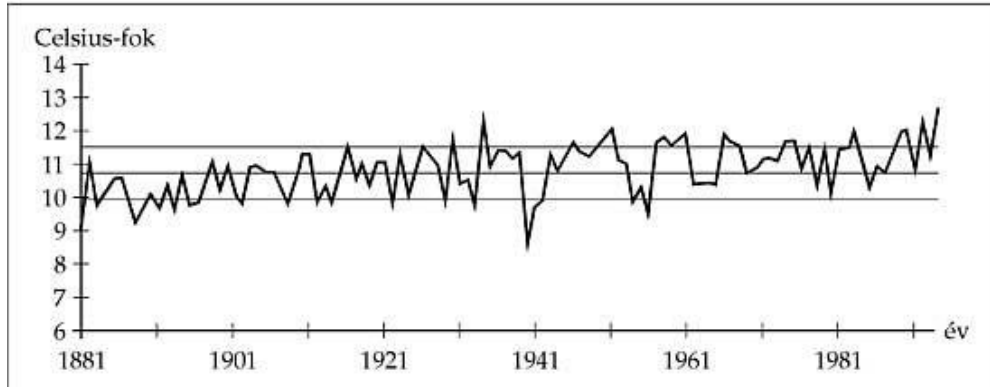
Az országos éves csapadékmennyiség 1961-1990-es átlaga 612 mm . A csapadékos évek jellemzőbben a század első felében léptek fel, így a csapadék csökkenése az 1901-2004-es időszak alatt elérte a 11% -ot. A tavaszi csapadék 1961-1990-es átlaga 145 mm . A legnagyobb csapadékcsökkenés az évszakok közül tavasszal volt, összességében mintegy 25% . A száraz tavaszok majdnem mind az elemzett időszak végén alakultak ki. A nyarak csapadékmennyiségének 1961-1990-es átlaga 208 mm . A száraz nyári hónapok viszonylag egyenletes eloszlásúak, ami azt mutatja, hogy hazánkban az aszály (a nyári meleg és a szárazság) az éghajlat rendszeresen megjelenő tulajdonsága. Érdekesség, hogy a nyári csapadékösszeg lineáris trenddel közelítve gyakorlatilag nem változott 1901-2004 között. Az őszyk 1961-1990-es átlaga

143 mm. Annak ellenére, hogy ezen évszak csapadékcsökkenése mintegy 14% volt 1901-2004 között, a száraz őszi eloszlása viszonylag egyenletes az 1901-2004-es intervallumban. Bár a tél a legszárazabb évszakunk (az 1961-1990-es átlag 115 mm), az ekkor hullott csapadék rendkívül fontos a növények számára, így a negatív eltérések nagy károkat okozhatnak. Jelentős tehát az a 12%-os csökkenés, amit 1901-2004 között tapasztaltunk. A csökkenő tendencia a legszélsőségesebb csapadékú telek előfordulásában nem mutatkozik. [4.3]

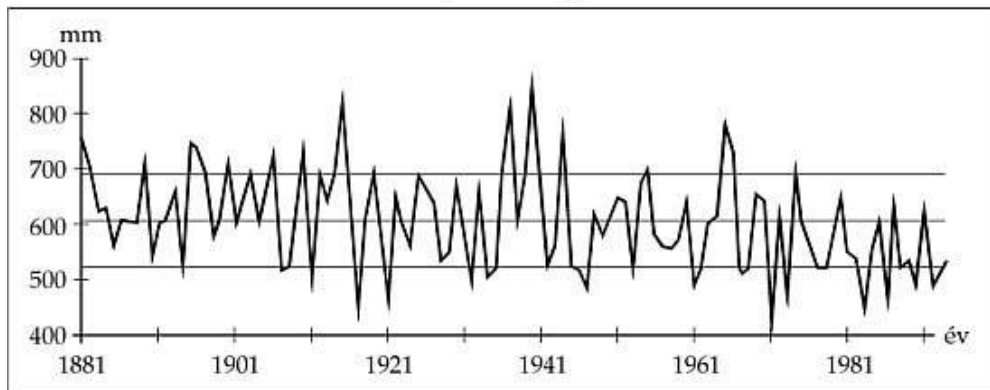
A csapadék nagy tér- és időbeli változékonysága miatt a tízéves átlagok jellemzően az ingadozásokat fejezik ki, kevésbé a trend jelleget. Napjainkra a nagy éves csapadékú területek (legalább 700 mm/év) csökkentek, a 750 mm/év csapadékú területek lényegében megszűntek a sokéves átlagokat tekintve. Az adatokat összehasonlítva az alacsony csapadékú területek (500 mm/év alatt) növekedtek, aminek az oka az aszályos 1983-1994 évek. Az időszak második felében a száraz területek nagysága lényegében nem változott, ami azt mutatja, hogy az 1995-2004-es évtized összességében hasonlóan nedves volt, mint az 1965-1974-es évek. A legutolsó évtizedben előfordultak ugyan nagy szárazságok, de többször sújtotta árvíz is hazánkat.

A csapadék eloszlására egyre inkább a DNy-ÉK-i irányultság (a Földközi-tengertől távolodva csökkenő) és a domborzat, elsősorban a tengerszint feletti magasság (magassággal növekvő) módosító hatása a jellemző. Az Atlanti-óceán felől érkező nedvesség csökkenő mennyiségét jól mutatja a Kisalföld és az Alpokalja szárazodása, bár bizonyos mértékig lokális tényezők is szerepet játszhatnak ebben.

Az évi középhőmérséklet homogenizált időszora



Az évi csapadékösszeg időszora



4.2. ábra: Az évi középhőmérséklet és csapadékösszeg 1881 és 2004 között.

A három időszakot összehasonlítva kisebb mértékű a szárazodás a Nagyalföldön, sőt az ország ÉK-i területein néhol még növekszik is az éves csapadékösszeg. A legalacsonyabb értékek a Tiszazug környékén alakulnak ki, ezért itt a csapadékmennyiségek csökkenése súlyosabb következményekkel jár. A Homokhátság csapadékvíz ellátása az utóbbi két időszakban jelentősen nem változott. A nagy tér- és időbeli szórások miatt az egyedi évek csapadékösszeg térképei az általános képtől jelentősen eltérhetnek.

4.7 Szélsőséges hőmérsékleti viszonyok, napi hőségindexek jellemzői

A hideg telek elsősorban a XX. század első felében voltak jellemzőek, a 70-es évektől kezdve hosszabb hideg periódus ritkábban fordult elő. Az 1970 utáni időszak leghidegebb hónapja 1985 januárja volt. A bemutatott hőségindexek mindegyikében növekedést tapasztalunk 1901 óta. A nyári napok száma mintegy hattal, a meleg

éjszakák száma pedig mintegy héttel emelkedett országos átlagban. Körülbelül ennyivel lett több az egészségügyileg veszélyesebb, 25 °C-os átlagú meleg periódusok előfordulása is, a 27 °C-os átlagot meghaladó hőhullámok gyakorisága kisebb mértékben, mintegy három nappal növekedett a vizsgált időszakban. A viszonylag enyhébb Dunántúlon a havi átlaghőmérséklet -6 °C-ig süllyedt, de igazán hideg a hegyekben és a Tiszántúlon volt, -9 °C körüli havi átlaghőmérséklettel. 1901-től napjainkig a legmelegebb hónapunk 1992 augusztusa volt, amikor hazánk délkeleti területein a havi középhőmérséklet elérte a 26 °C-ot. A maximumhőmérséklet szinte minden nap meghaladta a 35 °C-ot. Magyarország éghajlatának velejárói a nyaranta gyakran előforduló hőhullámok, melyeknek jelentős egészségkárosító hatása lehet. Ha éjszaka nem csökken a hőmérséklet 20 °C alá, az már a nyugodt éjszakai pihenést zavarja. Magyarországon a hőségriasztás szintjei szerint, ha három egymást követő nap átlaga meghaladja a 25 °C-ot, a kockázatonövekedés 15 %-os, ha 27 °C-nál is magasabb, akkor a kockázat növekedése már 30 %-os. A bemutatott hőségindexek mindegyikében növekedést tapasztalunk 1901 óta. A nyári napok száma mintegy hattal, a meleg éjszakák száma pedig mintegy héttel emelkedett országos átlagban. Körülbelül ennyivel lett több az egészségügyileg veszélyesebb, 25 °C-os átlagú meleg periódusok előfordulása is, A 27 °C-os átlagot meghaladó hőhullámok gyakorisága kisebb mértékben, mintegy három nappal növekedett a vizsgált időszakban.

Magyarországon szinte bármelyik hónapban előfordulhat, hogy nem hullik csapadék, ezért csak az 1901 óta előfordult legnagyobb csapadékú hónapot mutatjuk be. 2005 augusztusában a csapadékösszeg mindenhol meghaladta a sokéves átlagot, de az ország jelentős részén a 200 mm-t is, ami már ritkábban előforduló jelenség, különösen nagyobb területen. Bár hazánkban a 24 órás napi csapadékösszeg becsült abszolút maximuma 260 mm (Dad, 1953. június 09.), továbbá a napi maximumok gyakran elérik, sőt meghaladják a 100 mm-t, a 200 mm feletti havi csapadékösszeg már nagyon magasnak minősül. Az elmúlt 104 év során a csapadékos napok száma és a csapadék éves összege egyaránt csökkent, ezért érdekes, hogy az egy csapadékos napra jutó átlagos csapadék mennyisége valamelyest növekedett. Budapesten például a csapadékos napok száma majdnem 20 nappal lett kevesebb, míg a napi csapadékmennyiség néhány milliméterrel nőtt. Az éves csapadékmennyiség csökkenése tehát nem jár feltétlenül a napi átlagos csapadékösszegek csökkenésével. Az elmúlt időszakban az intenzív csapadék szerepe megnövekedett az éves csapadékösszegben.

Budapesten 2000-ben az összes lehullott csapadék mintegy 43%-át a csapadékok legintenzívebb 1%-a hozta. Ettől alig marad el az 1990-es év, amikor az egy százaléknyi legintenzívebb csapadék az éves mennyiség mintegy 39%-át adta. A múlt század első felében jellemzően ezek az értékek 20% körül alakultak. Az azonban mindig is jellemző volt a nyári hónapokra, hogy a havi csapadékösszeg egy-két heves záporral, zivattal érkezhettek. A nagy aszályok elsősorban az Alföld déli részén fordulnak elő, különösen a Körös-szög és a Tiszazug vidékén. Ezt az eredményt több aszályindex alkalmazásával is megkaptuk. Ezek egyike, a Standard Precipitation Index (SPI), a csapadékeloszlásnak standard normálissá való transzformálásával áll elő. Az adott SPI értékhez tartozó standard normál eloszlás értéke megadja a vizsgált időszakra vonatkozó csapadékösszeg előfordulási valószínűségét. Így 2003 nyarára még száz évnél is ritkább előfordulási valószínűségeket mutatnak a megfelelő SPI értékek.

4.8 A magyarországi éghajlat valószínűsíthető változásai

A legegyszerűbb változások a hőmérséklet tendenciájában tapasztalhatók. Az országos átlag követi a globális változásokat, de annál valamivel nagyobb melegedési értéket (pontbecslés alapján 0,77 °C-ot) mutat. Ennek évszakos felbontása már nagyobb eltéréseket mutat. Az elmúlt 104 évben amíg a telek és a tavaszok döntően az éves átlagnak megfelelően alakultak, addig a nyarak jobban (mintegy 1 °C), az őszi legkevésbé (0,4-0,5 °C) melegedtek. Ha pontbecsléssel is és 90%-os szignifikancia-szinten is megvizsgáljuk a havi középhőmérsékletek alakulását, akkor azt találjuk, hogy 11 hónap hőmérséklete mutat növekedést, de ebből csak hat hónapé szignifikáns, ezek főként a nyári félév hónapjai. Egyetlen hónap, december középhőmérsékletének az időszora mutat csökkenő tendenciát, azonban ez a tendencia nem szignifikáns. (Nem szignifikáns tendencia azt jelenti, hogy az adott valószínűségű konfidencia-intervallumhoz pozitív és negatív előjelű trendértékek is tartoznak. Így nem lehet kijelenteni, hogy a negatív vagy a pozitív trend a megfelelő az adott valószínűségnek.)

A december havi átlaghőmérsékletek szórása nagy, ezért széles a konfidencia-intervallum, így nem egyértelmű a trendi irány 90%-os szinten. Az éghajlati modell-előrejelzések alapján gyorsuló melegedésre lehet számítani, amennyiben az emberiség nem tesz semmit az üvegházhatású gázok kibocsátásának jelentős csökkentése érdekében. Ha az elmúlt 30 év hőmérsékletét vizsgáljuk Magyarországon, az adatok megerősítik ezt a várakozást. Az utolsó, az IPCC Harmadik Értékelő Jelentése szerint

elsősorban antropogén eredetű melegedés lényegében 1975-től kezdődött. [4.4] Az 1985-1994-es és az 1975-1984-es évtizedek hőmérsékleti átlagának különbsége $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt marad, döntően $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot sem ér el. Földrajzi elhelyezkedés szerint az ország középső része jobban melegszik, míg a DNY-i és az ÉK-i területek kevésbé. Ezzel ellentétben, a két utolsó évtized átlaghőmérsékletének különbsége helyenként a fél fokot is meghaladhatja hazánkban. Ekkor azonban a melegedésben elsősorban a keleti és az északnyugati területek dominálnak, míg az ország középső része a legkevésbé. Az azonban egyértelmű, hogy az egész ország területén, a hőmérséklet szigorúan növekvő tendenciát mutat, azaz évtizedes léptékben a melegedés mindenütt folyamatos.

Hazánkban a minimum- és a maximum-hőmérséklet növekedés – IPCC Harmadik Értékelő Jelentés – nálunk nem figyelhető meg. Ennek többféle oka lehet. A felhőzet változásának vizsgálata után lehet pontosítani a különböző variációkat. Növekszik a különböző hőmérsékleti küszöbértéket meghaladó (nyári hőség és forró) napok száma, ami jelentősen hat az élőlényekre, például az emberi egészségre. A nyári hőségben nemcsak a szívbetegek halandósága nő meg, hanem az egészséges embereknek is jobban oda kell figyelniük a helyes öltözködésre, mozgásra és étkezésre. A minimum-hőmérsékletek növekedésével emelkedik a meleg éjszakák száma. A pihenéshez hűvösebb levegő szükséges, ha ez nem adott, akkor az ember éjszaka nem tudja a nappali munka fáradalmait kipihenni. A hőmérsékleti határ a földrajzi szélességtől – azaz az emberek biológiai beállítódásától – függ, hazánkban $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a küszöb, a mediterrán területeken $21\text{-}22\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg tőlünk északabbra $18\text{-}19\text{ }^{\circ}\text{C}$. A $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ feletti minimum-hőmérsékletű napok száma az elmúlt 100 évben növekedett.

A csapadék sokkal változékonyabb éghajlati paraméter, mint a hőmérséklet. A Föld egyes területein a melegedéssel együtt az éves csapadékmennyiség csökken, másutt növekszik. Nehéz regionálisan általános következtetéseket levonni. Magyarországon a helyzetet tovább bonyolítja, hogy az ellenkező előjelű zónák határán található: a mérsékelt szélességeken a csapadékmennyiség növekszik, a szubtrópusokon – Európában a mediterrán térségekben – csökken. Így, bár eléggé északra fekszik hazánk, mégis az éves csapadékmennyiség csökkenése figyelhető meg. Feltehetőleg a magasabb hőmérséklet miatt a hidrológiai ciklus intenzívebbé válhat, aminek az a jele, hogy a csapadék egyre nagyobb része hullik le intenzív esőzések formájában. Ez még akkor is bekövetkezhet, ha az éves csapadékmennyiség csökken. Így a csapadék természeti és gazdasági hasznosítása két okból is romlik: egyrészt kevesebb csapadék

érkezik, másrészt intenzívebben, azaz a leérkező csapadék relatíve nagyobb része folyik el és kevesebb szivárog be a talajba, kerül elraktározásra. Egyúttal az árvízveszély is növekszik.

Az éves csapadékmennyiség csökkenése elsősorban tavasszal történt, amikor az évszakos csapadékösszeg a század eleinek csak mintegy 75%-a. A nyári csapadékmennyiség összege lényegében nem változott az elmúlt száz évben. Régebben is voltak száraz nyarak, azonban a fokozatosan növekvő nyári hőmérsékletek miatt az újabb száraz időszakok káros hatása jóval nagyobb, mint a hűvös nyarak idején. Az őszi és téli csapadékcsökkenés 12-14%-os. Különösen a téli csapadék tekintetében ez nem okozna komoly hatást az éves csapadékösszegekre, hiszen a téli hónapok átlagos csapadékmennyisége a legkisebb a többi évszakhoz viszonyítva, azonban a növényvilágra gyakorolt hatása igen kedvezőtlen.

Télen az olvadó hó jelentős része beszivárog a talajba, ezért a vízháztartásban játszott szerepe nagy. Ha a vegetációs időszak elején a talaj felső rétege nem telítődik vízzel, akkor komoly mezőgazdasági károk várhatóak. A csapadékcsökkenés hazánk északnyugati területein a legnagyobb. Ez azért nem keltette fel eddig a figyelmet, mert ott a csapadék éves mennyisége jelentős volt, ellentétben az Alfölddel, annak is elsősorban a délkeleti területeivel, ahol a kevesebb csökkenés a kevesebb éves csapadékösszegeből következett be.

További problémát okozhat, hogy a kevesebb csapadék intenzívebben érkezik. Ha az egész csapadékjelenség hevesen és kis vízgyűjtőn következik be, akkor a felszínborítottság és a domborzat függvényében hirtelen árhullámok (flash flood) alakulhatnak ki, amelyek nemcsak nagyon nagy anyagi kárt okozhatnak, hanem váratlanságuknál, hirtelen megjelenésüknél fogva, akár emberéleteket is követelhetnek. A változás további jele, a csökkenésen kívül, a csapadék évi menetének megváltozása. Így például októberben a XX. század első felében lokális maximum volt, most lokális minimum van.

Ezek a változások esetenként komolyabb problémát okoznak, mint magának a csapadékmennyiségnek a csökkenése. Ha a mintegy 10%-os csökkenés (104 év alatt, 1901-2004-ig) minden napon egyenletesen jelenne meg, valószínűleg nem, vagy csak kevésbé lenne káros következménye, de vannak az átlagosnál csapadékosabb időszakok, ezért a száraz időszakok hossza és gyakorisága növekszik. Hasonló a helyzet a hőmérséklettel, amikor is a 0,7-0,8 °C-os egyenletes napi középhőmérséklet-emelkedés

nem jelentene különösebb problémát, de az átlagosnál hidegebb időszakok miatt a meleg szakaszok intenzitása és gyakorisága növekszik, ami már káros következményekkel járhat.

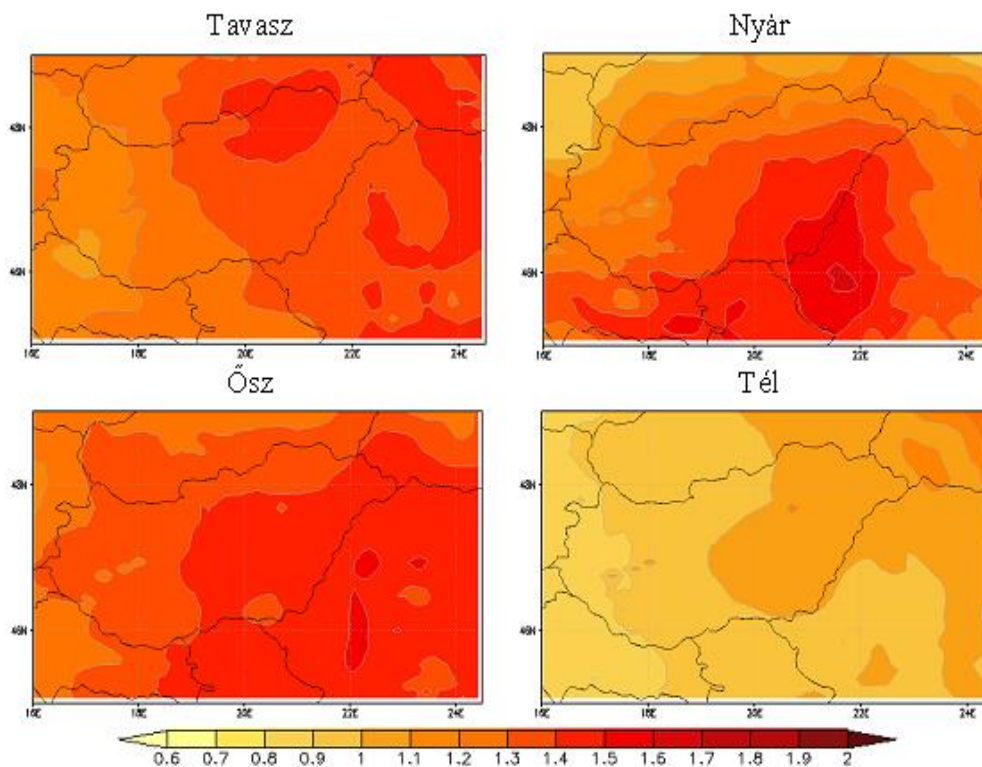
A természeti és gazdasági folyamatok többsége rendelkezik valamilyen klímaigénnyel. Ha az éghajlat megváltozik, akár csak valamelyik paraméterének az évi menetében, az ezekre a folyamatokra káros hatással lehet. A hőmérséklet és a csapadék együttesen is okozhat problémát, például amikor a hótakaró gyorsabban olvad el, így az átlagosnál nagyobb része folyik el, ami árvizet okozhat. Az ellenkezője is megtörténhet, maikor a tél folyamán egy melegebb időszak után következő hideghullám a talajt jelentős hótakaró nélkül találja, ezért a talaj megfagy, így az utána következő eső elfolyik, mivel nem tud beszivárogni, és ebben az évszakban a párolgás nem intenzív.

A természeti katasztrófák megítélésében nagyon eltérőek a vélemények. Ezek egy része hozzátartozik az éghajlathoz, annak normális része, némelyek szélsőséges időjárási helyzethez köthetőek. Azt tudjuk, hogy aszályok és áradások mindig is voltak hazánk területén. Az áradások vizsgálatánál meg kell jegyezni, hogy nem feltétlenül a legnagyobb csapadékhullás okozza a legnagyobb árvizet. Az árvíz mérőszáma a vízállás, ami közvetlenül függ a meder jellemzőitől is (például feltöltődés hatása). Továbbá a meteorológiai tényezőkhöz kívül jelentős hatást gyakorolnak a földrajzi (domborzat, felszínborítottság stb.) és a hidrológiai paraméterek (vízrajz, hordalékmozgás stb.) is.

Az intenzívebb és kisebb területen pusztító katasztrófákról kevesebb a feljegyzés, így kevesebb ismeret maradt fenn. Ezekből tudjuk, hogy sem a hirtelen árhullám, sem a tornádó nem az elmúlt néhány évtizedben jelent meg régióinkban, hanem ismert volt korábban is. Amíg azonban az ország ritkán lakott volt, ezek a néhány négyzetkilométertől néhány száz négyzetkilométer nagyságú meteorológiai jelenségek észrevétlenek maradtak.

4.9 Regionális éghajlati forgatókönyvek együttes kiértékelése a Kárpát-medence térségére a 2021-2040-es időszakra

Három adaptált regionális klímamodell felhasználásával elkészítettük a Magyarországra vonatkozó éghajlati becsléseket az A1B1 átlagszcenárióra és elvégeztük együttes elemzésüket a 2021-2040-es időszakra. A szimulációk éves és évszakos átlagai alapján nem kérdőjelezhető meg a közeljövő melegedési tendenciája. [4.5 -4.7]



4.3. ábra: A 2021-2040-re várható évszakos hőmérsékletváltozás mértéke (°C-ban) a Kárpát-medence térségére: a három regionális klímamodell szimulációi alapján készített átlagterképek. Referencia időszak: 1961-1990.

A három modelltől számított évszakos hőmérsékletváltozás átlagaiból készített kompozitképek (4.3. ábra) alapján a legnagyobb hőmérsékletnövekedés őszen várható (átlagosan 1,4 °C), a legkisebb pedig télen (átlagosan 1,0 °C). Az Alföldön minden évszakban nagyobb melegedést prognosztizálnak a modellek, mint a Dunántúlon: a különbség évszakos átlagban néhány tizedfok. Az országon belüli legnagyobb területi különbség nyáron várható: 0,6 °C. A hőmérsékletváltozást illetően minden modell szinte minden évszakra szignifikáns melegedést prognosztizál.

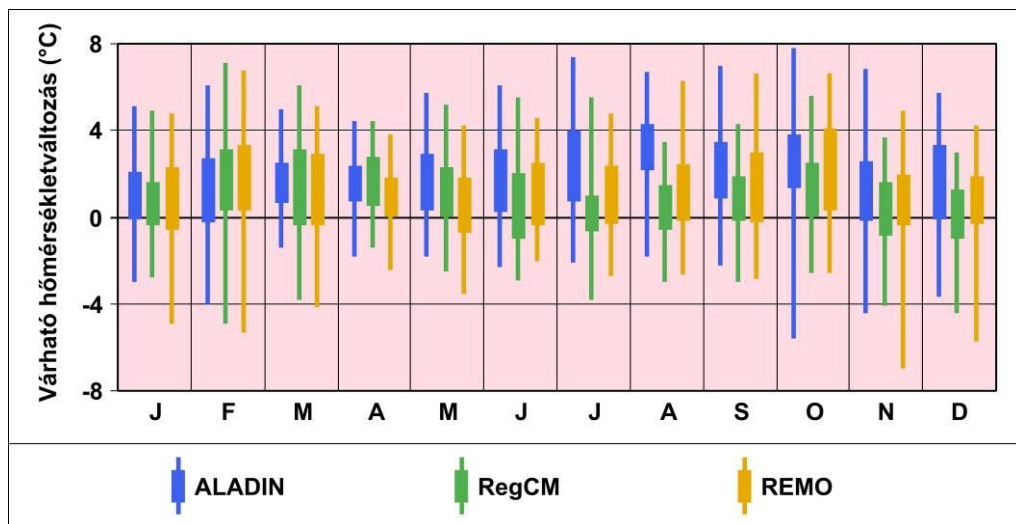
	Éves	Tavaszi	Nyári	Őszi	Téli
Átlagos hőmérséklet-emelkedés, °C	0,8–1,8	1,0–1,6	0,5–2,4	0,8–1,9	0,8–1,2

4.3. táblázat: A 2021-2040-re Magyarországra várható éves és évszakos melegedés mértéke a három regionális modell alapján (referencia időszak: 1961-1990).

A 4.3. táblázat összegezi a három klímamodell által a magyarországi rácspontra megadott várható átlagos éves és évszakos melegedés mértékét. A táblázatban szereplő intervallumok alsó és felső határát a modellek által becsült országos átlagos melegedés mértékének minimuma, illetve maximuma adja. A

legkisebb a modellbecslések közötti eltérés télen (ekkor esnek legjobban egybe a modelleredmények, azaz a projekciók bizonytalansága a legkisebb), ekkor 0,8-1,2 °C-os átlagos melegedésre számíthatunk az ország területén. A modell-szimulációkból adódó évszakos hőmérsékletnövekedési becslések között a legnagyobb eltérés a nyári időszakra jellemző: 0,5-2,4 °C közötti értékekkel, azaz a modelleredmények ekkor térnek el a legnagyobb mértékben egymástól, vagyis a bizonytalanság nagyobb.

A 2021-2040-re várható hőmérsékletváltozás rácsponti értékeinek modellenkénti havi eloszlását (°C-ban) mutatjuk be a 4.4. ábrán látható Whisker-Box-plot diagram segítségével. A diagramon a függőleges vonalak minden modell esetén a teljes időszakra vonatkozóan a legkisebb és legnagyobb rácsponti értékeket kötik össze, míg a dobozok a rácsponti becslések alsó és felső kvantilisei között helyezkednek el ezzel kijelölve a teljes minta középső 50%-át. Értelemszerűen, ha nagyobb a doboz mérete, akkor nagyobb a szimulált értékek szóródása. Fontos megjegyezni, hogy a dobozok szinte minden hónapban a 0 °C-os hőmérsékletváltozást jelölő vonal fölött helyezkednek el, ami arra utal, hogy mindhárom modell egyértelmű melegedést jelez előre a célidőszakra. Ennek ellenére egy-egy hónapban jelentős eltérések is lehetnek a modellbecslések között (például a nyári hónapokban július-augusztusra).

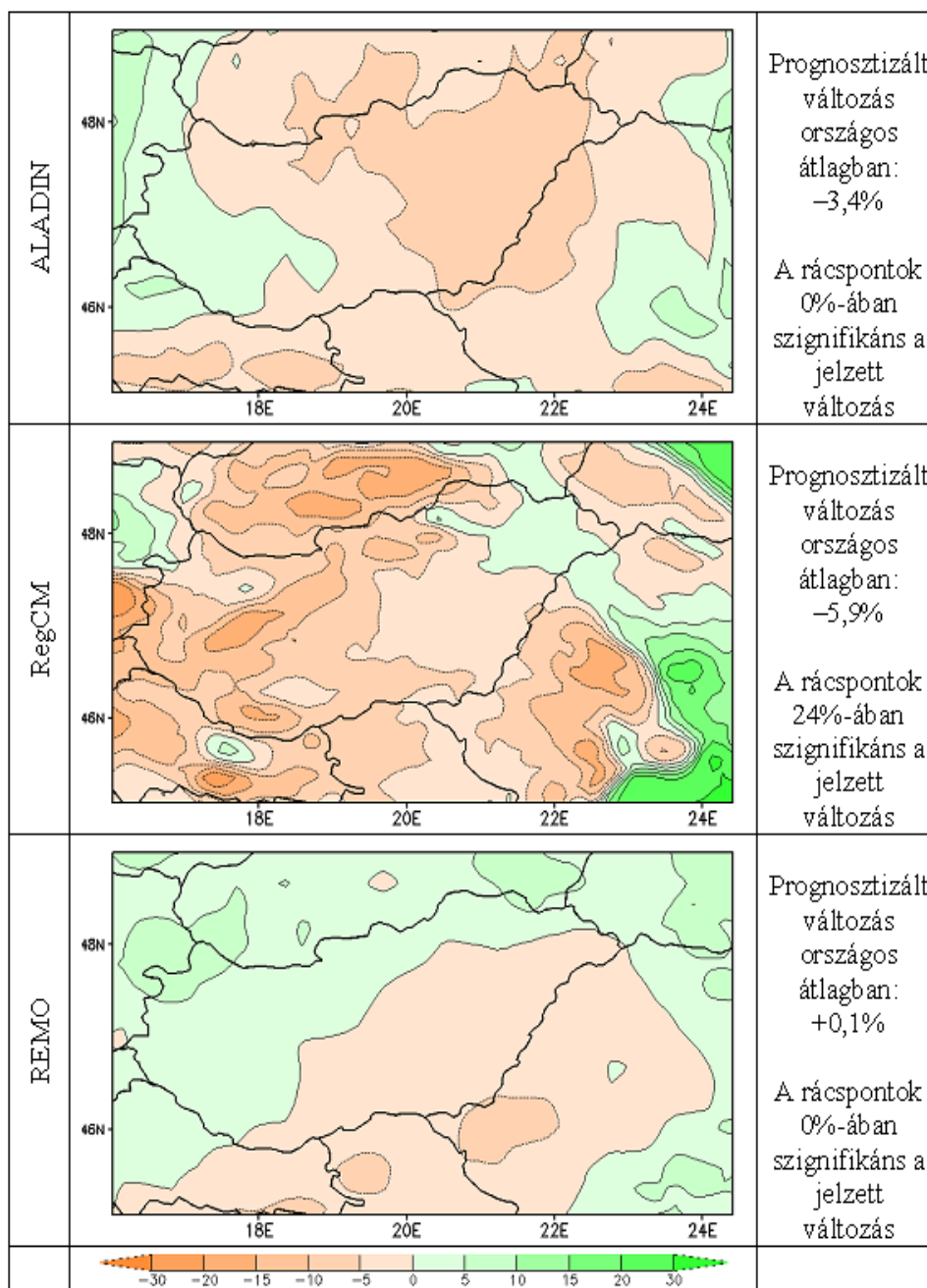


4.4. ábra: A 2021-2040-re várható hőmérsékletváltozás (°C) rácsponti értékeinek modellenkénti havi eloszlása. (A függőleges vonalak a legkisebb és legnagyobb értékeket kötik össze, a dobozok az alsó és felső kvantilisek között helyezkednek el. Referencia időszak: 1961-1990.)

A csapadék mennyiségének közeljövőre várható változásai már nem mutatnak ilyen egyértelmű képet: a modellek által becsült változások mértéke kicsi, s a legtöbb esetben nem is szignifikáns. A modellek által előrejelzett, és esetenként még előjelben

is különböző évszakos és éves változások nem teszik lehetővé, hogy a várható változások összegzése érdekében a hőmérséklethez hasonlóan kompozittérképek előállítását. A 4.5. ábrán ezért külön-külön került ábrázolásra a három regionális modell által adott szimulációk eredménye az éves átlagos csapadékösszeg várható megváltozására vonatkozóan. Fontos hangsúlyozni, hogy a hőmérséklettel ellentétben a 2021-2040-re becsült csapadék-változások nagyrészt nem szignifikánsak.

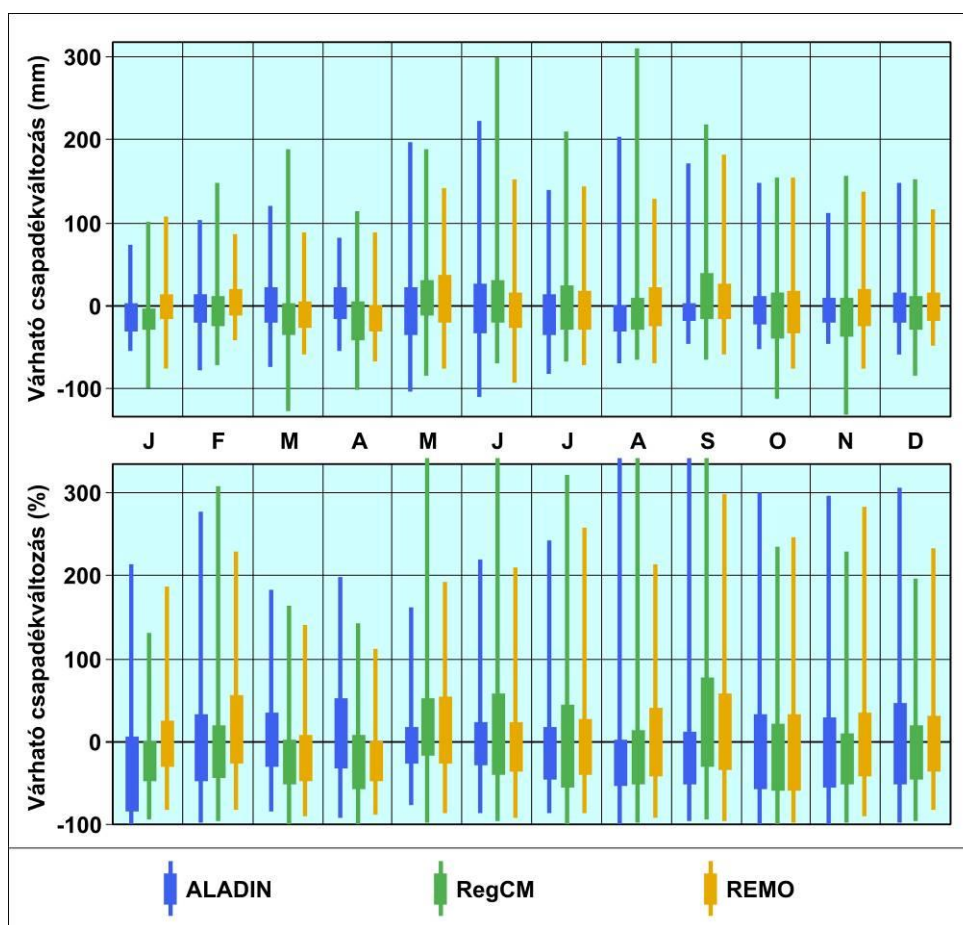
A három modell szimulációi alapján meghatározásra kerültek az éves és évszakos csapadékösszegek átlagos változásaira vonatkozó intervallumok, melyeket a 4.4. táblázat mutatja. Az éves csapadékmennyiségben változás várhatóan a (-40,8 mm; +2,4 mm) intervallumba fog esni, tehát egy igen kis mértékű szárazodás valószínűsíthető. Évszakosan a legnagyobb eltérés a modellek között a téli évszakban mutatkozik: az intervallum szélessége több mint 33 mm; továbbá az intervallum tartalmazza a nulla értéket is, azaz nemcsak a változás mértéke, hanem annak az előjele is bizonytalan.



4.5. ábra: A 2021-2040-re várható éves csapadékösszeg változása (%-ban) a Kárpát-medence térségére a három regionális klímamodell eredményei alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

	Éves	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
Átlagos csapadék-változás (mm)	-40,8; +2,4	-15,9; +6,0	15,0; +3,0	-4,8; +5,1	-22,8; +10,8

4.4. táblázat: A 2021-2040-re Magyarországra várható éves és évszakos csapadékváltozás mértéke (mm-ben kifejezve) a három regionális modell alapján (referencia időszak: 1961-90).

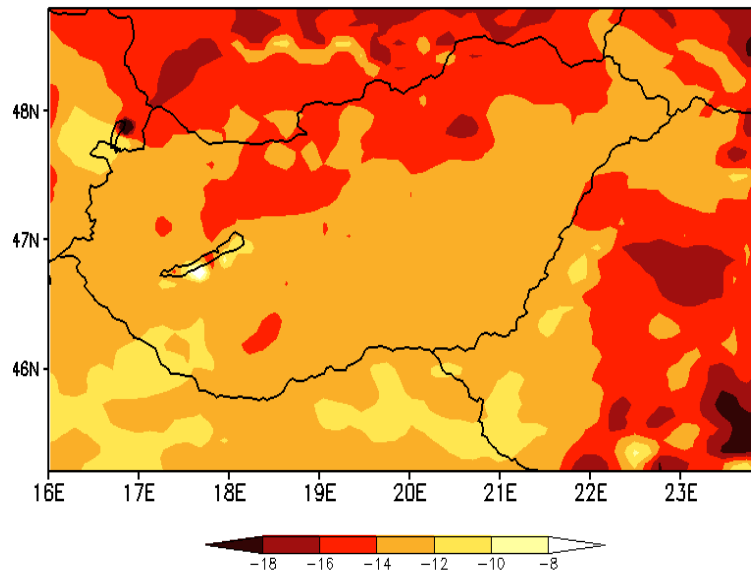


4.6. ábra: A 2021-2040-re várható csapadékváltozás rácsmenti értékeinek modellenkénti havi eloszlása (fent mm-ben, lent %-ban kifejezve). A függőleges vonalak a legkisebb és legnagyobb értékeket kötik össze, a dobozok az alsó és felső kvantilisok között helyezkednek el. Referencia időszak: 1961-1990.

A 4.6. ábrán megjelenik a 2021-2040-re várható havi csapadékváltozás mm-ben (fent), illetve %-ban (lent) kifejezett rácsmenti értékeiből képzett Whisker-Box-plot diagramokat. Szembetűnő mindhárom modell esetében a várható változás nagy változékonysága; extrém esetekben a változás mértéke akár a 300%-ot is meghaladhatja. A középső 50%-ot reprezentáló dobozok általában a „0” vonal környezetében helyezkednek el, s mindkét irányban közel hasonló mértékben terjednek ki. Ebből is arra a következtetésre juthatunk, hogy a prognosztizált csapadékváltozások általában nem szignifikánsak a közeljövőre vonatkozóan.

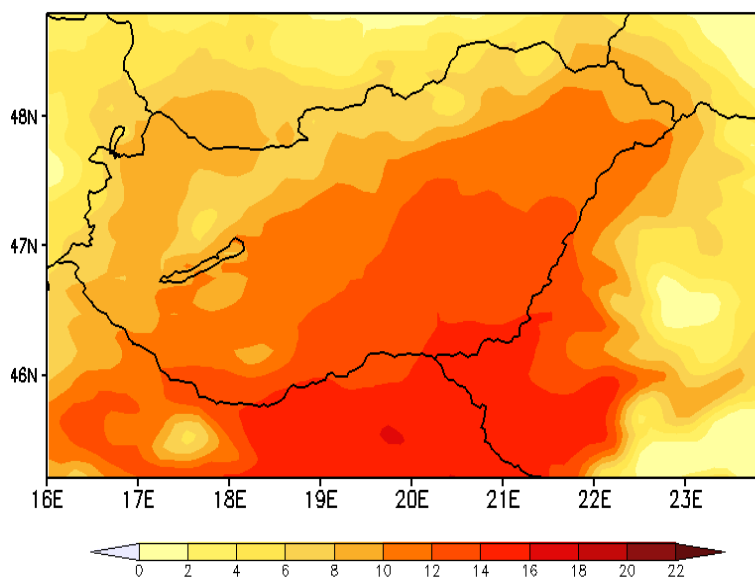
Az átlaghőmérsékletek eltolódása mellett mára már a szélsőségek gyakoriságváltozása globális, illetve regionális szinten is érzékelhető, melynek jelentős következményei lehetnek például az iparra, a mezőgazdaságra, s a társadalom egészére vonatkozóan. Az 1990-es évek végén nemzetközi összefogással alakult WMO-

CCI/CLIVAR munkacsoport a szélsőséges időjárási események jellemzésére közel harminc extrém indexet definiált. Ezeket az indexeket felhasználva számos vizsgálat készült szerte a világban a hőmérsékleti és csapadék szélsőségek elemzésére. Itt példaként csak néhány kerül bemutatásra, melyek meghatározásához a korábban bemutatott eredményekhez hasonlóan az 1961-1990 referencia időszakra és a 2021-2040 jövőbeli időszakra futtatott szimulációk szolgáltak alapul.



4.7. ábra: A fagyos napok éves számának (nap) várható változása 2021-2040-re a Kárpát-medence térségére: három regionális klímamodell szimulációi alapján készített kompozittérképek. Referencia időszak: 1961-1990.

A 4.7. ábrán a fagyos napok ($T_{\min} < 0 \text{ °C}$) számában becsült változások mértékét mutatjuk be a három regionális klímamodell szimulációi alapján készített kompozittérkép formájában. Az egész térségre jellemző negatív tendencia a melegedésre utal (mely az ország egész területén szignifikáns). A magasabban fekvő térségekben nagyobb (átlagosan évi 14 napot meghaladó) csökkenésre számíthatunk, míg a délebbre fekvő, síkvidékeken pár nappal kisebb változás valószínűsíthető.



4.8. ábra: A hőségriadó napok éves számának (nap) várható változása 2021-2040-re a Kárpát-medence térségére: a három regionális klímamodell szimulációi alapján képzett kompozittérképek. Referencia időszak: 1961-1990.

A melegedés humán-egészségügyi szempontból is jelentős következményekkel járhat, ennek illusztrálására a 4.8. ábrán az I. fokozatú hőségriadó (amikor $T_{\text{közép}} > 25^\circ\text{C}$) várható gyakoriságváltozása kerül bemutatásra a Kárpát-medence térségében. A kompozittérképen szembeűnő a zonális szerkezet: az ország északi, északnyugati részén kisebb a várható változás mértéke, a déli, délkeleti területeken pedig akár az évi 14 napot is meghaladhatja a hőségriadós napok évi számának növekedése.

Hőmérsékleti index neve, definíciója	Változás mértéke (nap)
Fagyos napok éves száma ($T_{\text{min}} < 0^\circ\text{C}$)	-28,4; -6,7
Nyári napok éves száma ($T_{\text{max}} > 25^\circ\text{C}$)	-0,9; +43,0
Hőségriadós napok éves száma ($T_{\text{közép}} > 25^\circ\text{C}$)	-1,0; +31,0

4.4. táblázat: Hőmérsékleti extrém indexekben 2021-2040-re várható változás mértéke (napban kifejezve) Magyarországra a három regionális modell alapján (referencia időszak: 1961-1990).

A fenti melegedési tendenciákkal összhangban állnak a 4.4. táblázatban összefoglalt trendek, melyek három extrém hőmérsékleti indexre adják meg a 2021-2040-re várható változásokat. A fagyos napok éves száma egyértelműen csökkenni fog Magyarorszag területén, ami a rövidebb fűtési szezonban várhatóan csökkenti az energianelhasználást. A nyári napok és a hőségriadós napok éves száma viszont a modellbecslések alapján növekedni fog, s ez nagyobb hűtési igényt, több energianelhasználást vetít előre hazánkban.

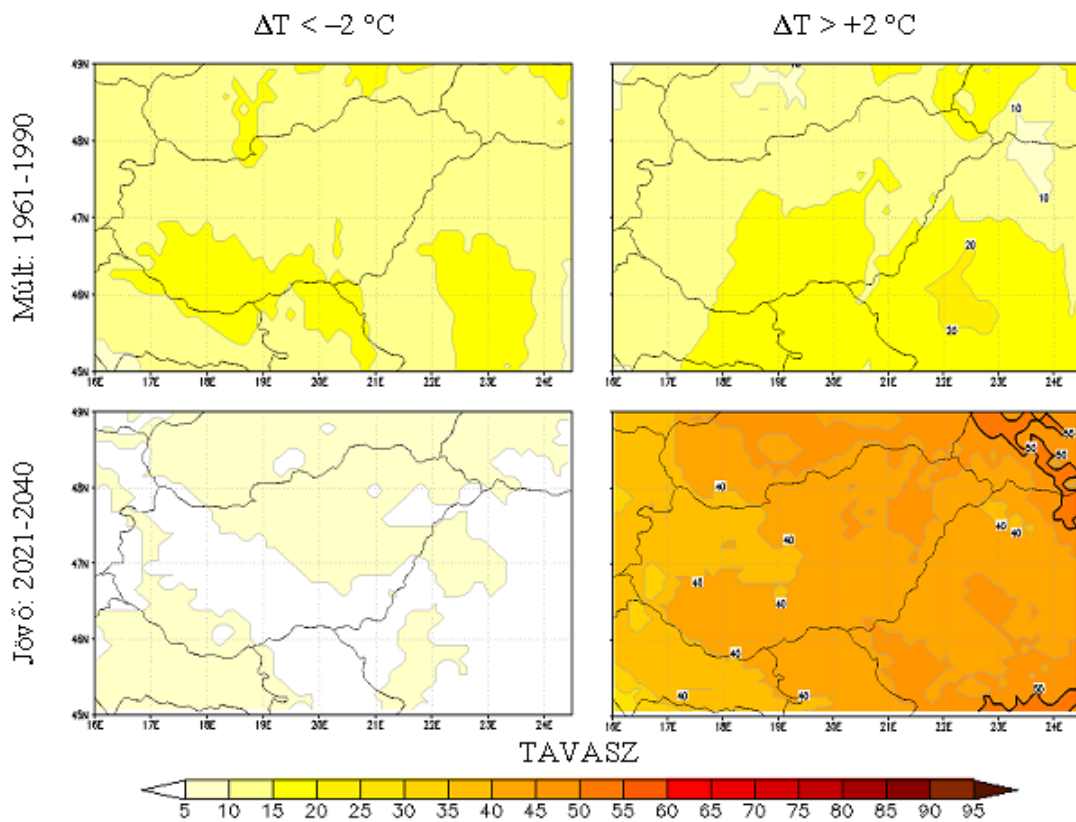
A hőmérséklettel ellentétben a csapadékindexek várható változása esetén nem találhatunk egyértelmű tendenciákat. A 4.5. táblázatban megadott intervallumok mindegyike tartalmazza a nulla értéket, mely arra utal, hogy gyakran nincs egyetértés a modellek között az indexek becsült változásának előjelében. Ennek oka egyrészt, hogy a modellek által a közeljövőre prognosztizált csapadékváltozás mértéke kicsi, nem szignifikáns, s gyakran még előjelében sem azonos. Másrészt az ország egyes régióiban esetenként egymással ellentétes tendenciák jelenhetnek meg.

	Éves	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
1 mm-nél nagyobb csapadékú napok száma ($R_{\text{nap}} > 1 \text{ mm}$)	-17,2 +1,3	-6,4 +3,7	-6,1 +1,3	-5,5 +0,8	-7,1 +2,3
20 mm-nél nagyobb csapadékú napok száma ($R_{\text{nap}} > 20 \text{ mm}$)	-4,8 +1,8	-1,7 +1,0	-0,9 +1,3	-2,0 +1,2	-1,2 +1,0
Száraz időszak maximális hossza ($\text{Max}(R_{\text{nap}} < 1 \text{ mm})$)	-3,0 +7,5				

4.5. táblázat: Csapadékindexekben 2021-2040-re várható változás mértéke (napban kifejezve) Magyarországra a három regionális modell alapján (referencia időszak: 1961-1990).

A globális éghajlat-változási vizsgálatokban a 2 °C-os melegedést tekintik a klímaviszonyok irreverzibilis változásának küszöbértékeként. E 2 °C-os anomáliára történt vizsgálataink mellett elemezték a 0 °C-os, a 1 °C-os, a 4 °C-os és a 6 °C-os hőmérsékletváltozási anomáliák területi eloszlását. Itt csak a kiemelt, legalább ± 2 °C-os hőmérsékletváltozási anomáliákra vonatkozó vizsgálatok eredménye kerül bemutatásra. A 4.9. ábra megjeleníti a -2 °C-nál kisebb és +2 °C-nál nagyobb hőmérsékleti anomáliák előfordulási valószínűségének területi eloszlását a tavaszi hónapokra jelen (1961-90) klimatikus viszonyok mellett, valamint a 2021-2040-es időszakra. A felhasználók számára értékes információt adhat, hogy az adott küszöbértékek túllépésének gyakorisága az ország mely területein milyen mértékben változhat a közeli jövőben. A korábbi vizsgálatokkal összhangban a melegedés következtében az eddigi éghajlati viszonyokhoz képest negatív hőmérsékleti anomáliák előfordulási valószínűsége egyértelműen csökken, míg a pozitív anomáliáké jelentősen növekszik (a jelenlegi átlagos 15%-ról akár 40%-ot meghaladó mértékűre is növekedhet az ország keleti felében). A mind a négy évszakra vonatkozó információkat az 4.6. táblázat

foglalja össze, ahol a területi eloszlást bemutató térképek helyett a magyarországi rácspontokra meghatározott gyakorisági értékek minimuma, átlaga és maximuma olvasható.



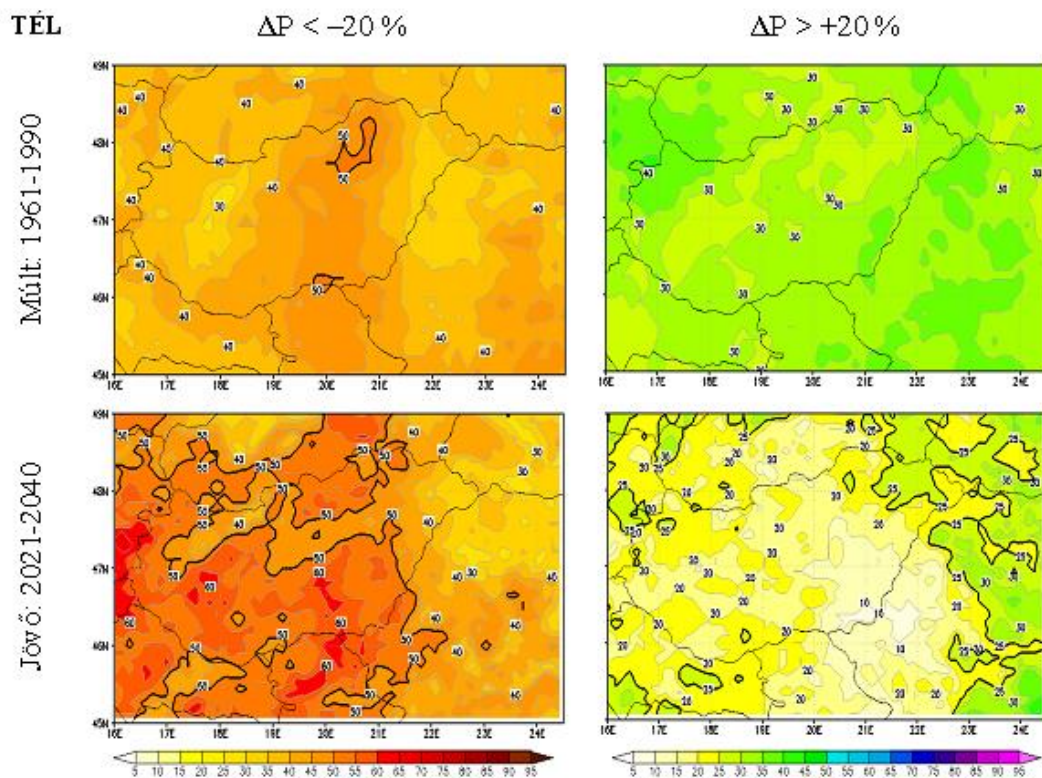
4.9. ábra: A -2°C -nál kisebb (balra) és $+2^\circ\text{C}$ -nál nagyobb (jobbra) havi hőmérsékleti anomáliák előfordulási valószínűsége (%-ban kifejezve) tavasszal (március–április–május)

A múltra vonatkozóan (fent) a CRU adatbázis havi átlagaitól vett eltérések kerültek ábrázolásra. A jövőre vonatkozóan (lent) a RegCM modell szimulált mezőinek múltat reprezentáló havi átlagaitól vett eltéréseket vizsgálták rácspontonként.

Hőmérséklet	Időszak	Tavaszi		Nyári		Őszi		Téli	
		$\Delta T < -2\text{ °C}$	$\Delta T > +2\text{ °C}$	$\Delta T < -2\text{ °C}$	$\Delta T > +2\text{ °C}$	$\Delta T < -2\text{ °C}$	$\Delta T > +2\text{ °C}$	$\Delta T < -2\text{ °C}$	$\Delta T > +2\text{ °C}$
Minimum	1961-90	10%	11%	1%	2%	6%	6%	15%	15%
	2021-40	2%	33%	2%	8%	0%	18%	5%	18%
Átlag	1961-90	14%	14%	4%	6%	10%	8%	19%	19%
	2021-40	4%	41%	5%	15%	4%	24%	9%	23%
Maximum	1961-90	18%	18%	10%	9%	14%	12%	24%	25%
	2021-40	7%	47%	10%	22%	8%	30%	15%	38%

4.6. táblázat: A hőmérséklet eloszlásának 2021-2040-re várható évszakos megváltozása Magyarországra a RegCM modell szimulált idősorai és a CRU adatok alapján (referencia időszak: 1961-90). A múltira vonatkozóan a CRU adatbázis havi átlagaitól vett -2 °C -nál kisebb, illetve $+2\text{ °C}$ -nál nagyobb eltéréseket vették figyelembe és ezek előfordulási valószínűségét határozták meg minden egyes rácspontban. A jövőre vonatkozóan a RegCM szimulált mezőinek múltat reprezentáló havi átlagaitól vett hasonló mértékű eltéréseket vizsgálták rácspontonként. A minimum és a maximum értékek a magyarországi rácspontokban a legkisebb és a legnagyobb előfordulási értéket reprezentálják. Az átlagos értékeket pedig az összes határon belüli rácspont előfordulási értékének átlagaként határozták meg.

A csapadék esetén a 0%-os, az 5%-os, a 10%-os, a 20%-os és az 50%-os anomáliák területi eloszlásában előrejelzett változásokat elemezték. Ezek közül a 4.10. ábrán a -20% -nál kisebb és $+20\%$ -nál nagyobb havi csapadékanomáliák előfordulási valószínűségének területi eloszlása kerül bemutatásra a téli hónapokra a jelen (1961-90) klimatikus viszonyok mellett, valamint a 2021-40 időszakra. A RegCM modell szárazabbá válást valószínűsít, melyet jelez a negatív anomáliák gyakoriságnövekedése (elsősorban az ország nyugati részén), s a pozitív anomáliák gyakoriságcsökkenése (főképpen a délkeleti országrészen).



4.10. ábra: A -20% -nál kisebb (balra) és $+20\%$ -nál nagyobb (jobbra) havi csapadék anomáliák előfordulási valószínűsége (%-ban kifejezve) télen (december–január–február). A múltra vonatkozóan (fent) a CRU adatbázis havi átlagaitól vett eltéréseket ábrázolták. A jövőre vonatkozóan (lent) a RegCM szimulált mezőinek múltat reprezentáló havi átlagaitól vett eltéréseket vizsgálták rácspontonként.

A mind a négy évszakra vonatkozó információkat a 4.7. táblázat foglalja össze, ahol a területi eloszlást bemutató térképek helyett a magyarországi rácspontokra meghatározott gyakorisági értékek minimuma, átlaga és maximuma olvasható.

Csapadék	Időszak	Tavas		Nyár		Ősz		Tél	
		$\Delta P < -20\%$	$\Delta P > +20\%$	$\Delta P < -20\%$	$\Delta P > +20\%$	$\Delta P < -20\%$	$\Delta P > +20\%$	$\Delta P < -20\%$	$\Delta P > +20\%$
Minimum	1961-90	29%	25%	30%	24%	39%	24%	29%	26%
	2021-40	32%	13%	29%	12%	28%	15%	30%	8%
Átlag	1961-90	38%	31%	36%	29%	45%	29%	41%	32%
	2021-40	44%	26%	46%	32%	45%	30%	51%	20%
Maximum	1961-90	41%	38%	44%	34%	53%	35%	51%	41%
	2021-40	65%	40%	67%	47%	62%	43%	65%	30%

4.7. táblázat: A csapadék eloszlásának 2021-40-re várható évszakos megváltozása Magyarországra a RegCM szimulált idősorok és a CRU adatok alapján (referencia időszak: 1961-90). A múltra vonatkozóan a CRU adatbázis havi átlagaitól vett -20% -nál kisebb, illetve $+20\%$ -nál nagyobb eltéréseket vették figyelembe és ezek előfordulási valószínűségét határozták meg minden egyes rácspontban. A jövőre vonatkozóan a RegCM szimulált mezőinek múltat reprezentáló havi átlagaitól vett hasonló mértékű eltéréseket vizsgálták rácspontonként. A minimum és a maximum értékek a magyarországi rácspontokban a legkisebb és a legnagyobb előfordulási értéket reprezentálják. Az átlagos értékeket pedig az összes határon belüli rácspont előfordulási értékének átlagaként határozták meg.

4.10 Összefoglalás

A bemutatott modell-szimulációk együttes kiértékelése alapján megállapítható, hogy a várható hazai tendenciák összhangban vannak a globális tendenciákkal, illetve a Közép-Európára vonatkozó korábbi regionális éghajlatváltozási becslésekkel. A kisebb térségek elemzésénél fontosak a helyi vízrajzból, domborzatból adódó tényezők. Éppen ezért nagy jelentőségű, hogy a regionális modellek területi felbontása 25 km-es, vagy akár 10 km-es is legyen. Az itt alkalmazott regionális klímamodellek közül a REMO 25 km-es, míg az ALADIN és a RegCM 10 km-es horizontális felbontású. A bemutatott szimulációs eredmények alapján a következőkben foglalhatjuk össze a Kárpát-medence térségében várható éghajlatváltozási forgatókönyvek főbb jellemzőit 2021-2040-re vonatkozóan:

- A hőmérséklet szignifikáns növekedése minden évszakban és éves átlagban is erősen valószínűsíthető, ennek mértéke átlagosan 1,0-1,4 °C közötti.
- A fagyos napok éves száma átlagosan 12-15 nappal csökken a szimulációk szerint.
- A hőségriadós napok éves száma az ország délkeleti részén akár 14 nappal is növekedhet.
- A becsült éves és évszakos csapadékváltozások általában nem szignifikánsak. A különböző modellek sokszor eltérő mértékű és előjelű változást prognosztizálnak, melyek a csapadékindexekben is megjelennek.

4.11 Irodalomjegyzék

- [4.1] Kollega Tarsoly István (szerk.): Magyarország a XX. Században II. Babits kiadó, 1996.
- [4.2] Rác Lajos: Magyarország éghajlattörténete az újkor idején. JGYF kiadó, Szeged, 2001.
- [4.3] Szalai Sándor: Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig. OMSZ, 2005.
- [4.4] Láng István (szerk.): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok, a VAHAVA jelentés. Szaktudás kiadó, Budapest, 2007.
- [4.5] Csimá, G., Horányi, A., 2008: Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás*, 112, pp. 155-177.
- [4.6] Szépszó, G., Horányi, A., 2008: Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. *Időjárás*, 112, pp. 213-232.
- [4.7] 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, pp. 233-247.

5 A klímaváltozás kutatása (IPCC jelentései, nemzetközi klíma egyezmények)

A globális felmelegedés gyorsulásáról már 1952-ben bizonyítékok álltak a rendelkezésünkre. **1972** júniusában, **Stockholmban** első alkalommal szervezett az ENSZ konferenciát az emberi környezet megóvása érdekében. A konferencián napirendre került az üvegházhatású gázok emissziójának és a légköri aeroszol-terhelés csökkentésének kérdése. A résztvevők döntöttek egy környezetvédelemmel foglalkozó ENSZ-program, az UNEP elindításáról. Továbbá javaslatot tettek arra, hogy a Tudományos Uniók Nemzetközi Tanácsa (ICSU) és a Meteorológiai Világszövetség (WMO) együttműködésével létrejött terv, a Globális Légkörkutató Program (GARP) keretében foglalkozzanak az éghajlati folyamatok behatóbb tanulmányozásával.

A GARP irányító testülete **1974** novemberében **Budapesten** tartott ülésén elhatározta egy klímadinamikai alapprogram létrehozását, valamint ismertette az elvégzendő feladatokat.

A WMO **1979**-ben megrendezte az első **Globális Éghajlati Konferenciát**, ahol felhívást intézett az országok kormányaihoz, hogy „előzzék meg az ember előidézte éghajlatváltozás negatív hatásait, illetve készüljenek fel rájuk. Hat évvel később, a **Villachban** (Ausztria) megtartott konferencián valamennyi üvegházgázt bevonták a globális felmelegedés értékelésébe. Ezt követően született egy becslés, miszerint a légkörben lévő üvegházhatású gázok száma 2030-ra megkétszereződik. Egyre sürgetőbbé vált az éghajlati válság elkerülésére törekvő nemzetközi együttműködés.

1987-ben, Montrealban aláírták az ózonréteget csökkentő vegyi anyagok kibocsátásának visszaszorításáról szóló jegyzőkönyvet. Ezt a jegyzőkönyvet Londonban és Koppenhágában módosították, előrehozva a veszélyes vegyi anyagok termelésből való kivonásának határidejét. A tudományos eredmények azonban azt mutatták, hogy ezek az intézkedések nem kielégítőek. 1997-ben elfogadták az ózoncsökkentő gázok teljes kivonását. Ennek köszönhetően a főbb ózoncsökkentő vegyi anyagok használata 80 %-kal csökkent.

A WMO és az UNEP **1988**-ban létrehozta az éghajlatváltozás kérdéseivel foglalkozó kormányközi testületet, az **IPCC**-t.

Napjainkban számos szabályzat, törvény, egyesület, szervezet létezik, melyek mind a klímaváltozás hatásainak csökkentéséért küzdenek. A világ különböző részein kutatók ezrei küzdenek a környezetszennyezés csökkentéséért, illetve próbálnak eleget tenni az egyre szigorúbb környezetvédelmi előírásoknak. Az 1950-es, 1960-as években kezdődtek meg az első lépések, összefogások a környezetvédelemért.

A XX. század közepétől egyre több tudós kezdett el foglalkozni a légkörbe kerülő üvegházhatású gázok kutatásával, megfigyelésével. A kutatások eredményeként arra a következtetésre jutottak, hogy a földi éghajlatváltozásban nagy szerepe van az emberi tevékenységnek.

5.1 IPCC: Éghajlat-változási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change)

Az első nemzetközi klímaváltozással kapcsolatos tárgyalásra 1985-ben került sor az Éghajlati Világkonferencián, majd nem sokkal rá, 1988-ban az ENSZ Környezeti Programja (UNEP) és a Meteorológiai Világszervezet (WMO) létrehozta, az Éghajlat-változási Kormányközi Testületet, rövidítve az IPCC-t.

Célja az emberi tevékenység hatására kialakuló klímaváltozással kapcsolatos kutatások összefoglalása és elemzése, valamint, hogy tevékenységével tudományosan megalapozott információkkal segítse az országok vezetőit. Az IPCC három munkacsoportban működik, az első a klímaváltozással összefüggő információkkal, a második a klímaváltozás hatásaival, míg a harmadik magával a klímaváltozás jelenségével foglalkozik. [5.1] A munkacsoportok mellett egy leltárkészítő egységet is működtet, mely különálló csoportként működik.

Az IPCC nem folytat saját kutatásokat, sokkal inkább tudományos publikációkat dolgoz fel, melyeket időközönként jelentésekben, tanulmányokban foglal össze. Az első ilyen jelentést 1990-ben készítette el, „Első Értékelő Jelentés” néven, melynek fontos szerepe volt az UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change – ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény) létrehozásában. Az Első Értékelő Jelentésében a testület kijelentette, hogy az emberi tevékenységből származó üvegházhatású gázok kibocsátása jelentősen növeli a földfelszín melegedését, illetve javaslatot tett a kibocsátás csökkentésére. De – mint az a jelentésben is olvasható – nem csak az üvegházhatású gázok, de az aeroszolok száma is rohamos növekedésnek indult.

Mindezek együttesen átalakíthatják az éghajlatot, melynek következtében egyre intenzívebbé válnak az időjárási jelenségek.

A „Második Értékelő Jelentés”, az „Éghajlatváltozás 1995” néven látott napvilágot, később hozzájárult az 1997-es Kiotói Jegyzőkönyv elfogadásához. Második jelentésében a testület, már modellek alapján, megfigyelésekkel is alátámasztotta, hogy az emberiség nagyban befolyásolja a Föld éghajlatát. Továbbá, megerősítette az első jelentésében leírtakat, hogy körülbelül 2,5 Celsius fokos emelkedés várható a közeli jövőben.

A „Harmadik Értékelő Jelentés”, „Éghajlatváltozás 2001” címmel jelent meg, melyben már előre megjósolta, hogy hatalmas változások várhatók a XXI. században, a globális felmelegedés következtében. Ilyen változás, hogy olyan ütemben felgyorsul a Föld hőmérséklet-növekedése, melyre nem volt példa a korábbi időszakban. Továbbra is céljuk volt a kibocsátások csökkentése, de már úgy gondolták, hogy mindenképpen célra vezetőbb lenne, ha minél nagyobb területen és egyszerre hajtánák végre a gázok mennyiségének korlátozását. Ugyanakkor támogatták a megelőző és az alkalmazkodó cselekvéseket, hiszen a társadalom életében hatalmas befolyással bírnak egyes iparágak, melyek ugyanakkor a legnagyobb szennyező gáz kibocsátók is a világon.

Majd 2007-re elkészítették a „Negyedik Értékelő Jelentést”. [5.1] A negyedik jelentés az elmúlt hat éves kutatómunkájuk eredményét tartalmazza, illetve a világ vízkészletére és annak megóvásának fontosságára hívja fel a figyelmet.. A kutatások ugyanarra az eredményre jutottak, hogy a Föld hőmérséklete továbbra is emelkedik, és ez a folyamat visszafordíthatatlan. Mindez sajnos további olvadáshoz vezet, melynek következtében megemelkedik a tengerszint és egyre nagyobb áradások várhatók. Továbbra is úgy gondolják, hogy a hőmérsékletváltozás okozója maga az emberiség. Mindezek következtében több száz ország tudósai működtek és működnek közre azért, hogy világosabban lássák az elkövetkezendő években várható változásokat, illetve hogy megfelelő összefogással tenni tudjanak ellene.

5.2 UNFCCC: Éghajlat-változási Keretegyezmény (United Nations Framework Convention on Climate Change)

Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye (továbbiakban UNFCCC) az első egyezmény, amely a klímaváltozás problémájával foglalkozik. 1992-ben fogadták el, a Riói Környezet és Fejlődés ENSZ Konferencián, de csak 1994-ben lépett hatályba.

Célja a légkörbe kerülő üvegházhatású gázok csökkentése, stabilizálása. Az egyezmény fontosnak tartja, hogy csökkentsék a CO₂ kibocsátást, illetve a fenntartható fejlődés támogatását. A fenntartható fejlődést először a Bruntland-bizottság fogalmazta meg. A fenntartható fejlődés lényege, hogy úgy elégítsék ki a szükségleteket, hogy azzal ne veszélyeztessék az életfeltételeket és fontos, hogy fennmaradjon az ember és a környezete közötti harmónia. A fenntartható fejlődés főbb alapelvei:

- A Föld sokszínűségének megőrzése;
- A Föld eltartó képességének keretein belül maradni;
- A nem megújuló energiaforrások felhasználásának minimalizálása;
- Az ember életminőségének javítása;
- Az emberek felelősségteljes hozzáállása a környezetükhöz;
- Globális szövetség kialakítása;
- Nemzeti kereteken belül biztosítani a fejlődés lehetőségét. [5.2]

Az egyezménnyel köteleességek is járnak, mint például hogy valamennyi félnek leltárt kell készítenie a káros anyag kibocsátásáról, támogatnia kell a fenntartható gazdálkodás fejlődését és a környezetbarát technológiák kifejlesztését.

5.2.1 Stockholm, ENSZ Emberi Környezet Konferencia

1972-ben rendezték meg az első ENSZ környezeti konferenciát Stockholmban, ahol a nemzetközi környezetvédelmi jog állt a középpontban. Ez volt az első, olyan találkozó, amely az emberi környezetről (UN Conference on the Human Environment) szólt. Négy fő dokumentumot fogadtak el a konferencia alatt:

- Nyilatkozat az emberi környezetről;
- Nyilatkozat az irányelvekről;
- Akcióprogram javaslatok;
- Szervezeti intézkedések.

Ebben az időszakban sokan úgy gondolták, hogy felesleges aggodalom az egész „csak egy Földünk van” gondolat, ugyanakkor már sokan belátták, hogy igenis rengeteg veszély fenyegeti a környezetet. Rengeteg értékelés, jelentés készült a konferenciát követően, melyek mind a környezeti problémákat elemezték, ugyanakkor gyakran előfordult, hogy teljesen másként értelmezték azokat.

A találkozót követően létrehozták az Egyesült Nemzetek Környezeti Programját, majd nem sokkal később az ENSZ Környezetvédelmi Világnappá nyilvánította június 5-ét. [5.2]

5.2.2 A Riói Konferencia

1992 júniusában került sor Rio de Janeiróban az ENSZ Környezet és Fejlődés Világkonferenciájára, melyen 172 tagállam vett részt. Sokan vártak megoldást a környezeti problémákra és az érdekellentétek elsimítására a fejlődő és fejlett országok között. Komoly tárgyalások után, öt dokumentumot fogadtak el:

a) A Riói Nyilatkozat a Környezetről és a Fejlődésről

Alapvetően sokban hasonlított ez a nyilatkozat a Stockholmban elfogadottakhoz, például a fejlődő országok segítségnyújtásáról, az államok szuverenitásáról, az erőforrások hasznosításáról szóló részek. Ugyanakkor itt már megjelenik a fenntartható fejlődés elve és annak szükségessége.

b) Keretegyezmény az éghajlatváltozásról

A dokumentum ezen része a légkör védelmére irányul, pontosabban a felmelegedést okozó gázok kibocsátásának csökkentésére. Az emberek azt várták, hogy ezzel az egyezményvel megakadályozzák a szennyező gázok további növekedését. Az egyezmény ellen több ország is kifogást emelt, mint például az Amerikai Egyesült Államok, akik gazdaságukra hivatkozva álltak ellen a szerződés elfogadásának. De nem csak az USA háborodott fel az egyezmény tartalma miatt, a fejlődő országok is úgy gondolták, hogy ezzel megakadályozzák a fejlődésüket. Végül a dokumentum nem kötelezte a fejlődő országokat semmilyen kötelezettség vállalásra.

c) Egyezmény a biológiai sokféleségről

Az egyezmény lényege a biodiverzitás védelme, hiszen ha továbbra is ilyen ütemben növekszik a kibocsátások mennyisége, a környezetszennyezés eléri azt a szintet, hogy egyre több faj kerül a kihalás szélére. Annak érdekében, hogy mindezt megelőzzék, szükségessé válik a természetvédelem erősítése.

d) Nyilatkozat az erdőkről

A nyilatkozat célja a még meglévő erdők védelme volt, de jogilag ez a dokumentum nem vált hivatalossá, mivel rengeteg ország a faexportból élt, így ők nem voltak hajlandók elfogadni ezt a megegyezést.

e) Feladatok a XXI. századra (AGENDA-21)

A dokumentum célja az volt, hogy a fejlődés szükséges forrásait biztosítsa, illetve, hogy támogassák a fejlődő országokat, akik kölcsönt vehetnek fel a környezetfejlesztésükre. Erre a célra hozták létre a Globális Környezeti Alapot, angolul a Global Environment Facility-t. Ezen kívül rengeteg tudományos kutatást végez a program, melyeket egy úgynevezett akcióprogram gyűjteményben tárol. [5.2]

5.2.3 A Kiotói Egyezmény

1997-ben került sor Kiotóban az Éghajlat-változási Keretegyezmény Részese Feleinek 3. Konferenciájára, ahol elfogadtak egy az ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezményt kiegészítő jegyzőkönyvet. A Kiotói Jegyzőkönyv újabb kötelezettségek elé állította az országokat, melynek továbbra is az volt a célja, hogy stabilizálják kibocsátásukat. Az országoknak belső intézkedéseket kell tenniük az éghajlatváltozás ellen, így például átlagosan 5 százalékkal szeretnék csökkenteni a kibocsátásukat 2012-re.

A Kiotói Jegyzőkönyv az addigi legátfogóbb egyezményként született meg, mely jogilag kötelezi a fejlett tagállamokat az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, ugyanakkor vannak nem kötelező pontjai, melyek a kibocsátások stabilizálására ösztönzi az országokat. A Magyarországnak kiszabott 6%-os csökkentés kedvező volt, mivel a rendszerváltást követő ipari összeomlás következtében egyébként is jelentősen csökkent az üvegházhatású gázok kibocsátása hazánkban. A jegyzőkönyv arra is kitér, ha egyes országok túlteljesítik a számukra kiszabott szintet, beszámíthatják a következő évbe. Ugyanakkor azok az országok, akik nem tudják csökkenteni a kibocsátásukat mennyiségét, azok megvásárolhatják a túlteljesített országok kibocsátásának valamennyi százalékát, ezzel elérve az országoknak előírt csökkentési arányt. Ezt emissziós kereskedelemnek nevezzük, mely során úgynevezett kvótákkal kereskednek. A jegyzőkönyv külön cikkelybe foglalva szabályozza a kereskedelmet. Az eladó országok maximum 3%-ot adhatnak el, míg a vevői oldal, maximum 10% kvótát vásárolhat meg. [5.3]

Továbbá az UNFCCC és a Kiotói Jegyzőkönyv támogatja a harmadik világ országait az éghajlatváltozás hatásaihoz történő alkalmazkodásban. A harmadik világ országainak nevezzük azokat az államokat, melyeknek a fejlettségi szintje és az

életszínvonala egyaránt alacsony. Ezek az országok főleg Afrika, Ázsia és Dél-Amerika kontinenseken találhatóak. Fontosnak tartják, hogy a tagállamok segítsék a fejlődő országokat a globális kihívásokhoz való alkalmazkodásban. [5.3]

2012-ben lejár a Kiotói Jegyzőkönyv, így már megkezdődtek a tárgyalások egy új egyezmény létrehozása érdekében, de egyelőre még nem tudtak megegyezni a tagok, főleg mivel a kibocsátások nagyobb százalékáért felelős országok nem akarnak újra csatlakozni az egyezményhez, mint az USA, Kína, Japán, Oroszország. Bár Kína 2010-ben kijelentette, hogy hajlandó csökkenteni a kibocsátásának mennyiségét. [5.4]

5.2.4 Fenntartható Fejlődés Csúcskonferencia, Johannesburg 2002

2002-ben rendezték meg a konferenciát, melynek célja a riói találkozó óta eltelt tíz év változásainak áttekintése volt. Tényleges problémákat vetettek fel a találkozón, mégis azt lehet mondani, hogy nem volt eredményes a konferencia. Rengeteg vitát követően két dokumentumot fogadtak el:

- Johannesburgi Nyilatkozat a Fenntartható Fejlődésről;
- Végrehajtási Terv.

Végül arra a következtetésre jutottak, hogy mivel a Rióban elfogadott dokumentumok kudarcba fulladtak, vissza kell térni a régi vállalások kötelezésére. Mindezek mellé új célokat tűztek ki, köztük hogy 2015-ig csökkenteni fogják azok számát, akik nem jutnak tiszta, egészséges ivóvízhez, ezen kívül több figyelmet fognak fordítani a „környezet-egészségügyre”. Ugyanakkor a korábbi vállalások – a kiotói egyezmények során – kezdtek elhalványodni, mivel egyre többen ellenkeznek és hátrálnak ki, mint például az USA. [5.5]

5.2.5 A koppenhágai klímakonferencia

2009-ben került sor a koppenhágai klímakonferenciára, mely sajnos alulmúlta a várt eredményt. A több órás vitát követően csak egy három oldalas dokumentum készült, mely nem tartalmazza a legszükségesebb vállalásokat, köztük az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését sem. A dokumentum nem tartalmaz semmilyen jogi szabályozást, célkitűzést a jövőre vonatkozóan az országok számára a kibocsátásukról.

A tárgyalások során többször holtpontra jutottak, mivel nem tudtak megállapodni a fejlődő országok kötelezettségeit illetően. Végül a konferencia

sikertelenül záródott, hiszen nem fogadták el, csak tudomásul vették az ott született dokumentumot.

Ugyanakkor felkérték az országokat a további emisszió-csökkentésre, hogy elkerüljék a globális felmelegedés várható növekedését. Sajnos a konferencia során nem tértek ki az esőerdők fenyegetettségére és azok megóvásának lehetőségeire se, bár köztudott tény, hogy az üvegházhatás erősödéséhez sokban hozzájárul az erdők irtása. Arról se született megállapodás, hogy kárpótolják-e az erdők megóvásáért küzdő országokat. A konferencia talán egyik legnagyobb eredménye az volt, hogy megegyeztek a tiszta energiát használók támogatásáról. [5.6]

5.2.6 Cancuni klímacsúcs

2010-ben került sor a cancuni klímakonferenciára, de a koppenhágai találkozó után nem fűztek hozzá sok reményt. A konferencián elfogadott dokumentumok tartalmazzák az USA és a fejlődő országok kibocsátásának csökkentésére és a klímapolitikájukra vonatkozó vállalásokat. Fontos része volt a találkozóknak, hogy a 2012-ben lejáró kiotói egyezményről tárgyaljanak a tagországok. Végül elfogadták a jegyzőkönyvet módosító pontokat, illetve az ezt előkészítő döntéseket. A cancuni klímacsúcs másik fontos eredménye, hogy a koppenhágai egyezményt hivatalos dokumentummá emelték. [5.6]

5.3 EEA: Európai Környezetvédelmi Ügynökség (European Environment Agency)

Az EEA az Európai Unió ügynöksége, melynek célja, hogy pontos információkkal szolgáljon a környezetről. 1990-ben fogadta el az Európai Unió az ügynökségről szóló rendeletet, de csak 1993-ban lépett hatályba. Jelenleg 32 tagja van. A rendelet elfogadását követően létrehozták az Európai Környezeti Információs és Megfigyelő Hálózatot, ezek után elkezdődhetett az EEA munkássága. Az EEA feladata az Európai Környezeti Információs és Megfigyelő Hálózat koordinálása, illetve hogy a kellő tájékoztatással segítséget nyújtson a tagországoknak a megfelelő lépések megtételéhez.

Az EEA fő területei az éghajlatváltozás negatív következményeinek és a biodiverzitás csökkenésének elkerülése, az emberi egészség és életminőség védelme, a természeti erőforrások és a hulladékok hatékonyabb kezelése. Mindezen túl

értékeléseket készít, analizálja a környezetet, részt vesz a forgatókönyvek kidolgozásában és a szakpolitika értékelésében, valamint összegyűjti és elemzi a tagállamok, az EU tagok és a nemzetközi szervezetek környezetvédelmi adatait. [5.7] A testület 3 fő témakörben készít átfogó elemzéseket:

1. Értékeli és rendszerezi a globális felmelegedés kiváltó okairól rendelkezésünkre álló tudományos ismereteket.
2. Elemzi az éghajlatváltozás következményeit a környezetre és a gazdaságra nézve.
3. Áttekinti és értékeli a szükséges és lehetséges válasz-stratégiákat.

A munkacsoportok időnként részletes helyzetértékelő jelentést adnak ki, az elsőt 1990-ben, a másodikat 1996-ban, a harmadikat 2001-ben, a negyediket 2007-ben.

Az éghajlattudósok egyetértenek abban, hogy a gyorsuló globális klímaváltozás nemzeteket, államokat, vállalatokat és egyéneket készítet arra, hogy radikális intézkedésekkel csökkentsék a hatásokat és felkészüljenek az alkalmazkodásra is.

A '90-es évek végétől az Unió arra kötelezte el magát, hogy vezető szerepet játsszon a globális felmelegedés elleni küzdelemben. Miután az USA visszalépett kiotói vállalásaitól, az EU komoly diplomáciai erőfeszítéseket tett annak érdekében, hogy más országok (pl. Oroszország) tartsák magukat a szavukhoz. Emellett sikereket könyvelhet el annak biztosításában is, hogy elegendő ország vegyen részt a kötelezettség vállalásában. Ugyanakkor a lisszaboni prioritások (versenyképesség, munkahely, gazdasági növekedés), lényeges akadályt jelentenek az klímapolitika kivitelezése szempontjából. A tény, hogy a klímaváltozást még mindig környezeti kérdésnek tartják (és ezért a környezeti DG foglalkozik vele) meghatározó jelentőségű.

Az EU 15 régi tagállamának még komoly erőfeszítéseket kell tennie annak érdekében, hogy a vállalt kötelezettségeit sikerüljön teljesíteni. A 10 új tagállam elmarad a céloktól, ami főként a gazdaságaikban végbemenő szerkezeti átalakulásnak köszönhető. Az elmúlt néhány évben a kibocsátásuk ismét növekedett.

5.3.1 Az Európai Éghajlatváltozási Program (ECCP)

Az első ECCP 2000-ben indult. A program az érintettek bevonásán alapul, keretében a Bizottság vitát folytat az egyes iparágakkal és nem kormányzati szervezetekkel (NGO) egyaránt. A program megvalósítása során költség-hatékony megoldásokat dolgoz ki a Bizottság az éghajlatváltozás elleni küzdelemben. Az ECCP

hozzávetőleg 30 eszközt határozott meg. Ilyen eszköz többek közt a kibocsátás-kereskedelmi rendszer, az „összekötési irányelv”, a megújítható erőforrások támogatásáról szóló irányelv a villamosenergia termelésében, valamint az autógyártókkal kötött ún. „önkéntes megállapodás”, mely során ez utóbbiak önként vállalnak kötelezettséget az új autók csökkentett CO₂ kibocsátására.

2005-ben elindult az ECCP II, mely során értékelik az ECCP eredményeit. A Program végrehajtása kapcsán hangsúlyt fektetnek a széndioxid leválasztására és tárolására, a közlekedési szektor ETS-be való integrálására, valamint az adaptációs politikákra.

5.3.2 Költségek és hasznok

Számos bizonytalanság merül fel a klímaváltozás elleni küzdelem költségeit, és az abból származó hasznokat illetően. Ezért nagyon fontos megtalálni a leginkább költség-hatékony megoldást az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére. A felmerülő lehetséges költségek számbavételével kimerítően foglalkozik a Stern-jelentés, mely szerint az összes költség a világ GDP-jének 1%-ára szorítható le.

5.3.3 Álláspontok

2006. október 27-én az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) felhívta a figyelmet arra, hogy a jelenlegi intézkedésekkel mindössze két régi tagország, az Egyesült Királyság és Svédország érné el a csökkentésre vonatkozó célokat. Az eddig életre hívott politikákkal 2010-re szerinte csak 0,6%-os csökkentés valósítható meg az EU-15 esetében. További politikák és intézkedések bevezetését tartja szükségesnek a 8%-os csökkentési cél 2012-es megvalósításához.

Az európai ipar képviselői aggodalmukat fejezték ki amiatt, hogy az EU klímapolitikája aláássa a vállalatok versenyhelyzetét a világgazdaságban. Számos alkalommal bírálta, hogy az EU egyoldalúan vállalt többletkötelezettségeket. Helyette a globális megoldáskeresést tartják szükségesnek.

A másik oldalról, a zöld szervezetek viszont úgy értékelik, hogy az EU politikái nem mennek elég messzire. Az ECCP II indulásakor közös álláspontjukat fejezték ki (többek közt a „Föld Barátai”, a Greenpeace és a WWF), mely során az első ECCP felülvizsgálatát követelték és még ambiciózusabb célkitűzések és politikák vállalására hívják fel az EU-t.

Fontos lépés volt az Unió éghajlat-politikájában, hogy **2007.** június 29-én az Európai Bizottság elfogadta első adaptációs tervezetét, melyet **Zöld Könyv** formájában, Brüsszelben, nyilvános vitára bocsátottak. Ennek legfontosabb eleme az integráció elve. E szerint a klímapolitikát be kell építeni a fejlesztéspolitikába, azaz a kohéziós politika egyik központi elemévé kell tenni. Más szóval a klímaváltozással kapcsolatos beavatkozásokat nem önállóan kell tervezni és végrehajtani, hanem szerves egységben a közösségi forrású tervezésekkel és fejlesztésekkel.

5.4 Irodalomjegyzék

- [5.1] Bíró Dávid: A globális felmelegedés politikatörténete című könyv, Napvilág Kiadó, Budapest, 2003, pp:14-18, ISBN:963935022-2
- [5.2] http://www.unis.unvienna.org/unis/hu/thematic_info_climate_change_ipcc.html
Letöltés ideje: 2011-03-27
- [5.3] Rakonczai János: Globális környezeti problémák, Lazi Könyvkiadó, Budapest, 2003. pp: 61-68, ISBN:9639416525
- [5.4] http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=hu&sl=en&u=http://unfccc.int/press/fact_sheets/items/4978.php&prev=/search%3Fq%3DUNFCCC%26hl%3Dhu%26biw%3D1011%26bih%3D566%26prmd%3Ddivns&rurl=translate.google.hu&usg=ALkJrhITULPC17VIGkwOJLz00wUnAqP4Uw Letöltés ideje: 2011-03-27
- [5.5] <http://zoldtech.hu/cikkek/20110117-kiotoi-egyezmeny-jovoje> Letöltés ideje: 2011-04-20
- [5.6] http://hu.wikinews.org/wiki/A_koppenh%C3%A1gai_kl%C3%ADmakonferencia_ut%C3%A1n Letöltés ideje: 2011-04-18
- [5.7] <http://www.eea.europa.eu/hu/about-us/who> Letöltés ideje: 2011-03-27

6 A VAHAVA jelentés és Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia

6.1 A VAHAVA projekt

A VAHAVA (VÁltozás-HAtás-VÁlaszdás) néven futott magyarországi projekt alapvető feladata olyan, új nagyrendszer szemléletű szintézis elvégzése volt, amely egyrészt feltárja a valószínűsíthető éghajlatváltozási forgatókönyvek komplex hatásait; másrészt pedig megadja javaslatait, ajánlásait a hatásokra adandó válaszokra. Vagyis olyan cselekvési programokra, amelyek megelőzik, vagy minimalizálják a kedvezőtlen hatásokat országos és regionális szinten, és ezzel hozzájárulnak a fenntartható fejlődés tudományos megalapozásához. [6.1] A VAHAVA Jelentés 2007. február 21-én jelent meg a Szaktudás Kiadó Ház gondozásában. [6.2] Terjedelme 220 oldal, főbb fejezetei:

- A klímaváltozás megítélése;
- A klímaváltozás hatásterületei: a légkörvédelem és az alkalmazkodás megoldásai;
- Klímapolitika: a légkörvédelem és az alkalmazkodás eszközrendszere;
- Összefoglaló megállapítások, következtetések, javaslatok;
- Függelékek.

6.1.1 Jövőkép

A klímaváltozás hazánkban előreláthatólag felmelegedéssel, szárazodással, az extrém időjárási események gyakoriságának és intenzitásának növekedésével jár. Ezek időben, térben és a társadalomban differenciáltan jelennek meg, és az érzékenység, tűrőképesség, sérülékenység függvényében eltérő hatásokat gyakorolhatnak, illetve eltérő károkat okozhatnak.

Az összefoglaló megállapítások, következtetések, javaslatok című fejezet 30 pontból áll. Ezek csoportosítása:

- Elvi jellegű megállapítások, következtetések 5
- Szakterületi javaslatok 16
- Hazai klímapolitikát megalapozó javaslatok 9

6.1.2 A VAHAVA-jelentés legfontosabb elemei

1. A társadalom klímatudatosságának fejlesztése elsőrendű feladat az oktatás, nevelés, ismeretterjesztés segítségével.
2. Offenzív klíma-kommunikációs tevékenységre van szükség.
3. A hazai klímapolitika alappillérei:

Üvegházhatású gázok csökkentése /mitigation/:

- Energiatakarékosság;
- Energiahatékonyság növelése;
- Megújuló energiaforrások bevonása;
- Erdőtelepítés.

Alkalmazkodás /adaptation/:

- Megelőzés;
- Védekezés, kárelhárítás;
- A veszteségek csökkentése, károk felszámolása, helyreállítás.

4. Az alappillérek egymást nem helyettesíthetik, viszont egymást kiegészíthetik és felerősíthetik.

5. Szélsőséges meteorológiai események típusai és hatásai:

- Árvíz;
- Belvíz;
- Aszály;
- Özönvízszerű esők;
- Hóakadályok, ónos esők, köd, zúzmara;
- Hőség hullámok;
- UVB sugárzás növekedése;
- Szélviharok;
- Korai és késői fagyok;
- Erdő- és bozóttüzek;
- Új kórokozók és állati kártevők megjelenése.

6. A klímaváltozás által érintett ágazatok:

- Turizmus;
- Katasztrófavédelem;
- Környezet-egészségügy;

- Szociális ellátás;
- Regionális fejlesztés;
- Szabadtéri rendezvények;
- Külpolitikai vonatkozások;
- Természetvédelem;
- Mezőgazdaság;
- Erdőgazdaság;
- Vízgazdálkodás;
- Energetika;
- Közlekedés;
- Építészet.

7. A vízgazdálkodás kiemelkedő szerepet kap az éghajlatváltozásra való felkészülésben:

- Ivóvíz bázisok védelme;
- Gyógy- és ásványvíz bázisok védelme;
- A talajok vízbefogadó- és tároló képességének növelése;
- Kisméretű víztározók hálózatának kiépítése;
- Víztakarékos eljárások alkalmazása:
 - az iparban;
 - a településeken;
 - a mezőgazdaságban;
- Tavak vízkészletének megtartása;
- Özönvízszerű esők kedvezőtlen hatásai elleni védekezés;
- Árvízvédelem;
- Belvízvédelem.

8. Az éghajlatváltozásra való sikeres felkészülés érdekében fejleszteni szükséges:

- A meteorológiai megfigyelések, adatgyűjtések rendszereit, a légkörkutatókat, a regionális és globális klíma-modellezést;
- A természeti környezet állapotának rendszeres monitorozását;
- A klímahatások interdiszciplináris kutatását;
- A kibocsátás-csökkentés műszaki, innovációs és gazdasági lehetőségeit;

- Az alkalmazkodás természeti, gazdasági és társadalmi vonatkozásainak kutatását.
9. Az éghajlatváltozással kapcsolatos biztonsági tényezőkre nagyobb figyelmet kell fordítani. Ezek közül a fontosabbak:
- Környezet-egészségügyi szolgáltatások;
 - Katasztrófavédelem;
 - Pénzügyi, biztosítási rendszerek;
 - Központi költségvetési alapok;
 - Tartalékok /élelem, ivóvíz, gyógyszerek, fertőtlenítő szerek, vetőmag, takarmány, stb./ képzése;
 - Keletkezett károk gyors műszaki helyreállítása.

A VAHAVA projekt eredményei három, ún. kosárban kerültek összeállításra:

- Egy nagy rendszer-szintézis keretében az eddig felhalmozott adatok és ismeretek integrációja;
- Javaslatok, ajánlások, intézkedési elgondolások, kutatási témák az elkövetkezendő rövid, közép és hosszú távokra; helyi, regionális és országos szintekre vonatkoztatva;
- Továbbá egy Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia és/vagy Klímapolitika tudományos alapjainak kidolgozása.

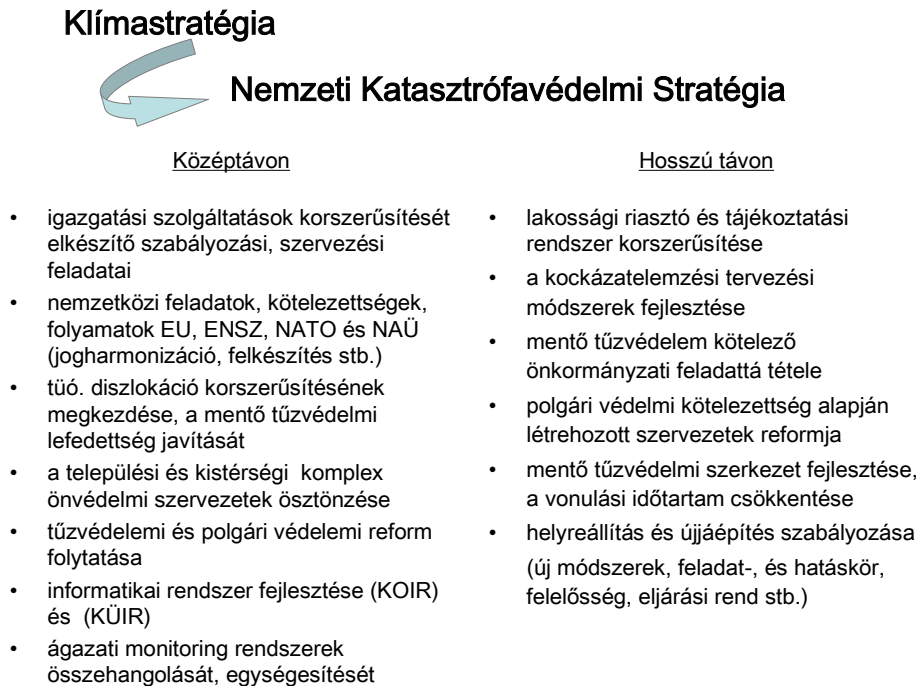
Összegyűjtésre és elemzésre kerülnek a szélsőséges időjárás okozta események, azok legfontosabb tapasztalatai, kezelésük taktikai módszerei, továbbá közvetlen és közvetett kárai, következményei.

Továbbá, egyrészt megfogalmazásra kerültek illetve kerülnek javaslatok és előterjesztések, pl. az önkormányzati védelmi feladat- és hatáskörök pontosítására, taktikai módszerek, szivattyúk és egyéb műszaki eszközök korszerűsítésére, fejlesztésére, lakosságtájékoztatási és felkészülési tervek, technológiák fejlesztésére.

Másrészt, a Nemzeti Fejlesztéspolitikai Koncepcióba és a Nemzeti Stratégiai Referencia Keret programjaiba javaslatok kerültek megfogalmazásra, hogy a klímaváltozással összefüggő biztonsági témakörök is kerüljenek felvételre.

Harmadrészt, meghirdetésre kerültek a klímaváltozással kapcsolatos kutatási témák, amelyek közül pl. az új kockázatelemzési, kockázatkezelési modellek témakörében már vannak eredményeink.

A harmadik kosárral összefüggésben a globális klímaváltozás problematikája szerepel a Nemzeti Katasztrófavédelmi Stratégiában, valamint a különböző biztonságot érintő stratégiai dokumentumaiban, illetve a tervezett Klímastratégia visszautal, támaszkodik a szakmai stratégiákra. Ezzel harmonizálni kívánták a stratégiai kérdéseket.



6.1. ábra: *A hazai klímastratégia elemeinek megjelenése a közép- és hosszútávú katasztrófavédelmi stratégiában*

A VAHAVA kutatási projekt előkészített, illetve megalapozott további kutatási programokat. Ennek mintegy szellemi folytatása a „Felkészülés a klímaváltozásra: környezet–kockázat–társadalom” című tudományos projekt és annak katasztrófavédelmi része.

A klímaváltozás az éghajlati elemek magasabb vagy alacsonyabb értékek irányába történő tartós és/vagy rövidebb-hosszabb ideig esetleg akár irreverzibilis változása, amelyek gyakorlati hatása érzékelhető és mérhető, sőt jelentős emberi-társadalmi következményekkel jár.

A globális klímaváltozás hatásainak legalább öt nem bizonyított, de nem is kizárható következmény-együttesével lehetne egy nem túl távoli – években nem kiszámolható – jövőbeni időszakban számolni:

- Az első maga a felmelegedés. Ha ez a hőmérséklet-emelkedés átlagosan oszlana el, azaz hazánkban is az átlagnak megfelelő mértékű felmelegedés következne be, akkor forró nyaraink, enyhe (enyhébb) teleink, melegebb (rövidebb) tavaszaink és őszeink lennének.
- A jövőben inkább a nem (vagy csupán nagy hibaszázalékkal) előre jelezhető változások valószínűsíthetők. Módosul a szelek járása, eltérül a felhők szokásos vonulási rendje. Azokon a területeken lehet sok csapadék, ahol eddig az alacsony szint volt a jellemző, míg más területeken jelentősen csökkenhet annak mértéke. Ha az uralkodó széljárás ezután túlnyomóan déli, nem pedig nyugati (a pólusok erőteljesebb melegedésével ez reális lehetőség), akkor trópusi, monszunjellegű esők, tartós szárazságok és hirtelen áradások következhetnek be.
- A harmadik lehetséges hatás a nagyobb területi egyenlőtlenség. Ha a kezdeti melegedés megolvasztja az Északi-sark jegét – amint látjuk is –, akkor a délre úszó jégtömbök hozzájárulhatnak a Golf-áramlat lehűtéséhez. Mivel pedig az elmúlt tízezer évben ez a meleg-áramlat tartotta lakhatóan langyosnak Nyugat- és Észak-Európát, ha ennek hőszállító hatása mérséklődik, esetleg megszűnik, akkor – általános felmelegedés körülményei közepette – Európa észak-nyugati területei egy távolabbi jövőbeni időszakban akár 5-8 fokkal is lehűlhetnek. Ez többek között Magyarországon is hideg, nyirkos nyarakat és dermesztő teleket jelentene.
- A negyedik típusú következmény az lenne, ha a kezdeti melegedés – önerősítő visszahatások révén – hirtelen felgyorsulna. A jelen állapotokat fenntartó „vezérlési tartományból” való kiesés a hipotetikus számítások és az eddigi földtörténeti tapasztalatok szerint kb. 17 Celsius-fokos átlagos földközeli hőmérséklet környékén következhet be (ez csupán hipotézis!), ami után a melegedést – jelen feltételezéseink szerint – nem lehet többé megfékezni. A földfelszín mai átlaghőmérséklete kb. 15 °C.
- Az ötödik is igen veszélyes lehetőség, de éppen ellentétes előjelű. Az emberi faj a jégkorszak körülményei között szenvedte végig őskorát. Földművelésre és letelepedésre alkalmas, stabil és enyhe idő csak az elmúlt nyolc-tízezer év folyamán volt. Ez egyes szakértők szerint is kisebb fajta csoda: mire a modern ember genetikailag „készen lett”, az éghajlat is felhagyott a hirtelen és nagy amplitúdójú ingadozásokkal, a jéghatár előre-hátra húzódásával és a tengerszint

fel-le mozgásával, és a hőmérséklet egy viszonylag magas szinten stabilizálódott. Ez a nyugodt, egyenletes, csupán kis amplitúdójú éghajlat ingadozásokkal járó enyhe tízezer év tette lehetővé az emberi civilizáció felemelkedését, a földműves kultúra kivirágzását. Egyes megállapítások szerint ezt a jelenünkig tartó kiegyensúlyozott, „meleg kort” egy hirtelen, nagyon meredek hőmérséklet-emelkedés előzte meg, amivel mintegy „kiakadt a kapcsoló”, s megszűnt az éghajlat heves ide-oda ingadozása. A valódi veszély az, hogy az elkövetkező néhány fokos hőmérséklet-emelkedés megint „visszapöccenti a kapcsolót”, és visszatérhetnek a veszedelmes, néhány évtized alatt leforgó, pusztító éghajlati szélsőségek, a több fokos hőmérséklet-zuhanástól a tengerszint-emelkedésig és a további szélsőséges időjárási jelenségekig. Ez az élelmiszertermelés jelenlegi feltételeinek szélsőséges megváltoztatása mellett számos, további súlyos ökológiai, gazdasági és társadalmi hatással járna.

6.2 A Nemzeti Éghajlatváltózási Stratégia

A Vahava-projekt munkája során felsorakoztatott közel 100 szakember létrehozta az Éghajlatkutatók Fórumát, mely keresi a „Mi legyen a VAHAVA után?” kérdésre a választ. [6.3-6.5] Az Éghajlatkutatók Fóruma ajánlását a Nemzeti Éghajlatváltózási Stratégia kapcsán 2006. december 12-én tette meg, melyet az Országgyűlés 2008. március 18-án fogadott el.

A Nemzeti Éghajlatváltózási Stratégia (NÉS) elkészítését az ENSZ Éghajlatváltózási Keretegyezménye és annak Kiotói Jegyzőkönyve végrehajtási keretrendszeréről szóló 2007. évi LX. tv. (V. 28.) 3. § rendelkezése írja elő.

A NÉS Magyarország középtávú klímapolitikájának három fő cselekvési irányát jelöli ki:

1. Az uniós és nemzetközi követelményeknek megfelelően intézkedéseket irányoz elő, az éghajlatváltózást kiváltó gázok kibocsátásának csökkentése, és növekedésének megelőzése érdekében. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklését az összes energiafelhasználás csökkentésével együtt kell megvalósítani úgy, hogy a termelés és fogyasztás szerkezetének egésze a kevésbé anyag- és energia-igényes irányba változzon.

2. A már elkerülhetetlen éghajlatváltozás kedvezőtlen ökológiai és társadalmi-gazdasági hatásai elleni védekezésnek, az éghajlatváltozás következményeihez való alkalmazkodóképesség javításának legfontosabb elemeit tartalmazza.
3. Az éghajlatváltozás társadalmi tudatosítását és a klímatudatosság erősítését.

A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia küldetése, hogy megfelelő közpolitikai keretet adjon egy olyan cselekvési láncolathoz, amelynek végrehajtásával sikerül kellően hatékonyan és hatásosan a legjobb helyzetbe hozni Magyarországot társadalmi és gazdasági szempontból a klímaváltozást előidéző gázok kibocsátásának csökkentése, valamint az elkerülhetetlen változásokhoz történő alkalmazkodás területén egyaránt.

A NÉS céljait a nemzetközi és az európai uniós éghajlat-politika jelölik ki. Legújabb fejleményként az Európai Tanács 2007 tavaszi ülészakán elfogadottakat szükséges figyelembe venni. Az Unió kétféle forgatókönyvet határozott meg. Amennyiben egy globális kibocsátás-csökkentési megállapodás jön létre, akkor 2020-ra 30%-kal csökkenti 1990-eshez képest az üvegházhatású gázok kibocsátásait. A globális keretrendszer létrejöttéig az Unió egyoldalúan vállal 20% kibocsátás-csökkentést az 1990-es szinthez képest 2020-ra.

A NÉS átfogó célja, hogy járuljon hozzá azon nemzetközi törekvésekhez, hogy a 2-2,5 °C globális átlaghőmérséklet emelkedés a lehető legkisebb valószínűséggel következzen be, illetve segítse elő a hazai környezeti, társadalmi, és gazdasági rendszerek felkészülését a globális átlaghőmérséklet legfeljebb 2-2,5 °C-os emelkedéséből adódó hazai következmények kezelésére. A Stratégia három fő célkitűzése:

1. **Percepció** – a felkészülés társadalmasítása, a politikai akarat erősítése: A stratégia tervezése és végrehajtása nem képzelhető el a társadalmi és szakmai érdekképviselői csoportok részvétele nélkül. A tervezés és végrehajtás társadalmasítása révén a stratégia koherens társadalmi–gazdasági–környezeti jövőképet fogalmaz meg.
2. **Mitigáció** – arányos kibocsátás csökkentés: Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése 2012-ig a Kiotói Jegyzőkönyvben részes félként vállalt mértékben és eljárásoknak megfelelően. 2012 után az EU által a tagállamok közötti megállapodásnak megfelelő mértékben, de oly módon, hogy a csökkentési intézkedésekkel járó gazdasági haszon és környezetvédelmi előnyök

maximalizálhatók, a technológiai és egyéb költségráfordítások minimalizálhatók legyenek. A hazai vállalat globális keretrendszer esetén 2020-ra 27-34%-os, EU egyoldalú kibocsátás vállalat esetén 16-25%-os 1990-hez képest.

3. **Adaptáció – arányos felkészülés az alkalmazkodásra:** Az éghajlatváltozás hatásaihoz történő társadalmi-gazdasági alkalmazkodás legfontosabb eszközeinek és társadalmi feltételeinek megteremtése és folyamatos biztosítása a növekvő szükség függvényében. Mindemellett az éghajlatváltozás olyan hatásaival szembeni sérülékenység csökkentése is szükséges, amely hatásokhoz nem lehet alkalmazkodni.

A Stratégia az éghajlatváltozást meghatározó környezeti terhelésként az ÜHG kibocsátását tekinti. Ennek megfelelően a magas széntartalmú gazdaságot, s ahhoz tartozó szektorokat tartja hajtóerőknek. Ezek a szektorok az energiaipar, a lakossági- és közszféra, az ipar, a közlekedés és a földhasználat.

A Stratégia tárgyalja, hogy a nevezett ágazatokban milyen kibocsátás-csökkentési potenciálok vannak. Ezen keresztül határozza meg az egyes ágazatokban szükséges intézkedéseket. Ezek a hatásfoknövelés, kapcsolt energiatermelés és széndioxid tárolás; energiatakarékosság a lakossági szektorban és a közszférában; átállás megújuló energiahordozókra; a közlekedési kibocsátások mérséklése; a mezőgazdasági kibocsátások mérséklése, szénmegkötés erdőtelepítéssel; hulladékgazdálkodás és szennyvízkezelés; ipari kibocsátások mérséklése; intelligens energiaszolgáltatás. Ezekben túlmenően a korlátozási/kötelezettségi és bizonyítvány-kereskedelmi rendszereket sorolja fel lehetséges eszközként.

Az alkalmazkodást a változó körülményekhez elkerülhetetlennek tekinti, s ezért külön alkalmazkodási stratégiát állít fel. Prognosztizálja a kárpáti régióban várható változásokat, annak hatásait a kiemelt szektorokra. Elemzi a hazai alkalmazkodóképességet, s meghatározza a legfontosabb feladatokat.

A Stratégia azzal az elvi feltétellel határozza meg az adaptációs intézkedéseket, hogy azok soha nem kerülhetnek ellentmondásba a kibocsátás-csökkentési célokkal. Adaptációs céljának elérése érdekében a legfőbb feladatok a következők:

- Az ökoszisztémák fenntartása, funkcióinak megőrzése;
- Fenntartható erőforrás-használat;
- A víz mint erőforrás fenntartható használata;

- A lakosság és infrastruktúra védelme az időjárási szélsőségek ellen;
- A lakosság jó egészségi állapotának biztosítása;
- A lakosság felkészítése az adaptációra.

Kiemelt szektoroknak tekinti a vízgazdálkodást, a mezőgazdaságot, az erdő- és zöldfelület gazdálkodást, a természetes élővilág védelmét, az emberi egészséget, az épített környezetet. Mindegyik területen meghatározza a célkitűzéseket és intézkedéseket is, továbbá a horizontális eszközöket és feladatokat. Ezen a téren a kutatás-fejlesztés és innováció; oktatás, képzés, nevelés és szemléletformálás állnak az első helyen. A Stratégia végrehajtásához a Stratégia két év múlva történő felülvizsgálatát, Éghajlat-változási Bizottság felállítását, s az emisszió-kereskedelemből származó bevételeket, továbbá a civil szervezetek bevonását tervezi.

A célok elérése, az intézkedések végrehajtásának biztosítása állami szabályozó rendszert igényel. A Stratégia fontosnak tartja a piaci megoldások keresését, mint a dupla nyereséggel járó (win-win) megoldások alkalmazása a problémákra, továbbá az adózási eszközöket, amelyeket az externáliák internalizálásának elve követel meg. A Stratégia javasolja az erőforrásadót, az üvegházgáz adót, a környezetvédelmi adók reformját, a támogatási és adókedvezményeket.

Az éghajlati rendszer kulcsfontosságú elemeinek megzavarása messzire ható következményekkel járhat, de rendkívül nehéz előrevetíteni, hogy milyen szintű klímaváltozás vált ki ilyen változást.

A globális hőmérséklet emelkedésével a hirtelen és vélhetően visszafordíthatatlan változások gyakorisága megnövekszik, és ezek súlyos hatásokkal járhatnak. Ezen hatások között van:

- Az antropogén eredetű felmelegedés és a világtenger szintjének emelkedése a XXI. század során tovább, folytatódnak még akkor is, ha az üvegházhatású gázok kibocsátását sikerül stabilizálni. A grönlandi és nyugat-anktartiszi jégtakaró jelentős mértékű olvadása a világ tengerszintjeinek akár 12 méteres emelkedésével is járhat;
- a hóval borítottság szintén csökkenni fog csak úgy, mint a tengeri jég mennyisége;
- csökkenés jelentkezhethet az Észak-atlanti Áramlás erősségében, amely jelentős hűtő hatással járhat az észak-atlanti és európai régióban;

- az olvadó permafrosztból történő növekvő metán kibocsátás vagy az óceánok mélyén a kontinentális határok mentén elhelyezkedő nagy mennyiségű metán-hidrátok destabilizációja;
- a csapadék mennyiségének emelkedése várható a magas szélességen, csökkenése pedig szubtrópusi és mediterrán területeken;
- a szélsőséges időjárási események (nyári hőség hullámok, záporok) gyakorisága növekedni fog;
- jelentős fajkihalás;
- jelentős hatások a mezőgazdaságra, víz-erőforrásokra, egészségre és nemzetgazdaságokra;
- a szén-nyelők kibocsátókká válhatnak;
- nő a környezeti konfliktusok száma, a politikai instabilitás és a konfliktusok kiterjedtebbé válnak a klímaváltozással;
- a környezeti menekültek migrációjának előidézése és erősödése;
- a tiszta édesvízhez való hozzáférés kritikussá válik.

6.3 Várható hazai hatások

Az éghajlatváltozás egyik meghatározó kihívása abból következik, hogy annak fokozódó hatásai eltérő mértékben ugyan, de az ország egész területét, valamennyi ökoszisztémáját, megújuló természeti erőforrásainak egy részét, valamint a társadalom szinte valamennyi szektorát, rétegét és fontosabb szereplőjét érintik, vagy érinteni fogják. A várható változások főbb elemei:

- A század első harmadára Magyarország éves átlaghőmérséklete várhatóan 1,4 fokkal emelkedik;
- Minden évszakra egyértelmű melegedés várható, amelynek mértéke az 1961-90-es évek átlagához képest nyáron a legnagyobb: 4-5 °C, tavasszal a legkisebb: 3-3,5 °C;
- Az éves átlag csapadék mennyisége nem változik;
- A csapadékmennyiség éven belüli eloszlása jelentősen módosul, nyáron 8%-os csökkenésre, télen 9%-os emelkedésre számíthatunk;
- A nagycsapadékos jelenségek száma várhatóan a jövőben nő, míg a kis csapadékkal járó jelenségek csökkenő tendenciát mutatnak;

- A magyarországi folyók évtizedeken belül nyaranta akár a jelenleg szokásos szint felére apadhatnak;
- A talajvíz megfelelő utánpótlás híján süllyedni fog, főként a völgyekben és az alacsonyabb területeken, például az Alföldön;
- A záporok gyakoribbá válnak, ami miatt nő a hirtelen árhullámok kockázata;
- Nagy bizonyossággal növekszik a meleg, különösen a hóhullámok okozta halálesetek száma;
- Egyre több kórokozó jelenik meg;
- A 1,5-2,5 °C-os hőmérséklet-emelkedés 20-30 százalékkal tizedelheti meg a biológiai sokféleséget kontinensünkön.

Vízgazdálkodás:

- Új árvízi szélsőségek jelentkezése nagyobb és közepes folyóinkon, (szimulációs vizsgálatok az árvízi kártételek 20 százalékos növekedését prognosztizálják a XXI. századra);
- Hegy- és dombvidéki kisvízfolyásainkon a nagycsapadékos események hatására gyors levonulású heves árhullámok valószínűsége nő;
- A Dunát és a Drávát a közepes vízhozamok mérsékelt csökkenése mellett az évszakos megoszlás változása, eltolódása fogja jellemezni;
- Az állóvizek és vizenyős területek természetes vízellátása hosszabb időszakokra csökkenhet, a Balaton, a Fertő-tó és a Velencei-tó vízforgalma lelassul;
- Az Alföld és ezen belül a Duna-Tisza-közének egyes kisebb tavai, az elszigetelt holtágak, sőt a folyókkal összeköttetésben lévő vízfelületek is csökkenhetnek, de akár teljesen meg is szűnhetnek;
- A felszín alatti vizek utánpótlása veszélybe kerülhet; mind a talajvizek, mind a rétegvizek tekintetében az Alföld térsége és – kisebb mértékben – a Dunántúli-középhegység karsztvíz-készlete minősül leginkább veszélyeztetettnek;
- A növekvő párolgás a felszín alatti vízkészlet drasztikus csökkenését is okozhatja;
- Az éghajlatváltozás módosíthatja egyrészt a vízminőséget, másrészt a rendelkezésre álló vízmennyiséget;
- A növekvő hőmérséklet miatt a víz hőmérséklete is nőni fog. Tavainkat az eutrofizáció komolyan fenyegeti az egyre növekvő hőmérséklet miatt;

- A felszín alatti víz csökkenő mennyisége az ivóvíz kutakat érintheti negatívan, a karsztvizeket, rekreációra használt gyógyvizeket és a felszíni vizek mennyiségét;
- A felszíni vizek csökkenő mennyisége szélsőséges esetekben korlátozhatja a vízkivétel mértékét, az öntözésre, ipari és rekreációs célokra használt víz mennyiségét, illetve a folyami hajózást;
- A kisebb vízmennyiség miatt a vizek öntisztuló képessége csökkenhet. Ilyen módon egyes szennyezések lebomlása lassabb lesz, ami a vízminőséget befolyásolja;
- A hirtelen lezúduló esőzések is veszélyt jelenthetnek. A nagymértékű csapadék megnöveli a szennyvíz- és csatornarendszer terhelését, amely akár túlfolyásokhoz, szélsőséges esetekben szennyezések kialakulásához, haváriához vezethet;
- A növekvő hőmérséklet a vízfogyasztás és vízhasználat (lakossági, mezőgazdasági, ipari) növekedéséhez vezethet. Ez különösen a hosszabb, csapadékmentes időszakokban jellemző, amely hozzájárul a felszín alatti vizek terheléséhez, ezért bizonyos esetekben korlátozni kell majd a vízhasználatot;
- Az éghajlatváltozás (a hőmérséklet emelkedése) kedvezőtlenül hat a szolgáltatott ivóvíz minőségére. Elsősorban a felszíni vízbeszerzésnél kell számolni nehézségekkel, mind a vízkezelés, mind a tárolás és a szállítás vonatkozásában;
- Az éghajlatváltozást kísérő intenzív csapadék veszélyeket hordoz a karsztra alapozott vízellátás esetén, ezért fokozott figyelmet, jelentős beruházást és képzést igényel a biztonságos vízellátás érdekében. Ezek együttesen a szolgáltatás költségeire és díjára növelő hatással fognak hatni.

Mezőgazdaság:

- A szélsőségesebbé váló időjárás közvetlen hatásaival fokozott kockázatot jelent a növénytermesztésre, a talajállapotra és az állattenyésztésre. Növeli azok sérülékenységet és csökkenti produktivitását.

Növénytermesztés:

- Az időjárási szélsőségek (árvizek, belvizek, viharok, jégesők, korai és késői fagyok, az egyre gyakoribbá váló hőségnapok, aszályos periódusok) gyakoriságának megváltozására rendkívül érzékeny és sérülékeny a

mezőgazdaság, mind a növényekre, mind a talajállapotról gyakorolt közvetlen hatásokon keresztül;

- A kiegyenlítetlen évszakváltozások miatt időről-időre az élővilág biológiai egyensúlya is felborul, amely kihat a mikroorganizmusoktól kezdve a kártevőkön át szinte valamennyi élő szervezetre;
- A deficit vízhiány a legjobb agro-ökológiai körzeteinket is érinti (Mezőföld, Dunamenti síkság, Hajdúság, Bácskai hátság, stb.);
- A szélsőségek mellett a könnyen terjedő, inváziós fajok (kártévők, kórokozók, gyomok) előretörése várható, újabb fajok jelenhetnek meg, és a már jelenlévő fajok terjedése is valószínűsíthető.

Állattenyésztés:

- Az intenzív tartású sertés-, szarvasmarha- és baromfifajták fokozottan érzékenyek, és az egyes sokkhatásokra azonnali teljesítmény-csökkenéssel reagálnak;
- Nő az állatok víz- és árnyékigénye, amelyről külön is gondoskodni kell;
- Az extenzív vagy természetesen állattartásra a klímaváltozás oly módon is hatással lesz, hogy a természetes gyepek összetétele megváltozhat a szárazságtűrő fajok javára, tápanyagtartalmuk ugyanakkor eltérhet a korábbi legelőktől.

Erdő, zöldfelület:

- Az erdők vegetációs időszaka kitolódik, de mivel az aszályos időszakok gyakorisága és időtartama az előrejelzések szerint szintén megnövekszik, ez a fanövekedés csökkenését fogja előidézni;
- A nyolcvanas-kilencvenes évek tömeges mortalitásánál is súlyosabb helyzet alakul majd ki;
- A tavaszi fakadás időpontja akár 40 nappal korábbra kerülhet, ami – egyebek mellett – a fák betegségeinek erőteljességére és terjedésére ma még előre nem látható hatással lesz;
- A klímaváltozás a hazánkban előforduló zonális erdőövek mindegyikét negatívan fogja érinteni;
- Gyakoribb és nagyobb területen fellépő rovarkárra kell számítani. Új, kevésbé ismert, vagy „elfeledett” rovarfajok válhatnak jelentőssé;

- A fanövekedés csökkenésén keresztül a szénlekötés mértékének csökkenése várható;
- Nehezebb lesz az erdők felújulása és új erdők telepítése;
- Az erdőssztyepp-klíma az ország területének további, összesen majdnem 30%-ára terjedne ki, ezzel becsülhető területe több mint másfélszeresére növekedne;
- Megnő a vegetációtüzek kockázata, nő a tüzek pusztító ereje.

A természetes élővilág (fajok, élőhelyek, ökológiai rendszerek):

Magyarország természetes élővilágában a klímaváltozás hatására az alábbi fontos változások várhatók:

- A zonális vegetáció határainak eltolódása;
- A természetes élővilág fajainak visszaszorulása, különösen az elszigetelt élőhelyeken;
- Hosszútávon az inváziós fajok tömegessé válásával a biodiverzitás csökkenése (amely irreverzibilis folyamat);
- A kártevő rovargradációk mértékének növekedése; a vegetáció produkciójának csökkenése;
- A társulások és táplálékhálózatok átrendeződése;
- Az ökoszisztéma-funkciók károsodása;
- Az ökoszisztéma-szolgáltatások csökkenése, amely a szén- és anyagforgalom volumenének csökkenéséhez vezet;
- Az élőhelyek általános szárazodása, a homokterületek elsivatagosodása;
- A talajok kiszáradásával a talaj-biológiai folyamatok sérülése;
- A tüzesetek számának növekedése.

Emberi egészség:

Az éghajlatváltozással összefüggő egészségügyi hatások eltérően érintik a lakosság egyes csoportjait. A lakosság egészségi állapotát fentiekén kívül döntő módon meghatározzák a különböző szociális, gazdasági, környezetvédelmi és egyéni körülmények, feltételek és az egészségügyi intézményrendszer állapota.

- Az emelkedő hőmérséklet, melegrekordok, gyorsan bekövetkező és intenzív frontátvonulások miatt bekövetkező halálozások, rosszulletek nőni fognak. (2025-re országos szinten 800-2600 többlethalálozás), illetve a sürgősségi mentőhívások számának növekedése (1500-4800);

- A szélsőséges időjárási események kedvezőtlenül érintik a lakosság egészségügyi állapotát.
- A kórokozók elterjedésének megváltozása, a vízhez és élelmiszerhez köthető megbetegedések, az allergiás megbetegedések fokozódása;
- A növekvő hőmérséklet negatívan befolyásolja a városi levegő minőségét;
- Az időszakosan megnövekvő UV-B sugárzás, amely felhőzetcsökkenés esetén sugárzástöbbletet okoz;
- A városi lakosság fokozottan kitett a terheléseknek;
- Az intenzív fronthatások fokozhatják a balesetveszélyt, és munkateljesítmény-csökkenést okozhatnak.

Épített környezet:

- Az intenzívebb csapadék (özönvízszerű eső) miatt a vízvezetés szerepe felértékelődik települési léptékben és az épületek körül egyaránt (vízelvezető árkok, ereszcsonna, tetőösszefolyó stb.).
- A lejtős területeken a földcsuszamlás veszélyének gyakorisága nő, amely az épületek telepítésére gyakorol hatásokat, illetve a jégesőké, amely a tetőfedés, tetőablak, napkollektor kialakításában igényel további megfontolásokat.
- Agyagtalajok esetén a kiszáradás-telítődés ciklikusságából az épületalapokban és tartószerkezetekben károk keletkezhetnek.
- Az EU támogatási elvei miatt az ország regionális központjai, valamint az unióban szomszédos régiók központjai, mint gócpontok intenzív fejlődésnek indulnak. A gócpontok közötti közlekedési vonalak mentén vonalas struktúrában jelentős fejlődésnek indulnak a települések, míg a közlekedési vonalaktól távolabb lévő területek stagnálnak. Az elkövetkező időkben tehát a településszerkezet erős átalakulása várható.
- A kritikus infrastruktúra terén várhatóan nő a szélsőséges időjárási események folytán bekövetkező zavarok valószínűsége elsősorban a közúti és kötőtpályás közlekedés, az elektromosenergia-ellátás (távvezetékek sérülése), az ivóvíz-ellátás (vízbázis sérülése) és ezekkel összefüggésben a közellátás, valamint az info-kommunikáció terén. A jövő időszakban váratlan, eddig hazánkban nem ismert sérülések és működési zavarok is felléphetnek.

6.3.1 Hazai cél

Az EU egyoldalú kibocsátás-csökkentési vállalása esetén: 2020-ra 16-25%-os csökkentés hazánk 1990-es kibocsátási szintjéhez képest

Átfogó globális keretrendszer esetén: 2020-ra 27-34%-os csökkentés hazánk 1990-es kibocsátási szintjéhez képest.

Az üvegházgáz-kibocsátásokat négyféleképpen lehet csökkenteni. A költségek erőteljesen eltérnek attól függően, hogy a négy módszer milyen kombinációjáról van szó, és hogy melyik gazdasági ágban:

- A kibocsátás-intenzív termékek és szolgáltatások iránti kereslet csökkentése;
- Nagyobb hatékonyság, ami pénz- és kibocsátás megtakarítást eredményezhet;
- A nem-energia kibocsátásokra vonatkozó intézkedések, mint például az erdőirtás elkerülése;
- Az energia, a hő és a közlekedés területén az alacsony széntartalmú technológiákra való áttérés.

6.3.2 Az energiaszektor átalakítása

- Működő erőművek korszerűsítése és az előregedett kapacitások pótlása;
- A növekvő igények kielégítése céljából újabb, jobb hatásfokú kapacitások belépése;
- Az energia-felhasználás „intelligensebbé tétele“, amely a viselkedési szokások, az értékrend változása, valamint átgondolt irányítás és vezérléstechnika alkalmazásával hoz kibocsátás-csökkentést;
- A megújuló energiahordozók használatának fokozott előmozdítása;
- A villamosenergia-termelés területén elsősorban új, jó hatásfokú biomassza tüzelésű erőművek, ill. a rendszerstabilitás határáig szélerőművek létesítése;
- Nukleáris alapú villamosenergia-termelés bővítése 2025 után (azóta kérdéses);
- A villamos-energia elosztási hatásfokának javítása;
- Az energiahatékonyság növelése a lakossági és közsférában, mely egyben hozzájárul az energia-felhasználás csökkentéséhez és költségtakarékossággal is jár;
- Hatásfok növelése a villamosenergia-termelésben;
- Tüzelőanyag-szerkezet váltás a kedvezőbb kibocsátási tulajdonságúak irányába;

- Az energiatermelői rendszerek diverzifikációja és a megújuló energiaforrások arányának növelése;
- Biomassza alapú kapcsolt hőtermelés;
- Energetikai célú biomassza termelés a mezőgazdasági művelésből kivonandó területeken;
- Megfelelő tisztítású és földgáz minőségű biogáz földgázhálózatba való betáplálása;
- Második generációs (cellulóz alapú) bioetanol gyártás;
- A korlátozható vagy kikapcsolható szélerőművek telepítésének bevezetése;
- Új erőművi együttműködések elősegítése (gázmotorok szabályozása, „smart grid” típusú alkalmazások);
- Tározási megoldások keresése (együttműködés szomszédos országokkal SZET létrehozásában, hidrogén, stb.);
- Napelemek alkalmazása a lakossági és közületi épületek energiaszükségleteinek kiegészítő forrásaként;
- Napkollektorok, Stirling-motorok alkalmazása;
- Geotermia és hőszivattyúk;
- Direkt geotermikus hőhasznosítás, vagy hőszivattyúk alkalmazása;
- Szénmegkötés, szén-dioxid leválasztás és földalatti elhelyezés;
- Hatásfoknövelés, kapcsolt energiatermelés révén;
- A szén felhasználása az erőművi hatásfok növelésével, jó minőségű szenek felhasználásával, különböző CO₂ leválasztási és tárolási technológiák alkalmazásával, valamint biomasszával történő együttégetéssel.

6.3.3 Ipar

- Eltolódás a kevésbé energia-intenzív termelés felé;
- Az energia-intenzív iparágak telepítésének elkerülése;
- ÜHG (üvegház-hatású gáz) kibocsátást elkerülő technológiák alkalmazása, meglévők cseréje;
- Energiatermelés hatásfokának növelése;
- Energiafelhasználás hatékonyságának növelése;
- A fő technológia energiafelhasználásának mérséklése;

- A fő technológiát kiszolgáló segédrendszerek energiafelhasználásának racionalizálása;
- A létesítmény-fenntartás, úgymint fűtés, hűtés, melegvíz-ellátás, a személyzet kiszolgálása, világítás korszerűsítése;
- Újrahasznosítás;
- Termékek helyettesítése kisebb ÜHG kibocsátású termékekkel;
- Ipari auditok, energetikai felülvizsgálatok végrehajtása, ill. ilyen vizsgálatok ösztönzése;
- Szakember, energetikus alkalmazása.

6.3.4 Mezőgazdaság

- Bioüzemanyagok minél szélesebb körű bevezetése és használata a mezőgazdaságban;
- Biogáz program a szerves hulladékok, a trágya, a melléktermékek hasznosítására;
- A szállítások átgondolása, az anyagmozgatás energiatakarékos végrehajtása;
- A szántóföldi növénytermesztésben a természetkímélő gazdálkodás, a termőhelyi adottságokhoz és a növényfaj, illetve fajta igényeihez igazodó technológia; a helyi viszonyokhoz alkalmazott fajták megválasztása az üvegházgázok kibocsátás-csökkentését is támogatja;
- Természetkímélő tájgazdálkodás, a természetkímélő gazdálkodási módok, a termőhelyi adottságokhoz és a növény igényeihez igazodó technológia, a helyi viszonyokhoz alkalmazkodott fajták széleskörű alkalmazásának támogatása;
- Precíziós technológiák kialakítása növényvédelmi és műtrágyázási szempontból;
- A precíziós technológiák elterjedésének ösztönzése szakpropagandával és képzéssel;
- A talajművelés vonatkozásában a víztakarékos technológiák, a növények igényeihez igazított művelési módok kialakítása;
- Géprendszerek korszerűsítésének elősegítése állami pályázati rendszer keretében;
- Támogatási rendszerek átalakítása a természetkímélő tájgazdálkodás alkalmazására;
- Kormányzati intézkedésként bioenergia stratégia kidolgozása;

- Állattenyésztéssel összefüggésben keletkező melléktermékek újrahasznosítása zárt technológiai rendszerben, intenzív állattartó telepek biogáz üzemekkel való összekapcsolása.

6.3.5 Erdőgazdaság

- Erdőtelepítés szükség szerinti differenciált ösztönzése;
- Erdőtelepítések támogatása szakmai tanácsadás biztosításával;
- Szemléletformálás elősegítése az erdők társadalmi és gazdasági támogatottságának növelése érdekében;
- Széles körű szakmai konszenzus kialakítása az erdőknek a klímaváltozás mérséklésében betöltött szerepéről;
- Művelési ág szerinti differenciált támogatás az erdőtelepítésekre: magasabb támogatás a szántók, alacsonyabb támogatás a mezőgazdaságból kivont legelők beerdősítésére;
- Olyan fa-alapú termékek előállításának támogatása, amely hosszútávon szénket köt le;
- Kutatások támogatása pályázati rendszerrel: elsősorban a megfelelő fafaj kiválasztása érdekében, amely kutatás éppen a változó éghajlat miatt jelentkező kockázatok miatt válik jelentőssé;
- Nagyobb arányú erdőtelepítés esetén a szaporítóanyag-termelés hatékonyabb megszervezése (mikor, mennyi szaporítóanyag és milyen módon kerüljön megtermelésre);
- Az erdészeti tervezés időtartamát, annak hosszú távú jellegét, valamint az elkerülhetetlen éghajlatváltozást figyelembe kell venni minden döntés során;
- Változatos fafaj összetételű állományokat, folyamatos erdőborítást és ezzel a talaj fedettségét biztosító erdőgazdálkodási módszerek bevezetése, amelyek egyben az erdőklíma megőrzésével az erdő éghajlatváltozással szembeni ellenállását is növelik és biztosítják a biológiai sokféleség megőrzését, a fák élettartamának növekedését;
- A szénmegkötés fokozása, új erdők telepítésével (2025-ig várhatóan 270-360 ezer hektárral növekszik a magyar erdők összterülete; őshonos fák telepítése esetén 25-33 millió tonna, gyorsan növő fafajok (akác, nyár, fenyők) ültetésével pedig 47-58 millió tonna szén-dioxid megkötés érhető el);

- Az egyes erdőkben fellépő kibocsátások csökkentése (pl. a talaj kibocsátásának csökkentése a fakivágások során alkalmazható talajbarát eljárásokkal);
- Erdőnek nem minősülő energiaültetvények, valamint a szennyvizek tisztítása, elhelyezése, hasznosítása és nem utolsósorban a vizek helyben tartása céljából telepített faültetvények.

6.3.6 Hulladékgazdálkodás, szennyvízkezelés

- A képződő gázok befogása és másodlagos energiahordozóként történő felhasználása;
- A szennyvízkezelés során képződő metán hasznosítása;
- A szennyvíz, mint növényi öntöző- és tápanyagforrás hasznosítása;
- Szennyvíz alkalmazása energetikai célú faültetvényekben.

6.3.7 Lakossági szektor és közszféra

- Az épületek hőtechnikai jellemzőinek javítása nyílászárók felújításával vagy cseréjével, épülethatároló felületek hőszigetelésével;
- Az épületszabványok szigorítása;
- Utólag kialakítható passzív szolár építészeti megoldások alkalmazása;
- Épületek gépészeti berendezéseinek korszerűsítése;
- Fogyasztói rendszerek szabályozhatóvá tétele;
- Alternatív lehetőségek használata (napkollektor, napelem);
- Az üresjárat, készenléti („stand-by”) energiafogyasztás csökkentése;
- A meglévő háztartási gépek energiahatékonyabb berendezésekre történő cseréje;
- A világítás energiatakarékos megoldása, világításkorszerűsítés;
- Alacsony energiaigényű építkezési módszerek;
- Épületek „energiabizonyítványainak” bevezetése;
- Új építkezéseknél a környezeti szempontok figyelembe vétele;
- A fogyasztókat az alacsonyabb fogyasztású készülékek vásárlására ösztönző politikák (címkézés) alkalmazása.

6.3.8 A közlekedési ÜHG kibocsátások növekvő tendenciájának megállítása

- Közlekedési igény mérséklése, optimalizálása;
- Motorizált részarány csökkentése;

- Közlekedés-szerkezet eltolása a kis energiaigényű módok felé (vagy a jelenlegi megtartása);
- Térbeli struktúra javítása;
- Időbeli kiegyenlítés;
- Modális integráció;
- Szennyezés csökkentése;
- Társadalmi beágyazódás.

A közlekedési-szállítási igények optimalizálása, mérséklése a településfejlesztés, az informatika, a logisztika, az ipar és kereskedelempolitika, valamint a gazdasági szabályozás eszközeivel:

- Környezeti szempontú városrendezés, térségfejlesztés (vegyes funkciójú városnegyedek kialakítása, város- és térségfejlesztés integrációja);
- Korszerű informatikai, elektronikus eszközök alkalmazása a városi közlekedés folyamatosságának biztosítására;
- Városi útdíjak bevezetése.

A nem motorizált (kerékpáros, gyalogos) közlekedés bővítése:

- Infrastruktúra fejlesztése (kerékpárutak, parkolók, biciklitárolók, városi kerékpárkölcsonzés);
- A tömegközlekedési eszközökön a kerékpár-szállítás lehetőségének bővítése.

A tömegközlekedés személyközlekedésen belüli részaránya jelenlegi szintjének megőrzése, eszközállományának, infrastruktúrájának, szolgáltatási színvonalának fejlesztése:

- A tömegközlekedés járműállományának folyamatos korszerűsítése;
- A városi és agglomerációs tömegközlekedés teljes integrációjának kialakítása (közlekedési szövetségek); a településfejlődés követése az útvonalhálózattal;
- A szolgáltatás színvonalának javítása (üzemeltetési színvonal, járatsűrűség, pontosság, utasok kényelme, biztonság).

A környezetbarát közlekedési-szállítási módok (vasút, belvízi hajózás, kombinált áruszállítás) közlekedésen/szállításon belüli részarányának növelése, versenyképességének javítása:

- A környezetbarát közlekedési módok eszközállományának, infrastruktúrájának fejlesztése;

- Valós árak, a közlekedés externáliáinak internalizálása (használat-arányos útdíj, a szennyező fizet elvének érvényesítése);
- A magas fajlagos kibocsátással járó közlekedési módok támogatásának, állami pénzből történő finanszírozásának felülvizsgálata.

A járműállomány átlagos emissziós állapotának javítása a jogi szabályozás továbbfejlesztésével:

- Az újonnan forgalomba helyezett közúti, vasúti, vízi és légi járművekre vonatkozó szigorú műszaki előírások alkalmazása (energiahatékonyság javítása);
- Az alacsony szén-dioxid kibocsátású járművek beszerzésének és üzemeltetésének támogatása (adókedvezmény).

Az üzemanyagok megválasztása, alternatív, megújuló üzemanyagok használatának elterjesztése:

- Környezeti szempontból hatékony bioüzemanyagok használatának támogatása (jogi szabályozás, adókedvezmény);
- Alacsony kibocsátást eredményező motorral működő gépkocsik (elektromos, hibrid, sűrített földgáz, hidrogén, üzemanyagcella stb.) használatának támogatása (jogi szabályozás, adókedvezmény).

Megfelelő közlekedési infrastruktúra hálózat kialakítása:

- elkerülő utak, megfelelő minőségű közúthálózat, vasúthálózat (az elkerülő utak sokszor környezeti szempontból csak rontanak a helyzeten. Még több út, több útfenntartás, több kilométer, stb.)

Tudatformálás, szemléletváltás:

- az egyéni közlekedés okozta környezeti problémák hatékony kommunikációja, a kerékpáros, gyalogos és közösségi közlekedés környezeti és egészségügyi előnyeinek megismertetése;
- a társadalom folyamatos tájékoztatása a közlekedés környezeti hatásairól, a csökkentési lehetőségekről.

6.4 Irodalomjegyzék

[6.1] Láng I., Csetei L., Jolánkai M. (szerk.): A globális klímaváltozás hazai hatások és válaszok, Akaprint Nyomda, 2005.

[6.2] A VAHAVA jelentés, Szaktudás Kiadó Ház, 2007.

[6.3] Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia, 2008-2025.

[6.4] Klímapolitika. Klímaváltozási forgatókönyvek a NÉS-hez, IOMSZ-ELTE, 2006

[6.5] Klímapolitika. Az üvegházhatású gázok kibocsátása csökkentésének energetikai vonatkozásai, 2007.

7 A klímaváltozás hatása a biztonságra

7.1 Klímaváltozás és biztonság

A klímaváltozás és a biztonság szoros kapcsolatban van, úgy elméleti, mint gyakorlati szempontból. A klímaváltozással összefüggésben két feladatcsoportot különböztethetünk meg. Az egyik az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése (mitigation), és a másik a klímaváltozás hatásaival szembeni védekezés, alkalmazkodás, káros hatások kezelése (adaptation).

A 2006. évi Stern-jelentés következtetése, hogy tisztán közgazdasági megfontolásból nagyobb a hatékonysága annak, ha a globális klímaváltozás mérséklésére költünk, semmint később a káros hatások kezelésére. Ennek a jelentésnek a prioritása a katasztrófavédelmi szakterület számára fordított. Egyrészt, a védelmi, biztonsági szakterületnek csekély a lehetősége, hatása a kibocsátás befolyásolására, másrészt, a megfogalmazásból a „később”-bel van probléma. Konszenzussal elfogadott, hogy a jelenlegi meteorológiai jelenségek, amelyek kétség kívül érzékelhetők, a negyven-ötven évvel ezelőtti kibocsátások következménye, amelyekre ma már nem lehetünk befolyással. Így tehát a védelmi szakterület számára a lakosság és a környezet biztonsága érdekében már most is aktuális a káros hatások elleni védekezés megszervezése és felkészülés a jövőbeni hatások eredményes kezelésére

Magyarország már közép- és különösen hosszútávú fejlesztéspolitikáját, az ezt meghatározó stratégiai célokat nagyban befolyásolják a biztonsággal, ezen belül a természeti és civilizációs veszélyekkel, és annak előszobájaként a tűz elleni védekezéssel és műszaki mentéssel összefüggő kihívások, problémák kezelése.

Ez a kérdéskör a társadalom és a döntéshozók figyelmének középpontjába került az elmúlt időben, és kilépett a szűk szakmai körök érdeklődéséből. Mindez azzal, hogy a biztonság jelentősen befolyásolja az ország társadalmi és gazdasági helyzetét, ma már kijelenthető, hogy államvezetési kérdés a biztonságos élet- és munkakörülmények fenntartása, a fenntartható biztonság. A fenntartható biztonság alapvetően funkcionális fenntarthatóságot jelent, ami katasztrófavédelmi szempontból elsősorban diszfunkció-kezelést jelent. [7.1-7.3]

7.2 A klímaváltozás okozta instabil helyzetek, kockázatok, kihívások számbavétele, jellegük meghatározása

A kérdést a biztonság oldaláról célszerű megközelíteni. A biztonság ma komplex fogalom és állapot, „a politikai, gazdasági, katonai, szociális, humanitárius, környezetvédelmi szférákra, valamint a katasztrófa elhárításra egyaránt kiterjed.” A biztonságot egyéni, társadalmi, regionális és állami szinten, továbbá a nemzetközi rendszer szintjén vizsgálhatjuk.

Az egyes szinteken a biztonság több dimenzióban is értelmezhető, bár a köznyelvi szóhasználat a biztonság fogalmához jobbra csak a katonai és a külpolitikai vonatkozásokat társítja. A II. világháború után a fogalom fokozatosan bővült, napjainkban már politikai, külpolitikai, gazdasági, katonai, társadalmi, humanitárius és környezetvédelmi biztonságról is beszélhetünk.

A hidegháború időszakában a biztonság jórészt a katonai biztonságra korlátozódott, míg napjainkra multidimenzionális (többjelentésű) fogalommá vált.

A biztonság abból a szempontból is komplex jelenség, hogy több szinten lehet értelmezni. Bár a politikai kapcsolatok főszereplője napjainkban még mindig az állam, egyre inkább teret nyernek az állam feletti (szupranacionális) és állam alatti (szubnacionális) szereplőket figyelembe vevő gondolatok.

Az állami szinten kezelt biztonságpolitika fő célja az állam fenntartása és védelme. Ez a túlélésre, működő gazdaságra, politikai függetlenségre és az ország jó politikai hírnevének megőrzésére egyaránt irányul. Ehhez a diplomácia, a gazdaság illetve a katonai erő eszköztárát alkalmazhatja.

A nemzetközi rendszer keretein belül értelmezett biztonságfogalom a nemzetközi intézmények szerepét kutatja. A nemzetközi intézmények kiterjedésük szerint lehetnek globálisak (NATO) vagy regionálisak (EBESZ), funkciójuk szerint pedig gazdaságiak, biztonságiak vagy katonaiak. A nemzetközi intézmények hatékony és eredményes működésének feltétele az, hogy a felek tiszteletben tartsák a nemzetközi jogot és tartózkodjanak a szabályok egyoldalú felrúgásától.

Történelmileg az egyén szintjén értelmezett biztonságot ismerték fel legkésőbb. Az egyén biztonságát az ENSZ Alapokmánya és az Emberi Jogok Egyetemes Nyilatkozata tartalmazza.

A társadalmi csoportok biztonságának feltétele egyrészt az, hogy az etnikai, vallási és kulturális közösségek zavartalanul fenntarthassák szervezeteiket, másrészt, hogy az egyének csoporthoz tartozását és az önazonosságához való jogot ne fenyegetse veszély. A fenyegetés megnyilvánulhat az elnyomó állam vagy az intoleráns többségi nemzet képében.

7.2.1 A biztonság elemei nemzeti dimenzióban (nemzeti biztonság)

Politikai biztonság

A politikai biztonság elsősorban egy adott ország szuverenitásának fokában fejeződik ki. Helyzetét egyfelől a külső befolyás megléte vagy hiánya, illetve a befolyás mértéke (korlátozás, önkorlátozás) jellemzi. Általában az adott ország belső stabilitásában, valamint konszolidált, a fenyegetést kizáró külkapcsolataiban, nemzetközi pozíciójában valósul meg.

Gazdasági biztonság

A gazdasági biztonság megítélésénél alapvetően a gazdasági függés (nyersanyagok, energiahordozók, hozzájuk való jutás, adósság, ipari vagy mezőgazdasági monokultúra, pénzügyi kiszolgáltatottság, cserearányok, piacok, árviszonyok, állami befolyás, stb.) mértékét kell vizsgálni. Azt is vizsgálni kell, hogy a gazdasági biztonság veszélyeztetettsége objektív (pl. nyersanyag vagy energiahordozók hiánya), vagy szubjektív (pl. más hatalmak szándékos nyomásgyakorlása, bojkott, embargó, szankciók) okok miatt áll fenn. A gazdasági biztonság további fontos eleme a szociális dimenzió. Az infláció, a munkanélküliség, a belső piaci egyensúly, a tulajdon biztonsága, a demográfiai helyzet, az állampolgárok egzisztenciális biztonsága, a technológiai szint, az infrastruktúra, a kommunikáció helyzete, stb. rossz esetben veszélyeztetik az adott politikai rendszer stabilitását, illetve kihatnak valamennyi biztonsági dimenzióra is.

A gazdasági biztonságban van olyan eleme is, amely közvetlenül összefügg a katonai szférával. Ilyen a hadigazdaság állapota, teljesítőképessége, átállási, illetve konverziós lehetőségei, valamint a fegyverkereskedelemben elfoglalt pozíció.

Környezetbiztonság

Ebbe a körbe szokás érteni a környezetvédeltséget, a környezeti ártalmak általános fokát, a katasztrófa-, vízrajzi-, meteorológiai-, közegészség- és járványügyi

helyzetet, illetve a védekező mechanizmusok, prevenciós rendszerek meglétét és állapotát.

Közbiztonság

A szélesen értelmezett közbiztonság egyik legfontosabb dimenziója a nemzetközi és szervezett bűnözés helyzete, egy országban való megjelenési lehetősége és az elhárító rendszerek működőképessége. Ide tartozik az ország veszélyeztetettsége a terrorcselekményekkel szemben, a felderítés, megelőzés, a terrorizmust esetlegesen kiváltó politikai magatartás helyzete is. Ehhez szorosan kapcsolódik a maffiajelenség, a korrupció, amely erősen érintheti a szociális és pénzügyi biztonságot is. Ide sorolható a határrendészet, határőrizet, az illegális migráció, az illegális munkaerő-, áru- és kábítószer-kereskedelem helyzete és lehetősége is csakúgy, mint a politikai tartalommal bíró szélsőséges mozgalmak, nemzeti, etnikai, vallási konfliktusok lehetősége, illetve kezelésének lehetőségei.

Katonai biztonság

A katonai biztonságról, illetve annak hiányáról akkor beszélünk, amikor fennáll (vagy úgy érezzük) a fegyveres erőszakkal való olyan, külső fenyegetettség (agresszió) lehetősége, amelynek elhárításában a katonai erő alkalmazása – még ha végső eszközként is – szerepet kap. Itt tehát az esetleges ellenség felismeréséről (hírszerzés), támadásáról való lemondásra késztetéséről (elhárítás), visszatartó erőkről (többek között a védelemre alkalmas hadsereg) és az egyes hiányok pótlását garantáló nemzetközi támogatás meglétéről és annak állapotáról van szó. Fontos megjegyezni, hogy a katonai biztonságot nem az erő alkalmazása, hanem a szükséges mértékű megléte szavatolja. Az alkalmazás már a biztonság hiányát fejezi ki.

7.2.2 A biztonság elemei nemzetközi dimenzióban (nemzetközi biztonság)

Globális biztonság

Amikor a globális biztonságról beszélünk, akkor az olyan kihívásokról van szó, mint a világméretű konfliktusok lehetősége, a nukleáris fegyverek és szennyező források, az éhségzónák megléte, jelentős embertömegeket megmozgató szélsőséges ideológiák agresszív aktivizálódása, és a nemzetközi terrorizmus, határokon átnyúló szervezett bűnözés, informatikai rendszerekkel kapcsolatos veszélyek (sebezhetőség, túlterhelés, vírusterjesztés, információlopás, dezinformáció, stb.) és egyebek.

Kontinentális biztonság

Kontinentális biztonságról akkor beszélünk, amikor az egyes földrajzi térségek biztonsági egységet képeznek. Ilyen értelemben beszélhetünk az európai térség, az amerikai kontinens, a Távol-Kelet, az euró-atlanti térség biztonságáról. Megnyilvánulásai a globális biztonságnál felsoroltak lehetnek.

Regionális biztonság

A regionális biztonság kérdéseiről akkor van szó, amikor veszélyek és kockázatok egy bizonyos (sajátos) földrajzi, gazdasági és etnikai közegben jelentkeznek. Ilyen a Közel-Kelet, a Balkán, a Kaukázus, az iszlám térség, stb. Itt az adott térség államaiban folyó rendszerváltozásokról, társadalmi-szociális ellentmondásokról, megoldatlan vallási, etnikai, kisebbségi, egymástól lényegesen eltérő életviteli problémákról beszélhetünk.

A klímaváltozás biztonságra gyakorolt hatását az alábbi területeken vizsgáljuk:

- A klímaváltozás hatásai a katonai biztonságra;
- A klímaváltozás hatásai a katasztrófavédelemre;
- A klímaváltozás hatása a környezetbiztonságra.

7.3 Hatás a katonai biztonságra

A katonai erő alkalmazásának kérdései a megváltozott klimatikus viszonyok között, az éghajlatváltozás és a katonai biztonság kapcsolata olyan területek, amelyek részletes kutatása még nem történt meg. A kérdés fontosságát már felismerték, hiszen többen, több helyen szóba hozták a vizsgálatok fontosságát.

7.3.1 Egyesült Államok

Az Egyesült Államok tekintélyes katonai szakértői a globális felmelegedésben komoly veszélyt látnak az Egyesült Államok biztonságára nézve. Az általuk írt egyik tanulmány „A nemzeti biztonság és az éghajlatváltozás fenyegetése” címet viseli, és azokkal a kockázatokkal foglalkozik, amelyek a felmelegedés hatása nyomán az Egyesült Államok biztonsági érdekeit érintik. [7.4, 7.5]

Az Egyesült Államok szárazföldi csapatai többszázezer katonával, technikai eszközök tízezreivel, katonai létesítmények százaival a világ számos pontján vannak jelen, Iraktól Afganisztánig. Ezek a számok egyúttal komoly környezeti terhelésre is utalnak, így nem véletlen a törekvés arra, hogy a szén-dioxid kibocsátást 2015-re 30 %-kal csökkentsék. Ennek érdekében nagyságrendekkel csökkentették egyes kiképző bázisok és gyakorlóterek méretét és berendezettségi fokát. Az eddigi technológiák helyett egyre inkább környezetbarát és újrahasznosítható anyagokat építenek be.

Tekintettel arra, hogy az utánszállító konvojok igen sebezhetőek, érdemes gondolkodni azok számának csökkentésén.² „Kevesebb üzemanyag, kisebb veszélyeztetettség” – mondják a szakértők, és olyan alternatív, megújuló energiaforrásokban gondolkodnak, mint a szél- és napenergia. Ehhez tudni kell, hogy a Kuvaitban, Irakban, Afganisztánban és Dzsibutiban működő katonai bázisok energiafelhasználásának több mint 85%-a a lakó- és munkasátrak, valamint a kommunikációs eszközök hűtésére megy el. Mivel ezek folyamatos hűtése létkérdés, így egyéb takarékosági megoldásokat kell találni. Az egyik módszer az, hogy szigetelik a sátrakat, amivel 45%-kal csökkenthető az energiaveszteség.

² Az adatok önmagukért beszélnek: 2009. január 31-ig 4237 amerikai katona halt meg Irakban. A legnagyobb gondot és a veszteségek jelentős százalékát az út mentén elhelyezett pokolgépek robbanása okozza, ami a konvojok sebezhetőségét mutatja. Az összes amerikai halott 43 %-a (1816 fő) ilyen helyzetben vesztette életét. <http://icasualties.org/Iraq/index.aspx> 2009. 01. 31.

Komoly kihívást jelent a járművek üzemanyag felhasználása is. A „könnyebb jármű – kisebb fogyasztás – alacsonyabb védelem” ellentmondását feloldhatják azok az új, összetett technológiai megoldások, amelyek egy könnyebb, de megfelelő védelmet biztosító páncélzat irányába mutatnak. Ugyancsak jelentős megtakarítás várható a hibrid meghajtású katonai járművek tömeges elterjedésével.

Mivel az Egyesült Államok összes energiafelhasználásának 1,5%-a a védelmi szférához köthető, nemzetgazdasági szinten is kimutatható az esetleges megtakarítás. Érthető tehát a Védelmi Minisztérium törekvése, hogy átalakítsák és csökkentsék az energiafelhasználást. Célkitűzésük szerint 2025-re a katonai energiafelhasználás 25%-át megújuló energiaforrások fogják fedezni. Katonai berkekben – annak ellenére, hogy évtizedek óta ismerik és használják a megújuló energiaforrásokat³ – az olajárrobbanás gyorsította fel a takarékosági programokat. Ha a nyersolaj hordója 10 dollárral emelkedik, az éves szinten 1,3 milliárd dollár kiadásnövekedést jelent a Védelmi Minisztériumnak.⁴

Az elkövetkezendő években az energiafelhasználást 10-20%-kal akarják csökkenteni, ami az éves költségeket tekintve – 11 milliárd dollár 2005-ben, 14 milliárd dollár 2008-ban – igen jelentős megtakarítást hozhat.⁵

7.3.2 Egyesült Királyság

Az Egyesült Királyság Éghajlatváltozási Programját 2006-ban fogadták el. Az ebben meghatározott elvek és célkitűzések mentén fogalmazta meg véleményét a hadsereg vezérkari főnöke, Jock Stirrup tábornok: *„Az éghajlatváltozás szokatlan és zavarba ejtő kihívás a katonai erőnek, a megszokott a katonai kihívásokhoz képest. A felmelegedés és a csapadékváltozás különösen nehéz helyzetet okoz az élelmiszer- és vízellátásban olyan területeken, mint Szudán és Afrika más részei. Ez destabilizálja ezeket a vidékeket, ami zavargásokhoz, végső soron a katonai erő alkalmazásához*

³ A Nellis Légibázison (Nevada) működik az Egyesült Államok legnagyobb napelem szerkezete, két évtizede biztosítja geotermikus hőerőmű egy kaliforniai légitámaszpont energiaellátását, míg Guantanamoon (Kuba) szélenergiaerőművek működnek.

⁴ A nyersolaj hordónkénti ára 2006-ban 66 dollár, 2007-ben 72 dollár, 2008 júniusában 147 dollár volt. Bernie Woodall: Military wants to lead U.S. into the green. <http://www.climateark.org/shared/reader/welcome.aspx?linkid=104551&keybold=climate%20change%20military> 2008. 08. 22.

⁵ Uo.

vezethet. Ezen túlmenően a hadseregnek mint szén-dioxid kibocsátónak is van feladata, hiszen az ország összes kibocsátásának 1%-áért a haderő a felelős. Fogyasztóként a védelmi szféra évente 32 milliárd dollár értékben használ fel elektromos energiát, ami ugyancsak csökkenthető megfelelő fejlesztésekkel, energiatakarékos megoldások bevezetésével, valamint a kiképzési módszerek és eszközök átgondolásával. Célunk az, hogy 2012-ig a védelmi szféra kibocsátását 30%-kal csökkentsük. [7.6]

A haderőnek arra is fel kell készülnie, hogy a megszokottnál melegebb környezetben hajtsa végre feladatait, ami a katonákra és az eszközökre egyaránt nagyobb terhet ró. Ugyanakkor az újrahasznosítható energia felhasználása katonai előnyökkel is járhat. Például a napenergia felhasználása csökkentheti az egyébként potenciális célpontnak számító utánszállító konvojok számát egy-egy misszióban.” [7.7]

7.3.3 Kanada

A globális felmelegedés hatására 2007 nyarán újra járhatóvá vált az Európa és Ázsia közötti legközvetlenebb hajózási útvonal, a legendás Északnyugati-átjáró. A műholdas mérések kezdete, közel 30 év óta az Atlanti- és a Csendes-óceánt összekötő Északnyugati-átjárót egész évben jég borította. Az Európai Űrügynökség műhold felvételeken alapuló adatai szerint a jégtakaró rohamosan zsugorodik, a nyári felmelegedés pedig annyira megolvasztotta a jeget, hogy az útvonal hajózhatónak nyilvánítható, ami egyben a globális felmelegedés komolyságát is jól példázza. Az útvonal megnyílása a környezeti kérdéseket megelőzve máris politikai viták tárgya lett. Kanada teljes jogot akar formálni az Északnyugati-átjáró azon területeire, ami áthalad az országon, ahol korlátozhatná is az átmenő forgalmat.

Az Északnyugati-átjáró megnyílása kapcsán több olyan katonai probléma is felmerült, amelyek gyors megoldásra várnak. Mind az Egyesült Államok, mind Kanada most döbönt rá arra, hogy a körzetben lévő haditengerészeti és légi támaszpontjai csak korlátozottan alkalmasak a katonai jelenlét demonstrálására.

7.3.4 Katonai kutatások

Elsősorban azokban az országokban folynak időjárással kapcsolatos katonai kutatások, amelyek – földrajzilag kiterjedt szerepvállalásuk miatt – már közvetlen tapasztalatokkal rendelkeznek a veszélyeztetésről, vagy katonai előnyt remélnek az éghajlat befolyásolásától.

Az Egyesült Államok hadserege már legalább harminc éve foglalkozik az időjárás befolyásolásával. Kutatóik esőkiváltó tesztekkel végeztek, de próbálkoztak villámlás létrehozásával, hurrikánkeltéssel és földerengések mesterséges kiváltásával is. A vietnami háború idején a hadsereg fegyverként használta az ezüst-jodidot. Szakértői nyilatkozatok alapján tudjuk, hogy folynak katonai jellegű kutatások olyan fegyverek létrehozására, amelyek lézerek és kémiai anyagok felhasználásával az ellenség feje fölött egyszerűen megsemmisítik az ózonréteget. 1994-ben az Egyesült Államok légierője nyilvánosságra hozta a „Spacecast 2020” nevet viselő tervét, melyben az időjárás feletti ellenőrzés megszerzését tűzik ki célul. [7.8]

Az amerikai haderő által támogatott HAARP (High-frequency Active Auroral Research Program) projekt keretében Alaszka távoli területein az eddig ismert legnagyobb rövidhullámú adót építették fel. A projekt nyilvánosság számára készített weboldalán a megroggyant ózonréteg helyreállításának és a szélviharok eltérítésének lehetőségét említik, mint alapvető kutatási célokat.

1976-ban a Kínai Népköztársaság vezetői hivatalos szemrehányást tettek a „szovjet testvéreknek”, hogy a határvidéken „kifacsarják” a felhőket, és a Kínában várva várt esők mind náluk érnek földet.⁶

Az, hogy az időjárás felhasználása katonai célokra nem utópia, bizonyítja az is, hogy már megalkották az ökológiai hadviselés fogalmát is: *olyan tudatos, katonai célú beavatkozás a természetes környezet – éghajlat, időjárás, légkör, földmozgás – állapotába, amellyel fizikai, gazdasági, pszichikai károkat okozunk a célcsoportnak, vagy a célterületen.*⁷

A Pekingben rendezett olimpia idején kaptak nyilvánosságot azok az adatok, amelyek azt bizonyítják, hogy Kína is képes és kész az időjárás befolyásolására. A kínaiak az oroszoktól merítették inspirációjukat, akik az ezredfordulós II. világháborús megemlékezésekre a kínai pártfőtitkárt is meghívták. Így ő is szemtanúja lehetett a katonai eső-oszlatás hatékonyságának. Ekkor határozta el az ázsiai kormány, hogy hatalmát kiterjeszti az időjárásra is. A cél elérése érdekében vásároltak az IBM-től egy 80 darabból álló Power5+ processzoros System p575 szerver clustert, mely 9,8 teraflop-

⁶ <http://eletmod.transindex.ro/?cikk=1798> 2008. 10. 18.

⁷ <http://www.globalresearch.ca/articles/CHO409F.html> 2008. 10. 17.

os számítási kapacitással bír. Ezzel a szuperszámítógéppel modellezték az események területét körülvevő 44 négyzetkilométernyi területet. Az időjárás-befolyásoló program grandiózus méreteire utal az is, hogy több mint 1 500 mérnök és katona dolgozott a programban, akik szükség esetén azonnal riaszthatták a 37.000 földműves bármelyikét a Pekinget övező területeken. A programban alkalmazott 30 repülőgép, több mint 7.000 légvédelmi gépágyú és közel 5.000 rakétakilövő juttatta a megfelelő kemikáliákat a felhőkbe, ezzel biztosítva, hogy a Pekingtől távol eső helyeken essen le a csapadék, és a város fölött ne indulhasson el a cseppképződés.⁸

7.3.5 Magyarország

Magyarországon a **nemzeti biztonsági stratégia** [7.9] több ponton is foglalkozik az éghajlatváltozás okozta fenyegetéssel és az arra adandó válaszokkal, de elsősorban környezetvédelmi szemüvegen keresztül vizsgálja a kérdést.

A **Nemzeti Katonai Stratégiában** megfogalmazódik, [7.10] hogy „Egyre nagyobb biztonsági kihívást jelent Magyarország számára is az energiához és a stratégiai nyersanyagokhoz történő akadálytalan hozzáférés biztosítása, a kábítószerek terjedése, a klímaváltozás, a világ egyes régióinak túlnépesedése, a politikai és a vallási szélsőségek terjedése. Az ezekkel kapcsolatos válságok kezelése katonai eszközöket is igényelhet.

A magyar haderő képességeivel hozzájárul a természeti és ipari katasztrófák elhárításához, a következmények felszámolásához, humanitárius vészhelyzetek kezeléséhez, otthonukat elhagyni kényszerültek evakuációjának támogatásához, a kitelepült személyek megsegítéséhez itthon és külföldön egyaránt. Bizonyos esetekben szükségessé válhat a válságkezelés polgári erőinek és tevékenységének támogatása.

A katonai képességek kialakítása, a feladatok végrehajtása során szerepet kell kapnia a környezettudatos gondolkodásnak és cselekvésnek, összhangban a hazai és a nemzetközi környezetvédelmi követelményrendszerrel. A Magyar Honvédség a meglévő képességeivel részt vesz az ökológiai károk megelőzésében, a bekövetkező környezeti ártalmak felszámolásában. Környezetvédelmi szempontból is új kihívást jelent a magyar haderő nemzetközi szerepvállalása. Az országhatárokon kívüli műveleti területeken

⁸ <http://www.agent.ai/main.php?folderID=165&articleID=2156&ctag=&iid=> 2008. 8. 17.

végrehajtott katonai tevékenység a helyi természeti értékek megőrzését, a lehető legkisebb ökológiai „lábnyom” hátrahagyását követeli meg.”⁹

A fenti gondolatok fényében érthető a hiányérzetünk, hiszen megítélésünk szerint az éghajlatváltozás okozta veszélyeztetés messze nem kapott kellő figyelmet ebben a dokumentumban. Különösen szembetűnő ez a következő dokumentumban lefektetett elvek fényében.

A **Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia** kiemelten ágazatközi és osztársadalmi keretrendszer, minden ágazatot és társadalmi csoportot érint. Ez az integráció elve alapján azt jelenti, hogy a környezet megóvása minden ágazati politika szerves részét alkotja. Ennek megfelelően az éghajlatváltozási stratégia szempontjait és iránymutatásait be kell építeni valamennyi hazai kormányzati stratégiába, tervbe és programba, amelyek tevékenységei az éghajlatváltozással – közvetlenül vagy közvetve – összefüggésben állnak. A honvédelemre, a honvédelmi ágazatra is vonatkoznak tehát a stratégia elemei, így szükségszerű azok figyelembe vétele. Ezen túl azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a Magyar Honvédség még ma is jelentős alakítója a környezetnek, egyrészt létszáma, objektumainak és technikai eszközeinek mennyisége és minősége, másrészt sajátos tevékenysége miatt.

7.3.6 A kibocsátás csökkentésének lehetőségei

A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia megfogalmazza, hogy az államnak elő kell segíteni, és ösztönözni kell az energiahatékonyság növelését és a megújuló energiaforrások terjedését, valamint alkalmazását, ezért növelni a megújuló energiaforrások felhasználását a fosszilis energiahordozók kiváltására. A Magyar Honvédség gyakorlatában ez azt jelenti, hogy energiatakarékos befektetésekkel kell csökkenteni az objektumok energia felhasználását. Ez lehet az épületek szigetelése, megújuló energiaforrások igénybevétele, energiatakarékos fogyasztók használata, a gépjárműpark fokozatos átalakítása.

⁹ Tájékoztató az Országgyűlés Honvédelmi és rendészeti bizottsága, valamint a Külügyi és határon túli magyarok bizottsága részére a Magyar Köztársaság Nemzeti Katonai Stratégiájáról. http://www.hm.gov.hu/files/9/10970/tajekoztato_mk_nks.pdf 2009. 02. 01.

7.3.7 A felmelegedés egészségkárosító veszélye a katonákra

A Svájci Meteorológiai és Klimatológiai Szövetségi Hivatal szerint 1880 óta Nyugat-Európában a hóhullámok időtartama a kétszeresére nőtt, a szokatlanul forró napok száma pedig a háromszorosára. Az elmúlt tizenkét évből (1995-2006) tizenegy a legmelegebb 12 év közé tartozik a globális felszínhőmérséklet műszeres megfigyelési feljegyzései (1850 óta) alapján. Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának becslése szerint az Európát 2003-ban sújtó hóhullám miatt a klímaváltozás költségei csak abban az évben 60 milliárd dollárba kerültek, azaz 10%-kal többre, mint az előző évben, és csak Franciaországban 15 ezer fő halálozási többletet okozott.¹⁰

Az új haderő-koncepció miatt, a NATO nemzetközi feladataiban, az ENSZ égisze alatt működő békefenntartó tevékenységben való jelentős szerepvállalással a katonák rendkívüli fizikai és pszichés igénybevételnek vannak kitéve. Extrém körülmények között, szélsőséges klimatikus viszonyoknál – forró száraz éghajlaton, a Ráktérítő menti övezetben szolgálatot teljesítők szervezetében – a fokozott terhelés hatására felborul a metabolikus, víz-elektrolit és sav-bázis háztartás, csökken a koncentrációs képesség és megnő a kardiovaszkuláris események kockázata. Ezen kórélettani változások összessége veszélyezteti nem csak a harci feladat végrehajtásának eredményességét, hanem a katona egészségi állapotát, sőt súlyos esetekben akár az életét is.

A katonai erő érintettsége a globális felmelegedés vonatkozásában egyértelműen kimutatható. Nem csak közvetlenül a magasabb külső hőmérséklet jelent nagyobb terhelést a katona számára, hanem a hatások összessége is:

- A katonai műveletek egy része (háborús és nem háborús) városokban („város-hősziget”), vagy beépített területen történik;
- A pollenek elterjedése és magas koncentrációja allergiás megbetegedésekhez vezethet, amelyek kezelésére olyan gyógyszereket használnak, melyek súlyosan károsítják a szervezet hőszabályzó mechanizmusát;
- Az egyre gyakoribb és súlyosabb természeti katasztrófák miatt a nagyszámú menekültet kimenekítő, támogató és humanitárius tevékenysége;

¹⁰ Városok és természeti katasztrófák. A világ helyzete 2007. Wordwatch Institute. Budapest. 2007, 164-165.

- Az adott területre nem jellemző fertőző betegségek elterjedése miatti fokozott veszélyeztetettség;
- A bőrdaganatok kialakulásának magasabb kockázata a hosszabb napsugár-expozíció miatt.

Az emberi szervezet optimális működéséhez nélkülözhetetlen a maghőmérséklet állandó szinten tartása, mely csak abban az esetben lehetséges, ha a hőtermelés és a hőfelvétel egyensúlyban van a hőleadással. Ezt a mechanizmust hőszabályozásnak nevezzük. A hipotalamuszban található termoreceptorok követik a maghőmérséklet változását, és ellenregulációs folyamatokat indítanak be. A szervezet hősugárással, kondukcióval, konvekcióval illetve párologtatással biztosítja a maghőmérséklet szinten tartását. Izommunka esetén a hőtermelés a nyugalmihoz képest többszörösére nő. Ha ehhez társul a környezet magas hőmérséklete (36 °C felett), és alacsony páratartalma (50 % alatti relatív páratartalom), akkor a hőleadás már csak párologtatás révén valósulhat meg. A párologtatással, a verejtékmirigyek aktiválásával, nem csak víz, de az elektrolitok is a bőrfelszínre kerülnek. A hőség okozta nagyfokú verejtékezés, megfelelő folyadék- és ion-pótlás hiányában, súlyos víz-elektrolit háztartás zavart okoz, mely kezdetben hő-stresszhez, alacsony vérnyomáshoz, synkopéhoz, fájdalmas izomgörcsökhöz, hő-kimerüléshez, illetve a legsúlyosabb esetben hőséguta (heat stroke) kialakulásához vezet. Ezen állapotok kialakulása az egyén korától, nemétől, fizikai állóképességétől és edzettségi szintjétől, az esetleg fennálló társbetegségektől, illetve bizonyos gyógyszerek szedésétől függ.

Megfelelő akklimatizálódással ezen kóros állapotok kialakulása nagymértékben csökkenthető, de igazán jelentős szerepe csak a megelőzésnek van. Folyamatosan magasabb hőmérsékletű területen végzett tartós fizikai aktivitás nehezebb hőleadással jár még jó adaptáció mellett is. Ez nem csak teljesítménycsökkenéshez vezet, hanem túlhevülés miatt a különböző súlyosságú hőártalom kialakulásához is. Ennek következményeként kialakulhat a központi idegrendszeri funkciózavarokkal együtt járó, életveszélyes hőséguta. A hőártalom legenyhébb formája is veszélyezteti a harci feladat elvégzésének az eredményességét.

A kérdés aktualitását az adja, hogy az elmúlt években megemelkedett azon személyek száma, akik eredetileg mérsékelt égövön születtek és éltek, de sivatagi éghajlati körülmények között teljesítenek szolgálatot. Ennek következtében a figyelmünk a meleg és forró éghajlaton való terhelhetőség fizioiógiája felé fordult, főleg

mióta a magyar katonaság is aktívan részt vesz az ENSZ békefenntartó tevékenységében, és a NATO katonai szolgálatában a Közel-Keleten.

Természetesen ez a probléma más haderőket is érint. Az amerikai hadseregben történt epidemiológiai felmérés alapján 1980-2002 között 5.246 hősérülés miatti hospitalizáció (30:100.000), és 37 halálos kimenetelű eset történt.¹¹

Nehéz megbecsülni a hőstressz hatását az egészségre illetve a csapatok teljesítményére. A hőstressz összhatása a harcászati feladat kimenetelére valószínűleg sokkal jelentősebb, mint ahogy azt becsüljük. Ennek több oka is lehet: a hősérülés bejelentése gyakran elmarad, a hadműveleti területen kumulálódnak a hosszabb hő expozíciók, és kombinálódnak egyéb stressz tényezőkkel, amelyek nehezen reprodukálhatók laboratóriumi körülmények között. A katonák hő expozícióból kifolyólag szembesülnek olyan problémákkal, amelyek a helyi lakosságnak nem jelentenek gondot, de a katonáknak bizonyos helyzetekben hátrányt jelent. A pótláshoz szükséges megfelelő mennyiségű folyadék hiánya, az akklimatizálódás hiánya, a kitűzött feladatok elvégzésével járó tartós túlterhelés, a megfelelő ideig tartó pihenési idő hiánya, mind-mind hozzájárulnak a hősérülés kialakulásához.¹²

Minél jobban és mélyebben ismerjük ezt a témát, annál többet és hatékonyabban tudunk segíteni a katonáknak abban, hogy könnyebben akklimatizálódjanak a sivatagi területek száraz melegéhez. A magyar katonákat jobban el tudjuk látni védő- és harci felszereléssel, ha megismerjük azon patofiziológiai elváltozásokat, melyek prognosztikus értékűek a hősérülés kialakulása szempontjából, valamint ha korlátozni tudjuk a katonák megterhelését a külső környezet hőmérséklete alapján.

7.3.8 Az alkalmazkodás feladatai

A Magyar Honvédség több oldalról is érintett az alkalmazkodás területén. Katonáink fokozott veszélyeztetésnek vannak kitéve egészségügyi szempontból, hiszen feladataik egy részét a terepen végzik, azaz a felmelegedés okozta veszélyek

¹¹ Carter, R., Chevront, S.N., Williams, J.O., Kolka, M.A., Stephenson, L.A., Sawka, M.N. and P.J. Amoroso.: Epidemiology of hospitalizations and deaths from heat illness in soldiers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2005, 37(8):1338-1344.

¹² James J. McCarthy et al., eds., *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the IPCC* (Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2001), pp. 3-4.

közvetlenül érintik őket. Igaz ez a hőmérsékletre, hiszen a kiképzés során katonáink egyébként is fokozott terhelésnek vannak kitéve. Igaz ez a közegészségügyi kérdésekre is, hiszen a terepen közvetlenül ki vannak téve ennek a veszélynek is.

Elengedhetetlen, hogy az oktatásban, a katonák kiképzése és felkészítése során nagyobb teret kapjon a szemléletformálás, annak tudatosítása, hogy az éghajlatváltozás valamennyiünk ügye. A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem jogutódján, a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen jelenleg is részei az oktatásnak az éghajlatváltozás okozta kihívások, de a téma messze nem kapja meg azt a figyelmet, amit megérdemel. Megítélésünk szerint nem csak azokon a szakokon és szakirányokon van helye a kérdés kutatásának, amelyeknek profiljában ez meghatározó (védelmi igazgatás), hanem minden olyan szakon és szakirányon, ahol a katonai erő alkalmazása és a biztonság meghatározó terület (katonai vezető, biztonság és védelempolitika). Az alap- és mesterképzésen kívül a doktori képzés az a terület, ahol igazán fontos lenne az éghajlatváltozással kapcsolatos kérdések kutatása. Az adatgyűjtés időszakában 342 kutatási téma volt meghirdetve a Hadtudományi és a Katonai Műszaki Doktori Iskolákban, de csak hat foglalkozott közvetlenül az éghajlatváltozás hatásaival.

A prognosztizált éghajlatváltozás hatásaként növekvő ár- és belvizekre, gyakoribbá váló aszályos időszakokra lehet számítani. Az elmúlt néhány év azt mutatja, hogy egyre inkább számolnunk kell a kisvízfolyások okozta árvízi veszélyeztetéssel is. Amikor az alkalmazkodásról beszélünk, nem kerülhetjük meg azt a tényt, hogy a Magyar Honvédség az egyik meghatározó közreműködője az árvédekezésnek.¹³ Az évszázados tapasztalatok alapján kijelenthetjük, hogy a katonai erő alkalmazása az árvédekezésben megkerülhetetlen. Az éghajlatváltozás kapcsán valószínűsített – és az utóbbi évek által igazolt – egyre intenzívebb csapadék miatt, a katonai erő alkalmazása is gyakoribb lesz.

Az eddig ismertetett gondolatokból több következtetés is adódik:

- A változások veszélyeztetik hazánk és környezetének stabilitását, tehát biztonsági szempontok is óhatatlanul felmerülnek.

¹³ A 2006-os árvédekezés során – március 30 és május 9 között – 10.695 katona vett részt a munkában. Volt olyan nap (április 21), hogy egyszerre 3.622 fő és 643 technikai eszköz dolgozott a töltések megerősítésén.

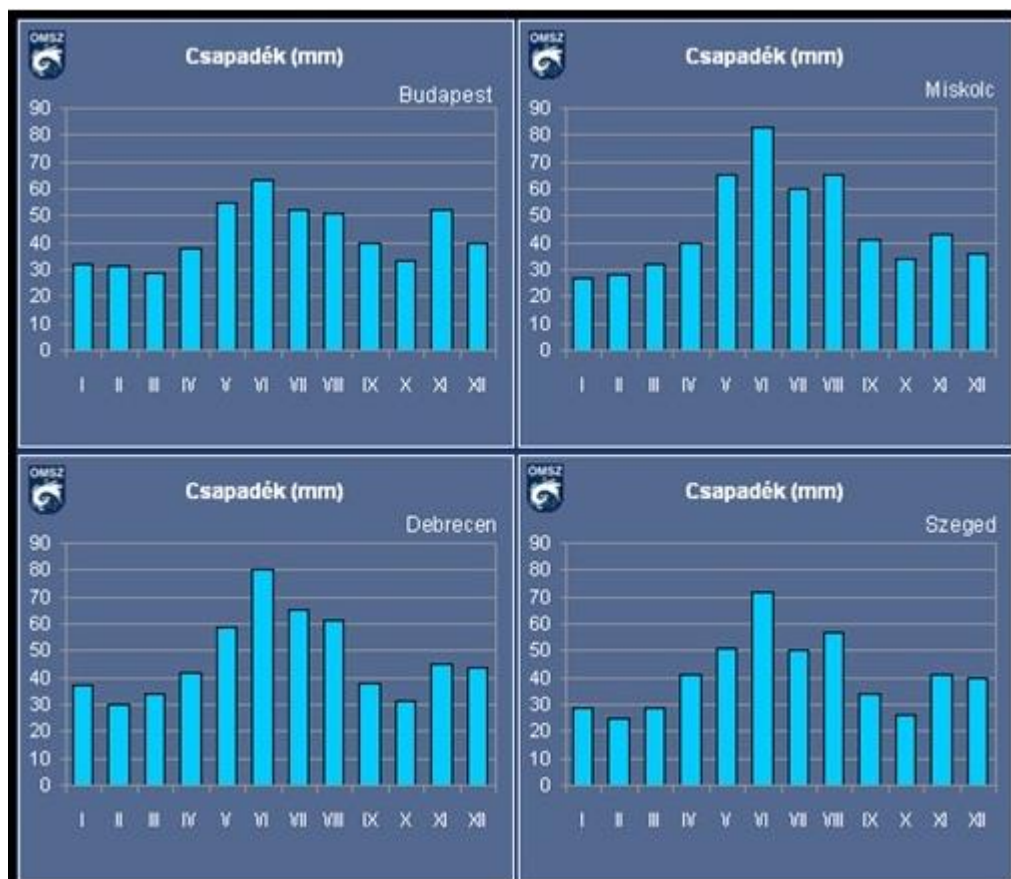
- A katonai erő – azzal együtt, hogy kibocsátóként okozója a változásoknak – ugyanúgy elszenvedi a következményeket, mind a társadalom más rétegei.
- Az expedíciós műveletek előtérbe kerülésével katonáink olyan klimatikus viszonyok közé is kerülhetnek, ahol fokozottan érvényesülnek az éghajlatváltozás következményei.
- A Magyar Honvédség különleges felkészültségű szakemberei és speciális technikai eszközei révén hatékony beavatkozásra képes az éghajlatváltozás okozta katasztrófa helyzetek megelőzésében és a következmények felszámolásában.
- Szükségessé vált azoknak a kutatásoknak a megkezdése, amelyek a honvédség lehetséges szerepvállalását vizsgálják az éghajlatváltozás okozta kihívások kezelésében.

A katonai erő alkalmazási körülményeinek kutatása mindig kiemelt feladata volt a hadtudományok művelőinek. Nincs ez másképp ma sem, függetlenül attól, hogy a változó környezetben sokszor szokatlan feladatokkal találkozunk katonáink. A hadtudományok és a katonai műszaki tudományok életképességét éppen az bizonyítja, hogy kész és képes minőségi válaszokat adni a kihívásokra, legyen az a terrorizmus elleni harc katonai feladatai, vagy az éghajlatváltozás okozta veszélyek. Az éghajlatváltozás biztonságra gyakorolt hatásának kutatása, a katonai erő alkalmazásának vizsgálata a megváltozott körülmények között új távlatokat nyit a hadtudományban is.

7.4 Rendkívüli időjárási helyzetek

7.4.1 Extrém csapadék, extrém mennyiségű eső

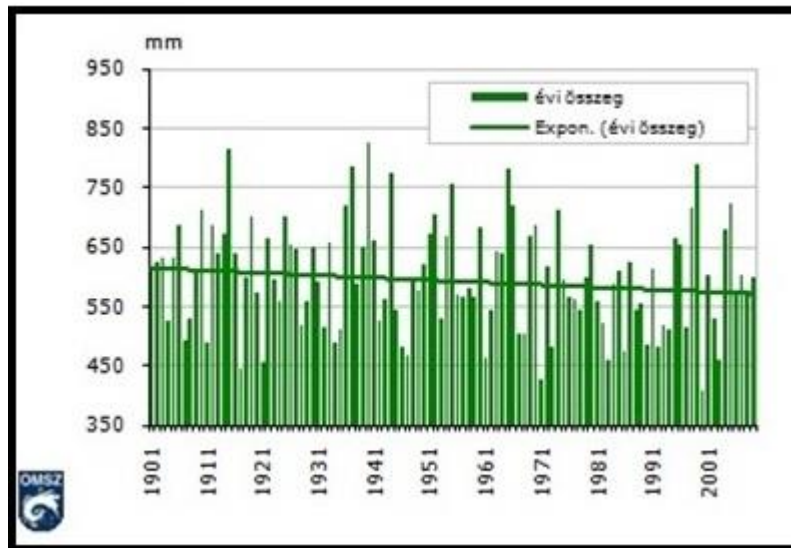
Magyarországon az évi átlagos csapadékmennyiség 600-650 mm között van, de a tájak között az éves csapadékmennyiségben jelentős eltérések vannak. A legcsapadékosabbak a délnyugat-dunántúli területek és a hegyvidékek, melyek csaknem kétszer annyi csapadékot kapnak, mint az Alföld közepe. A legtöbb csapadék májusban és júniusban hullik, a legkevesebb pedig januárban és februárban. Ezt az Országos Meteorológiai Szolgálat 1961-1990 közötti 4 mérőállomáson mért eredményei is alátámasztják, melyet a 7.1. ábra szemléltet. [7.11]



7.1. ábra: A csapadék havi eloszlása

Az évi átlagos csapadékmennyiség eloszlása tehát nem egyenletes, ráadásul mennyisége évről évre ingadozik. Az ingadozás következtében a legcsapadékosabb éveinkben akár háromszor annyi csapadék is esik, mint a legszárazabb éveink során. Ezen felül bármelyik hónapban előfordulhat teljes csapadékhiány. [7.12] Azonban a

szélsőségek ellenére az éves csapadékmennyiség csökkenő tendenciát mutat, melyet a 7.2. ábra bizonyít.



7.1. ábra: Az országos évi csapadékösszeg változása 1901-2009 [7.12]

Az extrém mennyiségű csapadék lehullhat hosszan tartó kiterjedt esőzések formájában, de hirtelen nagy mennyiségben lezúdulva is.

A hirtelen lezúduló nagymennyiségű csapadék leginkább a nyári zivatarok velejárója. [7.12] A magasra törő zivatarfelhők környezetében erős fel- és leáramlási területek váltakoznak kis távolságon belül, és emiatt általában kis területre korlátozódnak (helyi jellegű), de rendkívül veszélyes kísérőjelenségek kialakulására is számíthatunk. Heves zivatarok esetén előfordulhat nagyméretű jég (min. 2 cm átmérőjű) és erős vihar is (90 km/h fölötti szélökés). Azonban extrém esetben sokkal nagyobb méretű jégdarabok is hullhatnak, és orkán erejű szélroham (119 km/h fölötti) is kialakulhat. Az intenzív zivatarokhoz továbbá hirtelen lezúduló nagymennyiségű csapadék is társulhat, amely következtében a kis vízhozamú patakok pillanatok alatt hőmpölygő folyókká szélesedhetnek. A zivatarok a nyári időszakban gyakori tömegrendezvényeken tömegpánikot okozhatnak, amely következtében számos ember sérülhet meg, vagy veszítheti el életét. Mivel a zivatarok általában helyi jellegűek, így a jelenlegi rendszerrel szinte lehetetlen őket pontosan helyhez kötötten előre jelezni.

A zivatarok általában helyi jellegűek, azonban ha több heves zivatar összekapcsolódik, akkor zivatarlánc (zivatarrendszer) alakul ki és a veszélyes kísérőjelenségek nem csak egy-egy települést, hanem akár több megyét, régiókat is

érinthetnek. Ezen felül, ha tartós esőzés következik be, akkor a hegyvidékeken földcsuszamlás veszélyével is számolni kell. Ez történt 2010. április 14-én, amikor ugyanis a tartós esőzés következtében lezúduló víz elmosta a lillafüredi kisvasút pályájának egy részét és körülbelül 120 m³ föld került (sárlavina) a közeli papírgyár területére. Továbbá ugyanazon a napon 2 másik helyen is földcsuszamlás következett be. [7.13] A földcsuszamlás veszélye a domboldalba épült házakat is fenyegeti.

A 2010-es év az elmúlt 110 év legcsapadékosabb éve volt Magyarországon. A rendkívüli, nagymennyiségű csapadék következtében szinte az egész évben ár- és belvízkészültség volt az országban. [7.14] Az árvíz olyan mértékű volt, hogy a védekezés folyamán a Kormány veszélyhelyzetet hirdetett ki 10 megye (Borsod-Abaúj-Zemplén, Szabolcs-Szatmár-Bereg, Heves, Jász-Nagykun-Szolnok, Pest, Nógrád, valamint Bács-Kiskun, Békés, Csongrád és Fejér) területére. [7.15] Hatalmas károk keletkeztek a mezőgazdaságban, valamint a természetes és az épített környezetben. A 7.5. ábra a Sajó 2010. évi júniusi áradásának következményeit, munkálatait szemlélteti, melyen jól látható, hogy a víz mindent elöntött és a lakosság kitelepítése vált szükségessé.

A 2010. évi csapadékviszonyokban az 1971-2000-es normától az OMSZ március és október kivételével minden hónapban jóval átlag feletti értékeket regisztrált, melynek következtében az éves összeg is kiemelkedő lett (969 mm), megdöntve ezzel az 1940-es 824 mm-t. A legextrémebb hónap a május volt, amelyben a normál érték háromszorosa esett le. Ezt követte a szeptember (2,5-szeres) és a február (2-szeres), valamint a januári, júniusi, augusztusi és decemberi csapadékösszegek, melyek legalább 1,5-szer voltak nagyobbak az átlagos értéknél.

Az állomási csapadékösszegeket tekintve 2 helyen is rekord dőlt meg. Az eddigi legnagyobb éves csapadékot 1937-ben Kőszeg-Stájerházak állomásán regisztrálta az OMSZ (1510 mm-t). Azonban 2010-ben a Kékestetőn és a Miskolc Lillafüred-Jávorkút állomáson is több, 1517,5 illetve 1554,9 mm hullott. [7.14]

7.4.2 Árvíz

Magyarország éghajlatára 3 légáramlat igen nagy ráhatással van, melyek árvízvédelmi szempontból nem elhanyagolhatók:

- Atlanti-óceáni légáramlat;
- Kontinentális légáramlat (Kelet-Európából);

➤ Földközi-tengeri légáramlat.

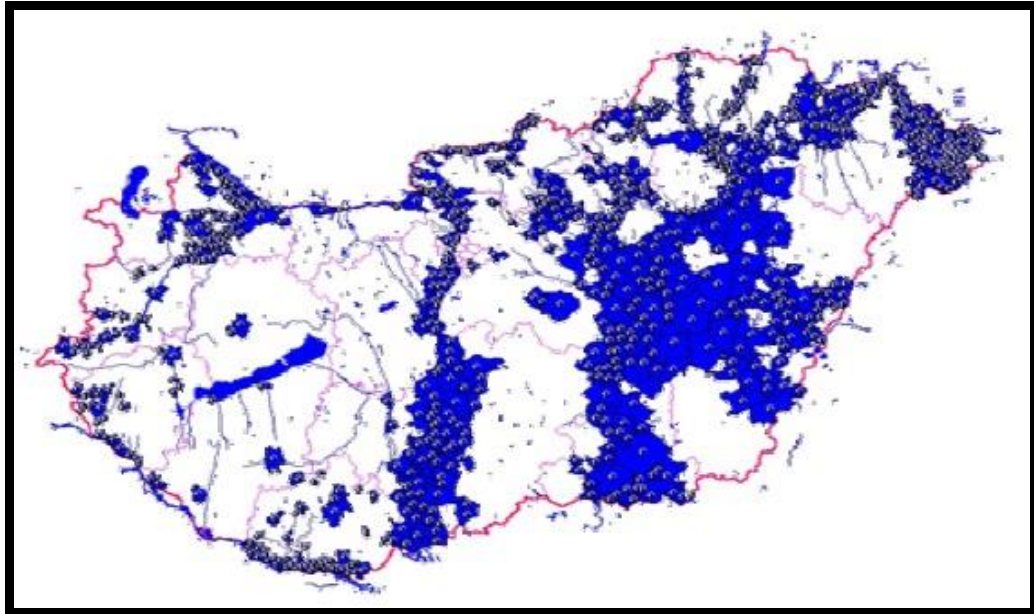
A kontinentális légáramlatok nyáron szárazságot és forróságot, télen pedig tartós hideget okozhatnak. Az atlanti-óceáni és a földközi-tengeri párás légáramlatok pedig mérsékelhetik a szélsőséges hőmérsékleti értékeket, ugyanakkor nagy mennyiségű csapadékot is hozhatnak. Ezek a légáramlatok az év bármely időszakában nagy intenzitású és kiterjedt esőzéseket okozhatnak. Ennek következtében bármely folyón és vízgyűjtő területén heves és tartós árvizekre, valamint belvízre lehet számítani. [7.16]

Az ország évi átlagos csapadékmennyiséghez árvízvédelmi szempontból hozzá kell számolni a Kárpát-medencét övező hegységek hóolvadása során jelentkező vízhozamot is. [7.17] A külföldről érkező folyók vízgyűjtő területére hulló csapadék figyelembe vétele azért lényeges, mert országunk a Kárpát-medence legmélyebb területén helyezkedik el, és határain 24 különböző folyó lép be, és csupán 3 távozik. Ez százalékban kifejezve annyit jelent, hogy országunk felszíni vizeinek mintegy 95%-a a határainkon túlról érkezik, és csupán négy olyan folyó van, amely teljes egészében országunk határain belül helyezkedik el. Ebből kifolyólag az országunkat sújtó természeti katasztrófák közül az árvíz a leggyakoribb, melynek zöme határainkon kívül keletkezik.

Magyarország infrastruktúrájának árvíz általi veszélyeztetettsége

Legnagyobb vízhozamú folyóink a Duna és a Tisza. Árvízvédelmi szempontból nagy jelentőséggel bírnak mellékfolyóik is. A Tisza vízjárása, mellékfolyóival együtt (a Körösök és a Maros) a Dunáénál sokkal szélsőségesebb.

A súlyos árvízvédelmi helyzetet tovább nehezíti az a tény, hogy országunk domborzati adottságaiból adódóan az ország 23%-a a folyóink árvízvédelmi szintjétől alacsonyabban fekszik. Ezek az árvíz által veszélyeztetett területek jelentős részben ráadásul az ország legsűrűbben lakott és legértékesebb területei. [7.16] Árterületen található az ország megművelhető területeinek mintegy egyharmad része, amely 1,8 millió hektárnyi területet jelent. Ezeken a területeken helyezkedik el a vasutak 32%-a, a közutak 15%-a és több, mint 200 ipari üzem. Ezen felül itt él több mint 800 településen 2,5 milliónyi lakos, és itt termelik meg a GDP 30%-át! Ez az árvízmentesítési probléma Európában egyedülálló. [7.11] Országunk árvízzel veszélyeztetett területeit a 7.3. ábra szemlélteti.



7.2. ábra: Magyarország árvízveszélyes területei [7.16]

Árvizek előfordulási gyakorisága

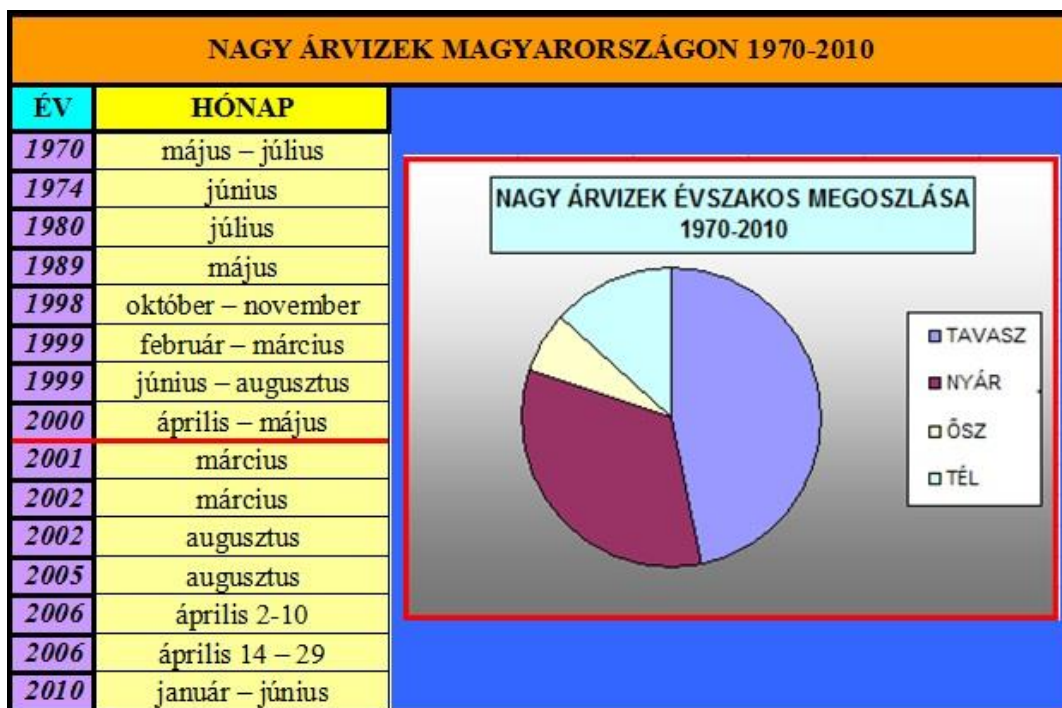
Országunkban 2-3 évenként kis vagy közepes, 5-6 évenként jelentős, 10-12 évenként pedig rendkívüli árvizek kialakulásával kell számolni. A nagy árhullámok a folyók felső szakaszán 5-10 napig, a középső és alsó szakaszon akár 50-120 napig is tartósak lehetnek. A mellékfolyók zöme gyorsfolyású, az ott kialakult nagyobb vízmennyiség a nagyobb folyókon 1-2 napon belül megjelenik, néhány órán belül méteres áradást okozva. [7.11]

Annak ellenére, hogy hazánk területén az év bármely időszakában kialakulhatnak heves és tartós árvizek, mégis megfigyelhető némi rendszeresség. Hazánkban két nagy árvízveszélyes időszak alakult ki:

- Jeges ár: a hóolvadás, a jégzajlás, és a jégtorlódás miatt;
- Zöld ár: a tavaszi vagy nyári esőzések miatt.

A Duna és a Dráva nagyvizei a hóolvadás miatt tavasszal, vagy nagymennyiségű csapadék esetén nyáron jelentkeznek. Statisztikai adatok alapján az elmúlt 100 év legnagyobb jégmentes árvizei nyáron fordultak elő.

A Tisza – melynek vízjárása a Dunáénál szélsőségesebb – nagyvizei márciusban és áprilisban várhatók. Azonban a zöldár júliusban vonul le, melynek vízhozama általában kisebb, mint a tavaszi árvízé.



7.4. ábra: Magyarország árvizeinek megoszlása 1970 és 2010 között

Mint ahogy már fentebb említettük, országunkban a legtöbb csapadék tavasz végén, nyár elején hullik le. A nyarakon rendkívüli esőzésekre is számíthatunk, melyek lehetnek tartós esőzések vagy hirtelen nagymennyiségben lezúduló csapadék is, amelynek fő oka az, hogy folyóink vízgyűjtő területén óceáni, kontinentális és mediterrán éghajlati hatás is egyaránt érvényesül. Ebből kifolyólag az év bármely időszakában kialakulhatnak árvizek, habár mivel a legtöbb csapadék nyáron hullik le, így az esőzések következtében kialakuló árvízi helyzettel leginkább a nyári időszakban kell számolni. Ezeknek az árvizeknek jellemzője, hogy általában helyi jellegűek és gyors lefolyásúak. Azonban előfordulhat, hogy rendkívüli áradásokat okoznak. [7.16] A 7.4. ábra mutatja Magyarország nagy árvizeinek évszakos megoszlását az 1970-2010-ig tartó időszakban.

Az ábrából kitűnik, hogy a legtöbb rendkívüli árvíz az 1970-2010 között tavasszal, majd azt követően a nyáron következett be. Továbbá az is megfigyelhető, hogy amíg az 1970-2000-ig tartó időszakban 8, addig 2001-2010-ig 7 alkalommal következtek be rendkívüli árvizek az országban. Ha nem vesszük figyelembe, hogy egy hónapon belül többször alakult ki rendkívüli árvíz, akkor az arány a 2001-2010-ig tartó időszakban nagyjából megegyezik a 41 éves arányokkal.

A rendkívüli árvizek gyakorisága 2000-től drasztikusan megnövekedett az 1970-2000-ig tartó időszakhoz képest, miközben az évszakos arány maradt. Ez arra enged következtetni, hogy ha csapadék hullott, akkor az hirtelen nagy mennyiségben lezúdulva, illetve kiterjedt tartós esőzések formájában hullott le.¹⁴ 1998-tól több árvízvédelmi csúcs is megdőlt, valamint az árhullámok tartóssága jelentősen megnövekedett, ami arra enged következtetni, hogy az egyébként is magas vízálláshoz újabb hirtelen lezúduló nagymennyiségű csapadék hullott, akár több alkalommal is, egymást követően, viszonylag rövid időn belül. Vagy tartós, kiterjedt esőzések következtek be.

Mivel a tavaszi árvizek a téli hóolvadásból és a tavaszi esőzésekből (2 évszak csapadéka) keletkeznek, a nyáriak pedig csak az esőzésekből, így levonható az a következtetés, hogy a nyári időszakban a nagycsapadékos jelenségek száma nő.

A VAHAVA projekt és a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia a nagyobb és közepes folyóinkon az árvízi szélsőségek megnövekedésével számol. Az előrejelzések szerint az árvízi kártételek 20%-os növekedése várható a XXI. században, amely már érezhető. Az előrejelzések szerint egyértelmű, hogy a hegy- és dombvidéki kisvízfolyásokon a nagycsapadékos események hatására a gyors levonulású heves árhullámok gyakorisága nőni fog. [7.18]

Árvizek pusztító hatásai

Az árvizeknek megkülönböztetjük az elsődleges és a másodlagos pusztító hatásait, melyek a következők:

- Árvizek elsődleges pusztító hatásai:
 - Gátszakadás után a kizúduló víz lökőhulláma házakat dönt össze;
 - Emberek és állatok fulladhatnak meg;
 - A magasabban fekvő területeket körülzárva elvágja az ott csoportosulókat a külvilágtól, a menekülési és megközelítési útvonalak járhatatlanná válnak;
 - Az infrastruktúra megrongálódik, az ipari és mezőgazdasági létesítmények termelése leáll.
- Árvizek másodlagos veszélyforrásai:

¹⁴ A csapadék csökkenése és a rendkívüli árvizek számának növekedése miatt.

- A tartós vízelöntésű területeken az épületek tovább romosodnak;
- Az elhullott állati tetemek bomlása következtében közvetlen járványveszély lép fel;
- Kutak, közművek elszennyeződése;
- Termelés kiesés, amely negatívan hat vissza az ország gazdasági helyzetére. [7.17]

Az árvizek pusztító hatásai veszélyt jelentenek az emberi egészségre, életre, a természetes környezetre és az infrastruktúra elemeire egyaránt. Ebből kifolyólag az árvizek kártételei elleni hatásos védekezés kormányzati szintű intézkedéseket is igényelhet (veszélyhelyzet kihirdetését), különösen az alábbi esetekben, melyet a Polgári védelmi törvény¹⁵ tartalmaz:

„g) árvízvédekezés során, ha az előrejelzések szerint az áradó víz az addig észlelt legmagasabb vízállást megközelíti és további jelentős áradás várható, vagy elháríthatatlan jégtorlasz keletkezett, illetőleg, ha töltésszakadás veszélye fenyeget”

„a) súlyos, több embernél halálos lefolyású tömeges megbetegedést előidéző kórokozó megjelenése, amely kórokozót ürítő embertől, kórokozót tartalmazó holttesttől, kórokozóval szennyezett élelmiszerből, vízből, talajból, tárgyról, anyagról, levegőből, állatból vagy állati tetemből származik”

A szükséges azonnali intézkedések megtételének fontosságát a 7.5. ábra képei jól szemléltetik, melyek a 2010 évi nagy árvízről, azon belül is a Sajó áradásáról készültek Felsőzsolcán, júniusban.

Árvízvédelmi tervezés

Országunkban az árvízvédelmi tervezés alapjául a mértékadó árvízszint szolgál, melynek alapja a 100 évente, a fontosabb folyószakaszokon pedig az 1000 évente egyszer előforduló legnagyobb árvíz. Több folyón, így a Tiszán és mellékfolyóin is a legnagyobb vízszintek folyamatosan emelkednek. Ennek a feltételezett okai a hullámtér feliszapolódása, a területfejlesztés hatása és az éghajlatváltozás. [7.16]

¹⁵ 1996. évi XXXVII. törvény a polgári védelemről 2 §. (2)



7.5. ábra: A Sajó áradása Felsőzsolcán 2010 június¹⁶ A képeket készítette: Stiller Ákos

7.4.3 Belvíz

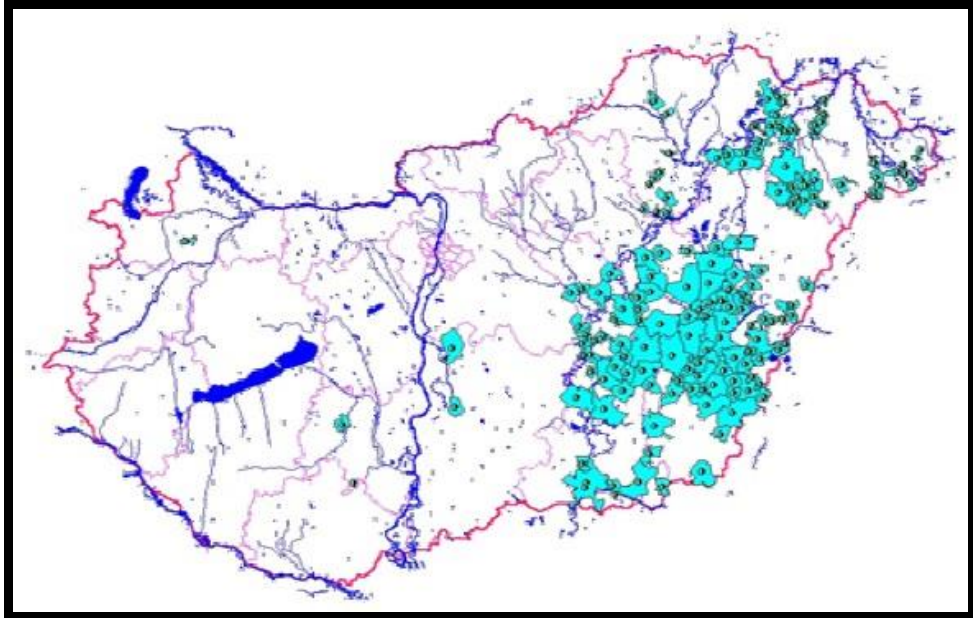
A belvíz „esővizből és hóléből, a felszínre emelkedő talajvizből és az árvízvédelmi töltések alatt átszivárgó vízből származó felszíni víz.” [7.16]

Magyarország belvíz veszélyeztetettsége

Magyarország megközelítőleg 3.200 települése közül 1.000 síkvidéki, 2.200 pedig dombvidéki területen helyezkedik el. Országunk természeti adottságaiból kifolyólag a vizek kártételeinek lehetősége szinte mindenhol jelen van, ugyanis a települések 40%-a erősen, 80%-a pedig valamilyen mértékben veszélyeztetve van a vizek kártételétől. A települések mindössze 20%-áról mondható el, hogy területükön vízkárral nagy valószínűséggel nem kell számolni. A belvizek gyakorisága annyira jellemző országunkra, hogy az elmúlt 57 évből mindössze 3 volt belvízmentes (1973, 1976, 1990).

¹⁶ Megindító felvételek az árvízi kitelepítésről:
http://hvg.hu/nagyitas/20100606_kitelepites_felsozsolca_nagyitas (Letöltve: 2011-03-21)

A belvív, amely a síkvidéki területeink sajátos jellemzője, megközelítőleg az ország 45%-át veszélyezteti valamilyen szinten. Magyarország belvízi veszélyeztetettségét a 7.6. ábra szemlélteti. [7.16]



7.6. ábra: Magyarország belvízi veszélyeztetettsége

A belvízi veszélyeztetettség alakító tényezők

Egy adott térség belvízi veszélyeztetettségét számos természeti- és emberi tényező határozza meg, melyeket a 7.1. táblázat foglal össze.

A BELVÍZI VESZÉLYEZTETETTSÉG FÜGGVÉNYEI	
TERMÉSZETI TÉNYEZŐK	EMBERI TEVÉKENYSÉGGEL KAPCSOLATOS TÉNYEZŐK
Időjárási elemek: Túl sok csapadék Gyors felmelegedés Párolgás csökkenése	Mezőgazdasági tevékenység: Talajművelési módok Erdészeti tevékenység
Talajtani tényezők: Talajfelszín benőttege Talajfagy Talajrétegződés Talajszemcse-összetétel	Műszaki beavatkozások: Folyók szabályozása Elvezető rendszerek állapota Öntözések hatása Folyócsatormázás
Domborzati tényezők: Felszín alatti vízáramlások Lefolyástalan területek Mély fekvésű területek nagysága	Egyéb tényezők: Területhasználat változása Mémóki tevékenység hiányosságai Beépítettség hatása

7.1. táblázat: A belvízi veszélyeztetettség függvényei [7.16]

A természeti és az emberi tényezők együttesen, különböző kombinációkban határozzák meg egy adott terület belvízi veszélyeztetettségét.

A belvízi veszélyeztetettségek közül legmeghatározóbb a területhasználat módja, amely külterületen a helytelen mező- és erdőgazdasági művelésben, belterületen pedig a mély fekvésű területek beépítésében mutatkozik meg, ugyanis országunk negyede olyan mély fekvésű sík terület, amelyről természetes úton nem folyik le a víz.

A mezőgazdasági területeken jelentkező felszíni elöntések a természetes vízfolyásokkal és a mesterséges csatornákkal, valamint a belvizes területek vízelvezető létesítményeinek elhanyagoltságával, és a talajvízszint emelkedésével vannak összefüggésben.

A belvízi elöntések kockázatát növeli az a tény, hogy rengeteg településen nem megfelelő a csatornahálózat kiépítése, vagy megléte esetén annak karbantartása. Országos vonatkozásban a belterületi vízelvezető művek fenntartása hiányos, 2/3 részük pedig felújításra szorul.

Ennek következtében, nagymennyiségű csapadék lehullása esetén – ha a víz elvezetésére szolgáló csatorna- vagy árokrendszer nem képes az összegyűlt vizet befogadni és elvezetni – a víz előnti a mélyebben fekvő területeket.

A magas talajvíz és egy, vagy sorozatos intenzív esőzés hatására a települések mélyebben fekvő részein elhúzódó belvízi elöntések alakulhatnak ki. Belvíz esetén a lakóházak falai feláznak, majd száradásuk folyamán instabillá válnak, felgyorsul az épületek amortizációja, végül pedig lakhatatlanná válnak.¹⁷

Bizonyos feltételek megléte esetén az intenzív esőzések a téli időszakban is előidézhetnek belvízhelyzetet. Ez történt Kelet-Magyarországon 2005-ben, amikor a nyári és őszi esőzések következtében a talaj annyira megtelítődött, hogy a 2006 januárjában hirtelen lehulló jelentős csapadékmennyiséget, valamint az elolvadt hóból származó vizet már nem tudta befogadni. A talajban való elszivárgást ráadásul a fagyott talaj is megnehezítette. A folyamatosan tartó párák, borús, hűvös időjárás ráadásul a víz elpárologását is megakadályozta. Ezt a helyzetet tetézték a hónapokon át ismétlődő intenzív esőzések. Ennek következtében az utóbbi évek legsúlyosabb belvízhelyzete állt elő.

A felmelegedés–lehűlés–havazás váltakozása, valamint a tavaszi és nyári eleji esőzések az események ismétlődését és elhúzódását vonták maguk után.

Jelentős probléma, hogy a belvízveszéllyel érintettek nagy része az épületek minimális védelméről sem gondoskodik (árok- és áteresztisztítás), leginkább az állam által történő lakásmegoldás vagy kárenyhítés reményében. A 40-50 éve épült alap nélküli vályogházak élettartama pedig a végéhez közeledik, belvíztűrő képességük drasztikusan lecsökkent. A jövőre nézve ez nagyobb kormányzati és önkormányzati kárenyhítési szerepvállalást igényel. [7.11]

A belvíz pusztító hatásai

A belvíznek, az árvízhez hasonlóak a pusztító hatásai, melyek a következők:

- Elpusztul a vetés, vagy megkésik a talaj művelése, bizonytalan a termelés;
- Járvány- és fertőzésveszély;

¹⁷ A hirtelen lezúduló nagymennyiségű csapadékhoz hasonló problémát válthat ki a közepes intenzitású, de hosszan tartó esőzés is.

- Ásott kutak vizének megfertőződése;
- Temetők elárasztása;
- Szennyvíztároló aknák „kiöblítése”;
- Épületek romosodása, lakhatatlanná válása;
- Letarolt erdők helyén a csapadék és a kedvezőtlen lejtőviszonyok együttes hatásaként talajerozió.



7.7. ábra: Belvíz Rábagyarmaton 2009. június 29. Készítette: Németh Viktória [7.20]

A belvíz, az árvízhez hasonlóan szintén veszélyt jelent az emberi egészségre, biztonságra, a természetes környezetre és az infrastruktúra elemeire egyaránt. Ebből kifolyólag a belvizek kártételei elleni hatásos védekezés is kormányzati szintű intézkedéseket igényelhet (veszélyhelyzet kihirdetését), különösen az alábbi esetekben, melyet a Polgári védelmi törvény¹⁸ tartalmaz:

„a) súlyos, több embernél halálos lefolyású tömeges megbetegedést előidéző kórokozó megjelenése, amely kórokozót ürítő embertől, kórokozót tartalmazó holttesttől,

¹⁸ 1996. évi XXXVII. törvény a polgári védelemről 2§. 2. a), j).

kórokozóval szennyezett élelmiszerből, vízből, talajból, tárgyról, anyagról, levegőből, állatból vagy állati tetemből származik”

„j) belvízvédekezés során, ha a belvíz lakott területeket, ipartelepeket, fő közlekedési utakat, vasutakat veszélyeztet és további elöntések várhatók.”

A belvíz pusztító hatását szemlélteti a 7.7. ábra, amely a 2009. június 29-én, Rábagyarmaton készült egy „felhőszakadást” követően. A települést körülvevő dombokról lezúduló víz miatt a település egy része víz alá került. A helyzetet tovább súlyosbította, hogy a Rábagyarmat-patak is kiöntött. [7.20]

A belvízhelyzet kezelése

A belvízhelyzet kezelése nem csak az itthoni erőfeszítéseinktől, hanem az országhatárainkon túli tájalakításoktól is nagymértékben függ, amely magába foglalja többek között a folyók szabályozásával és az erdőgazdálkodással összefüggő tevékenységeket is. Vagyis a magyarországi belvízhelyzet legmegfelelőbb kezelése a Kárpát-medence sajátosságainak figyelembevételével és a szomszédos országokkal való együttműködéssel valósítható csak meg.

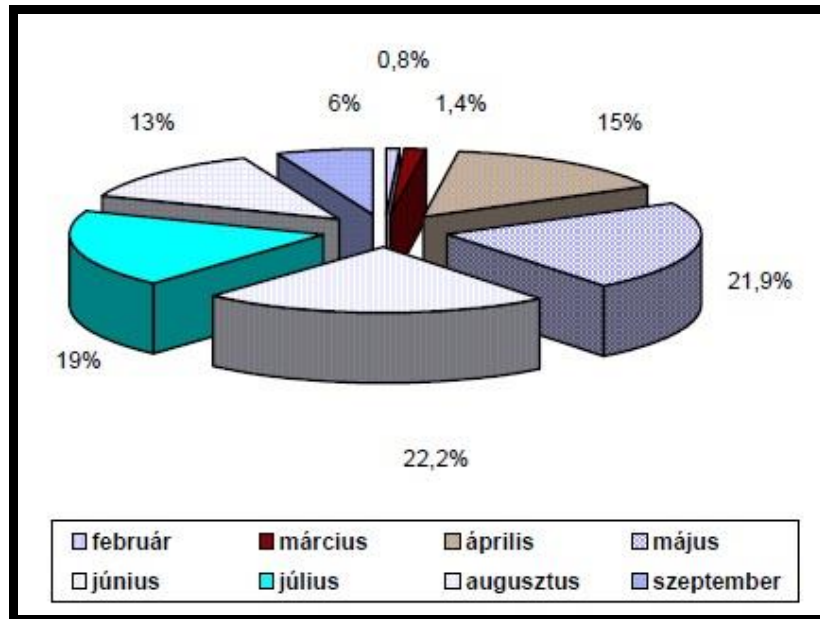
7.4.4 Jégeső

A jégeső általában a heves zivatarok kísérőjelensége (tehát helyi jellegű) a szélviharokkal együtt. Akkor alakul ki, amikor a zivatarban jelenlevő feláramlások a légkör extrém hideg rétegeibe esőcseppeket szállítanak magukkal és ott azok szilárd halmazállapotúra fagynak. A kialakult jégszemek a zivatar leáramlásába kerülve a felszínre hullnak. A zivatarok többségében mindig kialakulnak jégszemek, de a legtöbb esetben a felszínre érve elolvadnak. Azt, hogy kialakul-e a jégeső, attól függ, hogy a felhőben a jégszemek mennyire tudnak megnőni. Egy bizonyos mérethatár fölött ugyanis a jégszemek zuhanás közben már nem tudnak elolvadni. A felszínre hulló jégszemek mérete annál nagyobb, minél intenzívebb a zivatarfelhő. Hazánkban a tipikus jégszemátmérők a következők:

- Búzaszem nagyságú (3-4 mm);
- Borsószem nagyságú (5-8 mm);
- Mogyoró nagyságú (9-12 mm);
- Cseresznye nagyságú (13-18 mm);
- Dió nagyságú (19-25 mm);

- Golf labda nagyságú (26-35 mm);
- Tenisz labda nagyságú (36-50 mm). [7.21]

Hazánkban a leginkább jégesőveszélyes hónapok: az április (15%-os valószínűség), a május (21,9%), a június (22,2%), a július (19%) és az augusztus (13%). A szeptemberi jégeső gyakorisága alig 6%, a februári 0,8% és a márciusi 1,4%, amit a 7.8. ábra szemléltet [7.22]



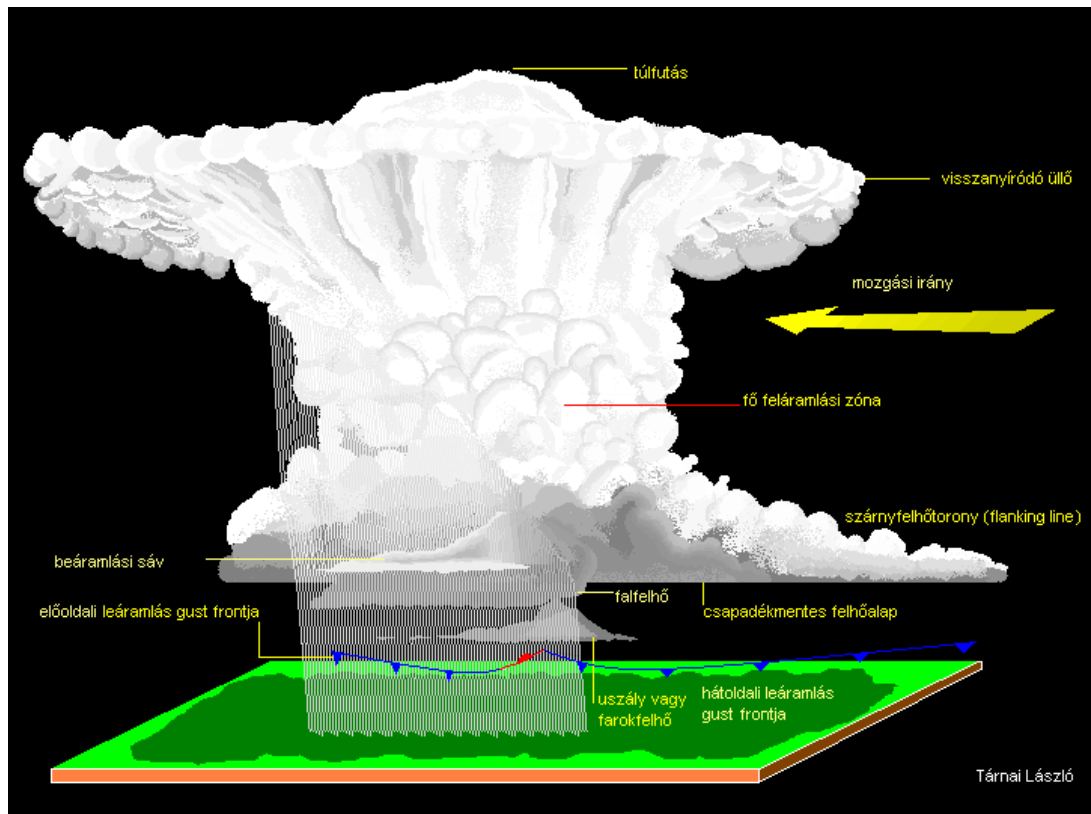
7.8. ábra: A jégeső előfordulási gyakorisága Magyarországon

A statisztikai adatokból megállapítható, hogy a jégeső leggyakrabban a nyári hónapokban fordul elő.

Ezen kívül a jégeső kísérő jelensége lehet egyéb nagyobb pusztítást okozó időjárási jelenségnek, mint például a szupercellás szerkezetű viharoknak. A szupercellát a forgó feláramlás különbözteti meg a többi vihartól. Az ehhez a heves feláramláshoz hozzákapcsolódó alacsony légnyomást nevezzük mezociklonnak. Azonban a mezociklon önmagában nem feltétlenül utal szupercellára, rövid heves zivataroknál is kialakulhat.

„Ahhoz, hogy egy szupercella létrejöjjön, nem elég az a felhajtóerő, mely azon a hőmérséklet-különbségen alapszik, amit az átlagos zivatarfelhőben a feláramló nedves levegő biztosít azáltal, hogy a benne lévő pára kicsapódik, és így latens hő szabadul fel. Szükséges nagy irány- és erősségbeli szélnyírás is. A magasban erősebben fújó szél a kumulonimbuszban növeli a vertikális feláramlást, kéményhez hasonló módon, mint

amikor az "jól hűz". Fontos az is, hogy a szélnyírásból eredő vízszintes tengelyű örvényességet a megkezdődő függőleges légmozgások vertikális tengelyűvé változtatják, kiváltva ezzel a kumulonimbusz forgását. A szélnyírás azzal is jár, hogy csak minimális csapadék esik keresztül a feláramlási részen, a többi mind mellette hullik le.



7.9. ábra: Szupercella kialakulása

A 7.9. ábra jól szemlélteti a szupercellákban lezajló folyamatokat. Ezen kívül az ábrán látható a szupercellák jellegzetes üllő alakja is. [7.16] Az ábrából láthatjuk, hogy a szupercella kialakulása kedvez a jégeső kialakulásának, mivel az erős fölfelé áramlás miatt a túlhűlt víz tovább maradhat a légkör hidegebb rétegeiben. Ezért, mint később látni is fogjuk, a szupercella megjelenése gyakran hoz magával nagy intenzitású jégesőt.

A jégeső hatalmas károk okozására képes a mezőgazdaságban, az épített környezetben és az emberi egészségben egyaránt.

A mezőgazdaságban az érintett területeken teljesen tönkretetheti a termést. Az épített környezetben leginkább az épületek tetőszerkezetében tehet kárt, valamint súlyosan megrongálhatják a gépjárműveket is. Az emberi egészséget, épséget a már

cseresznye nagyságú (13-18 mm) jég szemek is komolyan veszélyeztetik, sérüléseket okozhatnak.

A jégeső pusztító hatása

A jégeső pusztító hatását a 2010. június 18-i Mezőhegyesen és a környező településeken bekövetkezett eset jól érzékelteti, melyet a 7.10. ábra is szemléltet.

2010. június 18-án a délutáni órákban hatalmas széllel és jégesővel érkező vihar sújtotta Mezőhegyest és a környező településeket. A jég szemek üveggolyó nagyságúak voltak.

A vihar a térség legnagyobb mezőgazdasági nagyüzemében (Ménésbirtok Zrt.) teljesen tönkretette a termést, hatalmas károkat okozott az épített környezetben, megszűnt az áram- és a telefonszolgáltatás, ezen felül személyi sérüléseket is okozott. Egész utcákon szakította le a szél a tetőket, kidőlték a fák, ami pedig megmaradt, azon alig maradt levél.

A szél tövestől csavarta ki a fákat a művelődési központ környékén, ahol a „Lángosolimpia” nevezetű gasztronómiai fesztivált rendezték volna, de azt még időben lefűjták. A lóversenypályán azonban díjugrató verseny folyt, amikor a vihar megérkezett. Mivel a pálya nyílt terepen van, így az embereknek esélyük sem volt elmenekülni. A jég miatt 4-en súlyosan, 7-8-an pedig könnyebben sérültek meg, őket mentők vitték el. A megbokrosodott lovak közül is több megsérült, melyek közül 2-t el is kellett altatni.

A Ménésbirtok Zrt. 8 ezer hektáron gazdálkodik, és ebből több mint 5 ezer hektár egybefüggő öntözött terület. A jégeső annyira kipusztította a növényeket, hogy még azt sem lehetett felismerni, hogy milyen magot vetettek el, valamint az öntöző berendezések is tönkrementek. A kár 100%-os volt.

Továbbá a vihar következtében leszakadtak az elektromos vezetékek, a városban elment az áram és akadozott a telefonszolgáltatás.



7.10. ábra: A Mezőhegyesi jégeső, 2010. június 18. [7.22]

A 20-25 percig tartó jégeső 400 ingatlanban tett kárt, melyből 120 lakótelepi lakás volt és elsősorban az ablakok törtek ki. Az önkormányzati intézményekben is súlyos károk keletkeztek. Többek közt az iskolában és az alapellátó központban. Továbbá a jég több gépkocsi szélvédőjét is betörte, valamint rengeteg karosszériasérülést okozott.

Becslések szerint a lakosságot mintegy 100 milliós, az agráriumot pedig milliárdos kár érte. A polgármester nem kezdeményezte a város katasztrófa sújtotta területté nyilvánítását, de a vis major igényt benyújtotta, mivel lakhatatlan ingatlan nem volt, de olyan jelentős károk keletkeztek, hogy a város saját erejéből képtelen lett volna megoldani a helyreállítást. A jégverés olyan szintű volt, hogy 2 órával a vihar után helyenként még mindig 15-20 cm vastagságú jég borította az utcákat. [7.22-7.25]

Jégeső elhárítására kiépített rendszer hazánkban

A jégeső elhárítás gondolata már az 1940-es évek végén felmerült. Dési Frigyes volt az, aki először szólt hivatalosan a gyakorlati bevezetés mellett az 1965. szeptember 8-10-én a Meteorológiai Társaság rendezésében tartott felhőfizikai ankét megnyitóbeszédében. A következő évben 1966. január 27-én az MMT¹⁹ 38. közgyűlésének megnyitóján ismertette Dési az OMI²⁰ kutatási terveit. A gyors megvalósítást jogi, pénzügyi, szervezési, engedélyezési és ehhez hasonló problémák hátráltatták. Végül évekig húzódott a hazai jégeső elhárító hálózat kiépítése, ami egészen 1975-ig Budapestről irányítottan történt. A lassú haladás meggyorsítására hozták létre a Jégesőelhárítási Koordinációs Bizottságot. Végül 1975 tavaszára a létesítmények nagy része elkészült, a szükséges eszközök, rakéták, állványok, rádióhálózat, valamint radar beszerzésre kerültek, és megkezdődött az üzembeállításuk. 1975. május 7-én került sor az első rakéták fellövésére. Az ünnepélyes megnyitón 1db Oblako és 4 db PGI-M típusú jégeső elhárító rakétát lőttek fel. A szolgálat 11 kilövőállomással indult, és 1975. július 16-án az első önálló aktív beavatkozás is megtörtént.

Adódtak azonban problémák, mint például az, hogy a kísérleti terület déli határa az országhatárral esett egybe, és így problémát okozott a már kifejlődött állapotban levő dél-délnyugatról, Jugoszlávia felől érkező zivatarfelhők befolyásolása. A határ irányában azonban nem lehetett védekezni, mert az érvényes államközi szerződések nem tették ezt lehetővé. A két ország jégeső elhárító szakemberei előkészítettek egy együttműködést, mely a határok sérthetlenségét szem előtt tartva megoldást nyújtott volna. A lényege az volt, hogy a két aktív jégeső elhárítást végző fél között rádióhálót létesítenek, amin keresztül kérni lehet a másik felet, hogy a területe fölött kialakuló jégesőt kezdje meg elhárítani a kérelmező költségére. Bár a megállapodást 1978. március 2-án a két kormány megbízottja aláírta, soha nem került sor az abban lefektetett elvek szerinti tevékenységre.

Ez a jégeső elhárító rendszer több évig működött, közben megtörtént a baranya megyei rendszer véglegesítése, valamint Bács-Kiskun megyében is létrehoztak egy

¹⁹ Magyar Meteorológiai Társaság

²⁰ Országos Meteorológiai Intézet

ilyen rendszert az 1980-as évek közepén. Időközben az Oblako rakétákat lecserélték a hatékonyabb Alazany-2M önmegsemmisítő rakétára.



7.11. ábra: A NEFELA által lefedett terület

A sokéves működés után 1989-ben megszűnt az OMSZ Állami Biztosítóval kötött finanszírozási szerződése, és a két jégeső elhárító rendszer lassan felszámolásra került. Időközben a felszinközeli rétegbe juttatott jégképző magvak alkalmazhatósága egyre inkább bizonyítást nyert. A korábbi jégeső elhárítás hatékonyságát több megfigyelés is alátámasztotta. A kilövő állomások személyzete számos alkalommal észlelte a beavatkozás után hó, hókása jelenlétét a talajon jég szemek helyett, még a legmelegebb nyári napokon is, így arra a néhány évre ezen észlelések alapján valóban hasznos volt a rendszer működése. Végül is a baranyai jégeső elhárítás nem szűnt meg. Ma is működik az 1991-ben alapított NEFELA Dél-Magyarországi Jégesőelhárítási Egyesülés, ami francia technikát alkalmaz: jégveszélyes helyzetekben a védendő területen jégképző magvakat juttat a felszinközeli rétegbe egy aeroszol generátor hálózat segítségével (OMSZ, 1995). [7.26]

A 7.11. ábrán látható térképen jelölve vannak a NEFELA hálózatához tartozó állomások. A térképen jól látszik, hogy Somogy, Tolna és Baranya megye csaknem teljes területe védve van a rendszer által.

Láthattuk, hogy a jégesők technikai elhárítása nem új keletű fogalom, és hazánkban a Dunántúli-dombság területén van működő jégeső-elhárítási rendszer. Bízónak tűnik, hogy a NEFELA létezik és működik, és szükségszerűnek tartjuk, hogy hasonló technikai alapokon nyugvó rendszer épüljön ki az ország egész területén. A NEFELA hálózatáról további információkat találhatunk a honlapjukon. [7.27]

Az ország más területén is foglalkoznak már ezzel a kérdéssel. A Debreceni Egyetem kutatói teszteltek egy Belgiumban kifejlesztett jégágyút, amely gázrobbanás lökéshullámát továbbítja a légkörbe. [7.28] A működési elve azon alapul, hogy a lökéshullám összekeveri a különböző elektromos töltésű és hőmérsékletű légtömegeket. Ezzel csökkenti a lehetőségét a jégeső-kialakulásának.

A hírek szerint már hét ilyen szerkezetet is alkalmaznak különböző vállalkozásoknál. Az ágyú tulajdonságaihoz hozzá tartozik, hogy nyolcvan hektáros területet képes lefedni és távolból is működtethető, ugyanis egyetlen telefonhívással, vagy SMS küldésével elindítható, illetve leállítható. [7.28]

A jégvédelmi ágyúk működési elve azon alapszik, hogy az acetilén-gáz és levegő keverékével a berendezés robbanóegységében 7 másodpercenként létrehozott, nagy erejű és koncentrált robbanás lökéshullámát az ágyúcső a légkörbe továbbítja. A lökéshullám a különböző elektromos töltésű és hőmérsékletű légtömegeket összekeverve megszünteti vagy tompítja a jégeső-képződés egyik fontos feltételét, és korlátozza a jégzemcsék kialakulását. Ez a hatás 5-10 km magasságban néhány kilométer átmérőjű körre terjed ki, mely a földfelszínre vetítve mintegy 500-600 méter sugarú területet érint, ami akár 80 hektáros területen is képes megvédeni a gyümölcsültetvényeket.

A globális klímaváltozás miatt jelenleg a jégeső a gyümölcsstermést leginkább fenyegető időjárási tényező. A Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma Kutatási és Fejlesztési Intézetében a szakemberek másfél éve kutatják a védekezés lehetséges módszereit és rendszereit. Az eredmények azt mutatják, hogy jégvédelmi ágyúk megoldást jelenthetnek a kertészeti vállalkozásoknak a jégesők elleni küzdelemben. A berendezés előnye, hogy működtetése egyszerű, nem kíván különösebb szaktudást, valamint manuálisan vagy bármilyen távolságról SMS üzenettel, illetve telefonhívással is indítható és leállítható. Az ágyú mellett szól továbbá, hogy beruházási költsége viszonylag alacsony, a védett terület méretétől függően hektáronként 150-400 ezer forintot tesz ki, míg a jégáló felszerelése kb. tízszer ennyibe kerül. Előnyének

tekinthető az is, hogy nemcsak ültetvényeket védhet, hanem például üvegházakat, fóliákat vagy más nagy értéket képező és sérülékeny építményeket is. [7.28]

Ezek alapján bátran kijelenthetjük, hogy a jégesők elhárításával foglalkozni kell, és ez egy valós feladat. A különböző magánkezdeményezések ígéretes kezdetnek tekinthetők, de feltehetően nem biztosítják az egységes védelmet. Feltehetően lesznek olyan területek, ahol a tulajdonosok nem tudják vagy nem akarják biztosítani a szükséges intézkedéseket a jégeső elhárítására. Éppen ezért fontos feladat lenne a központi szabályozás is.

7.4.5 Ónos eső

Azt a jelenséget, amikor a lehulló esőcseppek a talajra érve, vagy a tárgyakra ütközve azonnal megfagynak és ezüstösen csillogó jeges bevonatot hoznak létre, ónos esőnek nevezzük. *„Ónos eső leggyakrabban akkor keletkezik, amikor a teljes vastagságában 0 °C alatti hőmérsékletű légrétegben, a felhők alsó szintje és a fagyott talaj közé meleg légtömeg nyomul. A hópelyhek e meleg rétegen áthullva részben vagy teljesen megolvadnak. A talajfelszínre jégdaraként vagy ónos esőként érik a csapadék, attól függően, hogy a részecskéknek volt-e elég idejük jéggé fagyni, vagy sem. Az utóbbi esetben a cseppecskék túlhűlt állapotúak (azaz hőmérsékletük fagypont alatt van), s amikor a talajfelszínre érnek vagy tárgynak ütköznek, ónos fényű, szilárd jéggé dermednek. A legnagyobb károk akkor keletkeznek, mikor az ónos esőt hozó melegfront két oldalán elhelyezkedő hideg és meleg légtömeg hőmérséklete között nagy a különbség. Ebben az esetben az ónos esőt heves jeges vihar követheti...”*[7.29]

Ónos eső kialakulásával a téli időszakban kell számolni. Az utakon, járdákon kialakult jégpáncél komoly veszélyt jelent az idős emberekre, akik egy csonttörésből gyakran már nem képesek felépülni. Ezen felül teljesen ellehetetlenítheti a közlekedést, tömegbalesetek következhetnek be, valamint a veszélyhelyzet kezelés szerveinek a helyszínre történő időbeni kiérkezését is megnehezíti. Továbbá villanyvezetékek szakadhatnak le és fák dőlhetnek ki a rájuk rakódó jég súlya miatt.

2009. január 14-én délelőtt az OMSZ 4 régióra – Dél-, Nyugat- és Közép-Dunántúlra, valamint Közép-Magyarországra – adott ki piros riasztást az intenzív hóesés és a jégesedés miatt. Az autók sorra csúsztak egymásba az országban, gázolások is történtek.

Zala, Vas és Veszprém megyékben az időjárás miatt a vasúti közlekedésben 10-15 perces késések történtek. A mentőket csak Veszprémben kéz- és lábtöréshez 36 esetben riasztották. Zircen betegellátás közben, a jeges úttesten elcsúszva szenvedett balesetet egy mentős, akit aztán kórházba kellett szállítani. Bács-Kiskun megyében elütöttek egy kerékpárost és egy gyalogost a jeges utakon, öten pedig egy árokba csúszott autóban sérültek meg. Kiskunmajsán és Kecskeméten is a jégpáncélon megcsúszó autók gázoltak.

Győr-Moson-Sopron megyében az utakon 6 baleset történt, melyekben többen is megsérültek. A buszközlekedést a Kisalföld Volán Zrt. biztonsági okokból leállította. A Kisalföld Volán Zrt. nem csak a helyközi járatokat, hanem Győrött és Sopronban a helyi járatokat sem indította el. Ezen felül Csorna és Szil között veszélyes anyagot szállító nyerges vontató borult az árokba, amely miatt forgalomkorlátozás történt. [7.30, 7.31]

7.4.6 Intenzív hóesés, hóvihár

A hóesések, hófúvások a téli időszak velejárói, melyek akár már viszonylag kis mennyiségű hó esetén is katasztrofális helyzet kialakítására képesek egyes települések, esetenként vidékek életét megbénítva. Az intenzív havazás és hófúvás következtében a zsáktelepüléses²¹ szerkezetű települések elzáródhatnak a külvilágtól, meggátolva ezzel a betegek és az élelem közúton való szállítását.

A települések felszabadítását nehezíti az, hogy egymástól és a főúttól távol helyezkednek el, ebből kifolyólag egyenként kell őket felszabadítani, amely jelentős erő és eszköz felhasználását igényli. A betegek és az élelmiszer szállítására, valamint a felszabadító munkálatok folyamán helikopterekre és a honvédség (és eszközeinek) igénybevételére is szükség lehet. A hófúvások által okozott veszélyeztetéssel az ország egész területén számolni lehet 3-5 éves gyakorisággal. [7.11]

²¹ Csak egy irányból lehet megközelíteni. Nincs átmenő forgalma (se út, se vasút).

A Kormány intenzív hóesés, illetve hóvihár esetén veszélyhelyzetet hirdethet ki, ha:

„h) háromnál több napon keresztül tartó folyamatos, intenzív hóesés

i) régióin belül egyidejűleg járhatatlan vasútvonal, főút, valamint legalább öt mellékút”²²

Az i) pontból kitűnik, hogy az intenzív hóesés és a hófúvások nem csak a közúti, hanem a vasúti közlekedést is akadályozhatják. A közúti közlekedés esetében hótorlaszokkal, karambolokkal, közlekedési káoszokkal kell számolni, amely negatív hatással lehet az áruszállításra és a veszélyhelyzet kezelés szerveire. A veszélyhelyzet kezelés szerveinek jelentősen megnőhet a kiérkezési ideje a helyszínre, amely egyes esetekben életeket követelhet. Ezt tetézheti az a helyzet, amikor a települések el vannak zárva a külvilágtól, ebben az esetben ugyanis a veszélyhelyzet kezelés szerveinek a helyszínre időben történő eljutása vagy lényegesen megnehezül, vagy teljesen lehetetlenné válik.

1995-ben Békés megyében alakult ki például extrém havazás, melynek következtében számos kistelepülés záródott el a külvilágtól, járhatatlanná váltak a fő- és mellékközlekedési útvonalak, továbbá a lakosság ellátásában zavarok keletkeztek. [7.32]

7.4.7 Szélviharak

Hazánk területén a szélviszonyok kialakításában két tényező vesz részt. Az egyik az általános légcirkuláció, a másik pedig az alapáramlás. Az általános légcirkuláció északnyugati irányú, amely főleg a Dunántúlon és a Duna-Tisza köze területén érezhető. A Tiszántúlon viszont északkeleti irányú a légmozgás. A legszelesebb terület a Kisalföld, mérsékeltébb a Tiszántúl és a Duna-Tisza köze, legkevésbé szeles pedig a dunántúli dombvidék.

A szél általános sebessége 2-4 m/s (5-12 km/h) közötti értékű, de jóval magasabb értékek is előfordulhatnak, melyeket széllokéseknek nevezünk. A széllokések átlagértéke az utóbbi évtizedekben 20-40 m/s (72-144 km/h) közötti volt. 1924-ben azonban Bia községben 100 m/s sebességű széllokést mértek, amely egy gyárkéményt is

²² 1996. évi XXXVII. törvény a polgári védelemről 2§ (2) h), i).

ledöntött. Ennél az esetnél a szellőkés helyett tornádót, tájfun, hurrikánt használtak, mivel a szél jellege és sebessége ezt indokolta. Hazánkban az éves szélvihar gyakoriság a 30-40 db/évet is elérheti. A szélviharok önmagukban is előfordulnak, de gyakran a zivatarok velejárói, kísérőjelenségei. [7.33]

A szélviharok a nyári időszakban gyakori tömegrendezvényeken akár tömegpánikot is kiválthatnak (amennyiben váratlanul érkeznek), amely következtében számos ember megsérülhet, illetve életét vesztheti.

7.4.8 Extrém meleg időjárás

A klímaváltozás egészségügyi következményei a mindennapi gyakorlatban is egyre inkább érzékelhető hatásokban öltönek testet, beleértve az egészségügyi következményeket is. Az egészségi hatások vizsgálatát kiemelt fontosságúnak ítélte az 1999-ben Londonban megtartott 3. Környezetvédelmi és Egészségügyi Miniszteri Konferencia is. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) a Konferencia Zárónyilatkozatában szereplő ajánlásokat figyelembe véve alakította ki programját, melyhez Magyarország is csatlakozott. A magyar nemzeti kutatási tervet a Nemzeti Környezet-egészségügyi Akcióprogram (NEKAP) keretén belül 2000-től ennek megfelelően dolgozták ki. A munka során felmérték a klímaváltozás közvetlen egészségkárosító hatásait Budapest halálozási és meteorológiai adatainak összesítésével az 1970-2000 közötti időszakra vonatkozóan. A vizsgálatok arra az eredményre jutottak, hogy egy-egy hőhullám²³ alkalmával Budapesten 30-100 közötti többlethalálozás fordult elő. Az eddig mért adatok szerint a kiemelkedően meleg napok száma emelkedik országunkban. 1992. és 2000. között 6 hőhullám érte el hazánkat, összesen 27 nagyon meleg nappal. 2001. és 2008. között azonban 14 hőhullám következett be 57 igen meleg nappal. [7.37]

A NEKAP-ot követően az Európai Unió által támogatott PHEWE kutatási program keretében 2004-ben kiépítésre került, majd 2005-ben kipróbálásra az időjárás-egészségi hatás előrejelző rendszer (hőségriasztó rendszer) Budapesten, amely később országos méretűvé vált és jelenleg is üzemel. [7.38]

²³ Ha az átlaghőmérséklet 3 napon át meghaladja a 26,6 °C-ot [7.38]

7.4.9 Extrém csapadékhiány (aszály)

„Az aszály olyan időszakot jelent, amikor az átlagosnál jelentősen kevesebb csapadék hullik, vagy ha a csapadékmennyiség egészben véve eléri is a megszokottat, de a magas hőmérséklet miatt a talaj párolgási vesztesége jelentősen megnő, hosszabb időre kiterjedő szárazság áll be, a növényzet fejlődését a szükséges nedvesség hiánya miatt megakasztja, sőt a növényzet pusztulását is okozhatja.”[7.16]

Mivel az aszály elleni védekezés nem tartozik a katasztrófavédelmi feladatok közé, így arra csak érintőlegesen térünk ki.

A szárazság és az aszály a történelmünk folyamán gyakran sújtotta országunkat. Megjelenését éhínség és tömeges állatelhullás követte. Ez történt a XIX. században, melynek legnagyobb aszálya 1863-ban volt az Alföld legnagyobb részén, melynek következtében nem csak a termés ment tönkre, hanem a gazdasági állatok is elpusztultak. Hiába próbálták az éhhalál elől elhajtani őket a Dunántúlra, a Felvidékre és Erdélybe. Az emberek között is éhínség uralkodott és sok évbe telt, amíg az aszály által okozott kár pótolhatóvá vált.

Magyarország esetében az aszályok szinte kivétel nélkül országos méretűek, vagy legalábbis országos hatásúak, de leginkább az alföldi területek érintettek. Az általa okozott károk elérhetik, sőt meg is haladhatják az ár- és belvizek által okozott károk nagyságát a hosszabb felfutási és lecsengési időszaka miatt.

Fontos különbség a szárazság és az aszály között, hogy az előbbi a Föld bizonyos területein állandósult alacsony csapadékos állapot jelent, az utóbbi (aszály) pedig egy átmeneti eseményt. A tartós aszály hatásai a következő sorrendben követik egymást: talajvízszint-süllyedés, a talajképző folyamatok átalakulása, a növényzet megváltozása, a felszínformáló folyamatok módosulása.

Az eddigi tapasztalatok szerint hazánkban 10 évből átlagosan 4-ben aszályal kell számolni. 1976-1985 között 3, míg 1986-1995 között 7 aszályos év volt. A globális klímaváltozás következtében országunkban egy elsivatagosodási folyamat figyelhető meg. Egész Európában hazánk a legveszélyeztetettebb a csapadékmennyiség csökkenésének szempontjából. Az elsivatagosodás és az aszály elleni küzdelemről szóló ENSZ Egyezmény (UNCCD) meghatározása szerint országunk egész területe aszályal sújtott területnek tekintendő. A Duna-Tisza közén a talajvízszint helyenként 6-7 méterrel csökkent az eredeti szinthez képest. [7.16]

A VAHAVA projekt kutatási eredményeit figyelembe véve a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia is az aszályos időszakok megnövekedésével számol, amely következtében az Alföld és azon belül a Duna-Tisza közének egyes kisebb tavai és a holtágak vízfelülete drasztikusan csökkenhet, vagy akár ki is száradhat. Sőt mi több, az országunk területén lévő folyók évtizedeken belül nyaranta a jelenleg szokásos szintjük felére is apadhatnak. A kisebb vízmennyiség miatt pedig a vizek öntisztuló képessége csökkenhet, ezáltal az egyes szennyezések lebomlása lassabb lesz, ami negatívan befolyásolja a víz minőségét. Ezen felül a növekvő átlaghőmérséklet következtében a felszíni vizek hőmérséklete is nőni fog, amely a folyók és tavak eutrofizációját²⁴ vonhatja maga után. Mérések alapján kimutatták, hogy a múlt század óta folyóink és tavaink hőmérséklete folyamatosan növekvő tendenciát mutat. [7.33]

A globális felmelegedés következtében hazánkban az átlaghőmérséklet emelkedésére, valamint az extrém hőhullámok és az aszályos időszakok (és időtartamuk) egyre gyakoribbá váló előfordulására lehet számítani, melyek többek közt a természetben keletkező tüzek előfordulási gyakoriságának megnövekedését is eredményezik. A felmelegedés nem csak a tüzek gyakoriságát, hanem azok pusztító erejét is fokozza majd, amely által nőni fog a keletkező tüzek terjedési sebessége és intenzitása, ami a tűzoltóság számára lényegesen megnehezíti majd a beavatkozást. Azonban a természetben előforduló tüzesetek számának megnövekedésénél jelentősebb problémák megjelenésével is számolnunk kell.

Az átlaghőmérséklet és az aszályos időszakok számának növekedése jelentős veszélyt jelentenek majd hazánk ivóvízkészletére, ugyanis mint ahogy fentebb említettük, folyóink, tavaink vízszintjének drasztikus csökkenése és eutrofizációja várható, amely kihat a felszíni víz minőségére. Ezen felül a globális felmelegedés következtében a felszín alatti vízkészleteink csökkenése²⁵ is várható az utánpótlás hiánya és a növekvő párolgás miatt. Tehát az éghajlatváltozás negatív hatásai következtében egyrészt csökken a rendelkezésre álló víz mennyisége, másrészt pedig romlik annak minősége. Magyarország sajátos hidrológiai helyzetéből adódóan

²⁴ „A folyók, tavak, tengerek nagymértékű feldúsulása nitráttartalmú anyagokkal. Ez serkenti az algák és a baktériumok fejlődését, amelyek elhasználják a vízben lévő oxigént, ezért a halak és egyéb élőlények számára lakhatatlanná válik.” In: Új alapismereti kislexikon, Alföldi Nyomda Rt., Debrecen, 1997, p.170.

²⁵ A közműves vízellátás 90%-a felszín alatti vizeken alapul. (NÉS p. 61.)

(külföldről érkező folyók) a jövőben a legnagyobb problémát a tiszta ivóvízhez való hozzáférés jelenti majd, melyet az IPCC előrejelzése is megerősít.

Az aszály különleges természeti katasztrófa, ugyanis pusztító hatásai a többivel ellentétben nem azonnal és váratlanul, hanem lassan, fokozatosan jelentkeznek. A pusztító hatások a vízgazdálkodás és a mezőgazdasági öntöző technológiák fejlesztésével részben megelőzhetők, részben pedig csökkenthetők lennének, azonban ez óriási és hosszú távú beruházásokat igényelne. [7.16]

7.5 Az extrém időjárás következményei

7.5.1 Extrém mennyiségű csapadék emberi egészséget veszélyeztető hatása

Az extrém mennyiségű csapadék az emberi életet, egészséget közvetlenül nem veszélyezteti, hanem a komfortérzetünkre gyakorol leginkább hatást. Amennyiben az extrém mennyiségű csapadék eső formájában hullik le, akkor az történhet hosszantartó közepes intenzitású esőzéssel, és történhet hirtelen nagy mennyiségben lezúdulva is, a következmények hasonlóak. Az extrém mennyiségű csapadék ár- és belvíz okozására is egyaránt képes, melyeknél akár már közvetlen is lehet az életveszély. Az ár- és belvizek után kialakuló járványveszély az egészséget szintén veszélyezteti.

Azonban ha a csapadék ónos eső, vagy jégeső formájában hullik le, akkor az jelentős veszély és károk okozásra képes. Az ónos eső, amely a téli időszakban fordul elő, főleg az idősek számára jelent veszélyt, akik egy csonttörés esetén ritkán tudnak felépülni. A jégeső – amelynek előfordulási gyakorisága az utóbbi években megnőtt – pedig komoly fizikai sérülések okozására is képes, valamint óriási kárt tud tenni a mezőgazdasági növényekben, gépjárművekben és az épületek tetőszerkezetében.

Abban az esetben, ha hó esik le hirtelen nagy mennyiségben, akkor területeket zárhat el a külvilágtól, akadályozva az érintett területek élelmiszerellátását és a veszélyhelyzet kezelés szerveinek a helyszínre időben történő kiérkezését, valamint hatékony beavatkozását. [7.33]

Az esővel ellentétben az ónos esőnek és a jégesőnek nem kell extrém mennyiségben lehullnia ahhoz, hogy óriási veszélyt és károkat okozzanak. Előfordulásuk már önmagukban is rendkívüli időjárásnak mondhatók.

7.5.2 Extrém mennyiségű csapadék természetére gyakorolt hatása

Amennyiben a csapadékbőség magas hőmérséklettel párosul, az kedvez a baktériumok és gombák növekedésének a tárolt élelmiszerekben, fokozva azok romlékonyságát. Egyes penész fajták az egészségre is komoly veszélyt jelenthetnek, mint például a flavus penész, amely a tárolt diókon élőszködik, és erős mérget termel, amely akár májrákot is okozhat. Ezen felül a kiirtott erdők helyén a csapadék és a kedvezőtlen lejtőviszonyok együttes hatásaként talajeróziót is okozhat.

Az extrém mennyiségű csapadék legfőbb természetére gyakorolt hatása az, hogy ár- és belvíz okozására képes. Az árvizek következtében elpusztulhatnak az árterületen élő állatok, a belvizek következtében pedig teljesen tönkremehet az érintett területeken a termés.

Abban az esetben, ha a csapadék jégeső formájában hullik le, akkor teljesen tönkretelheti a termést. A lábon álló terményekből kiverheti a szemeket, valamint annyira elfektetheti a növényeket, hogy azok betakarítása lehetetlenné válik. A gyümölcsfák esetében a megütődött gyümölcsök az ütődés helyén elkezdnek rohadni, vagy egyből leesnek a fáról.

7.5.3 Extrém csapadék kritikus infrastruktúrára gyakorolt hatása

Az extrém mennyiségű csapadék miatt kialakult ár- és belvizek az elöntések következtében lakott területen belül elszennyezik a kutakat, valamint épületeket és közműveket rongálnak meg. Lakott területen kívül pedig teljesen tönkretelhetik a termést. Ebből kifolyólag az érintett területen veszélybe kerülhet az ivóvíz és az élelmiszer megtermelése, valamint sérülhetnek a közművek.

Az ár- és belvizek pusztító hatásai, valamint az ellenük való védekezés és a helyreállítás költségei az államtól jelentős összegeket követel, amely negatív hatással van a nemzetgazdaságra is. Az infrastruktúrában továbbá az esőzések miatt bekövetkezett földcsuszamlás is károkat okozhat (2010-04-14. Lillafüred).

A nagymennyiségű csapadék lehullása miatt kialakult veszélyhelyzetek katasztrófavédelmi feladatai:

- A szükséges szervekkel és a médiával együttműködve a lakosság széles körű reális tájékoztatása a pánikjelenség megelőzése érdekében;
- A helyszín biztosítása a rendvédelmi szervek segítségével;

- A mentést, kárelhárítást megkezdő elsődleges beavatkozó mentő, tűzoltó, vízügyi, víztársulati erők és eszközök igény szerinti kiegészítése a települési, illetve az üzemi polgári védelmi szervezetekkel;
- A sérültek osztályozása után az elsősegélynyújtás, az orvosi ellátás és a sérültszállítás megszervezése, technikai biztosítása;
- A romok alatt rekedtek felkutatása, kimenekítése;
- A fekvőbeteg gyógyintézetek értesítése a sérültek várható létszámáról, a sérülések súlyosságáról;
- A tömegszállások kialakítására alkalmas épületek számbavétele az adott, illetve a legközelebbi települések területén;
- A hajléktalanná vált lakosság átmeneti elhelyezése, illetve szükségellátásuk biztosítása;
- A speciális mentőszervezetek riasztása, értesítése;
- A sérült közművek felderítése, lokalizálása, helyreállítása;
- A közlekedési hálózatkárok felmérése, szükség szintű helyreállítása;
- A hiányzó gépek, anyagok igénylése és igénybevétele a kárelhárítás érdekében;
- A normál élet visszaállítási feladatainak végrehajtása.

7.5.4 Szélviharok emberi egészséget veszélyeztető hatásai

A viharos szél tetők lesodrására és fák kidöntésére egyaránt képes. A viharos szélnek az emberi egészséget veszélyeztető hatása az általa sodort kisebb-nagyobb tárgyokban rejlik, ugyanis a faágak, tetőcserepek, súlyos sérülések és halál okozására is képesek. Azonban jelentős szélesebesség esetén, extrém esetben a levegő nyomása olyan mértékű is lehet, hogy embereket, állatokat, gépkocsikat sodorhat el, házakat dönthet romba, fákat csavarhat ki. A leomló falak embereket temethetnek maguk alá.

Pusztító erejű szélviharok hazánkban ritkán fordulnak elő, de egyértelmű kockázatot jelentenek a társadalomra és a különböző ágazati tevékenységekre. A globális klímaváltozással kapcsolatos előrejelzések szerint számítanunk kell a tornádó-jellegű viharos szelek előfordulási gyakoriságának növekedésére.

7.5.5 Szélviharok természetére gyakorolt hatásai

A viharok, orkánok fákat csavarhatnak ki, teljes erdőket pusztíthatnak el, sőt az Alföldön homokviharok kialakulásával is számolni lehet, ugyanis már volt rá példa. A szél a mezőgazdaságban főként nyáron, a lábon álló növényzetben okozhat kárt azzal, hogy a gabonaféléket elfekteti, ezzel megnehezítve vagy lehetetlenné téve a betakarítást. A gyümölcsösökben is jelentős károk okozására képes, főleg azzal, hogy az ágakat letördeli, a termést pedig leveri.

7.5.6 Szélviharok kritikus infrastruktúrára gyakorolt hatása

Extrém szélviharok esetében nyáron az Alföldön homokviharok kialakulásával, míg télen, amennyiben a szélvihar havazással párosul hófúvással, hótorlaszokkal kell számolni az ország bármely területén. Közlekedési káosz alakulhat ki, amely a veszélyhelyzet kezelés szerveit is negatívan érintheti, ugyanis a kialakult helyzetben lényegesen megnőhet a kiérkezés időtartama, valamint a beavatkozást is nehezíthetik a külső körülmények.[7.33]

A hirtelen fellépő erős, tájfun-szerű szélviharok előfordulási gyakorisága az utóbbi években megnövekedett. Ezzel arányosan növekedtek a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési feladatai is.

Kiterjedt kárterület esetén előfordulhat, hogy kapacitásbeli problémák jelentkeznek a helyreállítási munkálatoknál (épületkárok, közművek, utak), különösen akkor, ha a szélvihar felhőszakadással párosul. Ebben az esetben az emberek mentése és a vízszivattyúzás is a tűzoltókra hárul. Ezen felül az erős szellőkések olyan károkat okozhatnak antennatornyokban, ipari berendezésekben és a különleges technológiával készült épületekben, amire a tűzoltóság napjainkban még nincs felkészülve. Amennyiben az elsődleges beavatkozók erőit meghaladja a kialakult helyzet kezelése, előfordulhat, hogy a viharkárok elhárítása és a mentés érdekében a polgári védelmi erőket is igénybe kell venni. [7.34]

A szélviharok pusztító erejét az alábbi eset – amely igaz nem a nyári időszakban történt – jól érzékelteti:

„2005. május 18-án 18-20 óra között Hajdú-Bihar megyében a Létavértes-Báránd enyhe ívű tengely mentén erős széllel és heves esőzéssel kísért vihar vonult át. A szellőkések sebessége helyenként elérte a 80-120 km/h-t. Az erős szél következtében, illetve az ebből adódó fakidőlések miatt az épületek tetőszerkezeteinek károsodása, a

lakossági és a vasúti elektromos hálózat sérülései, valamint gépjármű károsodások voltak a jellemzőek. Az elektromos hálózatok sérülései miatt több településen volt teljes, vagy részleges áramszünet. Az áramellátás kimaradása miatt a helyi vízmű-telepek leálltak és így a vezetékes vízellátásban is kimaradások jelentkeztek. A vasúti közlekedés a Budapest–Debrecen–Nyíregyháza vonalon, Debrecen körzetében több órára teljesen megbénult, ill. a teljes értékű közlekedés csak egy hét elteltével állt helyre. Az érintett térségben a mobiltelefon-szolgáltatást, valamint a vezetékes szolgáltatás digitális hálózatát szintén több órán keresztül nem lehetett használni. Jelentősebb károk keletkeztek az érintett területek erdőségeiben is.” [7.11]

2010. június 15-én Hajdú-Bihar megyében szintén orkán erejű szél pusztított. A több mint 100 km/h sebességgel tomboló szél következtében a megye 72 településén keletkeztek károk.

A szélvihar összesen 3.872 lakóingatlanban okozott kárt, amelyből 700 súlyosan megrongálódott, azaz tető nélkül maradt. Jelentős problémát okozott, hogy a megrongálódott házak tulajdonosainak csupán harmada rendelkezett biztosítással.

A természeti csapás összesen 165 ezer lakost érintett, melyek közül 237-en nem mehettek vissza otthonukba. Továbbá a szélvihar fákat döntött ki, megrongálódott az elektromos hálózatok, melynek következtében több településen megszűnt az áramszolgáltatás. A Nyírerdő Zrt. jelentései szerint 200 hektár erdőt ért kár, azonban a magánerdőket ért károk még ettől is nagyobbak. A vihart követően a megyei országgyűlési képviselők kezdeményezték a Magyar Nemzeti Katasztrófaalap létrehozását. [7.35, 7.36]

7.5.7 Szélviharok esetén a végrehajtandó főbb katasztrófavédelmi feladatok

- Előrejelzés esetén a lakosság riasztása, tájékoztatása a várható veszélyről és a követendő magatartási szabályokról;
- A szélvihar elvonulása után a felderítés azonnali megkezdése;
- A prioritások meghatározása után az elsődlegesen beavatkozó erők összehangolt munkájának megkezdése;
- A szükséges polgári védelmi erők teljes alkalmazási készenlétbe helyezése és alkalmazása;
- A speciális mentő szervezetek riasztása, értesítése;

- A mentőerők tevékenységének mindenoldalú biztosítása;
- A hajléktalanná vált lakosság szükségelhelyezése és ellátása;
- A mentésben résztvevők váltásának, étkeztetésének, pihentetésének megszervezése és végrehajtása;
- A károk felmérésének megkezdése;
- Gyorssegélyek folyósítása a helyreállítási feladatok megkezdéséhez;
- A normál élet visszaállítása feladatainak végrehajtása.

7.5.8 Extrém magas hőmérséklet, hőhullámok emberi egészséget veszélyeztető hatásai

Az emberi szervezet számára az optimális átlaghőmérséklet a 18 °C, ugyanis a statisztikai adatok szerint a napi halálozás ekkor a legalacsonyabb. A 26 °C átlaghőmérséklet eléréséig a hőmérsékletnövekedés és a napi halálozás között lineáris összefüggés figyelhető meg. A 26 °C-os átlaghőmérsékletnél magasabb hőfokoknál viszont egyre erősebb növekedés figyelhető meg a halálozásban. Ugyanez a folyamat megfigyelhető meg a szív- és érrendszeri betegségek miatti halálozások számának változásában is. [7.33] Az egy-két napig tartó napi 25 °C-os, vagy azt meghaladó középhőmérséklet a napi halálozás 15%-os növekedését és a sürgősségi hívások számának emelkedését eredményezheti. Ha a napi középhőmérséklet legalább 3 egymást követő napon eléri, vagy meghaladja a 27 °C-ot, akkor a napi halálozásban 30%-os emelkedés várható. [7.37]

A felhőzet csökkenése és a nyári hőhullámok gyakorisága miatt az UV-B sugárzás is megnövekedik, amely következtében a bőrrákos megbetegedések is gyakoribbá válnak. 2001-2005-ig az új bőrrákos megbetegedések száma 1.300-ról 1.800 esetre nőtt országunkban.

Az egészségügyi világszervezet (WHO) 2006-ban megállapította, hogy az extrém magas hőmérséklet leginkább a 4 év alatti gyermekekre, a 65 év feletti idősekre, a túlsúlyos emberekre és az ágyban fekvő betegekre jelenti a legnagyobb veszélyt. Azonban a nyári nagy hőhullámok a városi lakosság egészségét is veszélyeztetik kortól és nemtől függetlenül, ugyanis a városok területén a beépítettség miatt hőszigetek alakulnak ki, melyek akár 2-15 °C-kal magasabb hőmérsékletet is eredményezhetnek. Ezen felül a magas nyári hőmérséklet fokozza a városok légszennyezettségét is.

Mivel a tartós kánikula rendkívüli módon megviseli az embereket, így az a tömegrendezvényeken és a nagy forgalmú utakon veszélyes helyzetek kialakulását okozhatja. Az utakon ilyenkor több a baleset és a forgalmi dugó. Az emberek ellátásáról a polgári védelemnek gondoskodnia kell, ezért lényeges az együttműködés az OMSZ-szel, a mentőkkel és a rendőrséggel. Mivel a kánikula nem hirtelen keletkezik, fel lehet készülni az esetleges beavatkozásra. [7.34]

A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiában foglaltak szerint 2025-re országos szinten megnőhet a nyári melegrekordok miatti többlethalálozás (évi 800-2.600 többlethalálozás).

Az egyre melegebb nyarak mellett enyhébb telekre is számíthatunk. A globális felmelegedés miatt hazánkban a vírusok, a baktériumok és a kórokozók populációja lényegesen megnőhet, valamint újak jelenhetnek meg. Számítanunk kell a kullancsok által terjesztett Lyme-kór, a rágcsálók által terjesztett hantavírus-fertőzés, illetve a szúnyogok által terjesztett nyugat-nílusi vírusfertőzéses és maláriás esetek számának növekedésére. Ezen felül az ivóvízzel és az élelmiszerekkel terjedő bakteriális, vírusos és protozoon fertőzések fokozódhatnak (pl.: Salmonellosis), valamint az allergén fák virágzása akár 2 hónappal is hamarabb kezdődhet.

Az extrém meleg hatására jelentkező betegségek az alábbiak:

- Bőrkiütés;
- Kimerültség;
- Ájulás;
- Hőguta. [7.38]

7.5.9 Hőségriadó

I. fokozat (Figyelmeztető jelzés belső használatra)

Amennyiben az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) előrejelző rendszere várhatóan egy-két napig tartó napi 25 °C-os, vagy azt meghaladó középhőmérsékletet valószínűsít, akkor az Országos Környezet-egészségügyi Intézet (OKI) értesíti az Országos Mentőszolgálatot, amely felkészül a várható többletterhelésre. A tapasztalatok szerint ilyenkor ugyanis a napi halálozás körülbelül 15%-os növekedése valószínűsíthető, valamint a sürgősségi hívások száma az átlagos napi 1500-1800 esetről jóval 2000 fölé emelkedhet. Az Országos Mentőszolgálat erre az esetre a már

kialakított Készenléti és Reagálási Tervét kiegészítette a hőségriadó résztervével, amely az I. fokozat elérésétől kezdve készenléti szolgálat bevezetésével növeli a bevethető egységek számát. Az I. fokozatnál az ÁNTSZ részéről nincs teendő. [7.37]

II. fokozat (Készültség jelzés, riasztás a lakosság számára)

A II. fokozat akkor kerül bejelentésre, amikor az Európai Unió által támogatott EuroHeat hőhullám előrejelző rendszertől és az OMSZ-tól kapott adatok alapján az előrejelzés szerinti napi középhőmérséklet várhatóan legalább 3 egymást követő napra eléri, vagy meghaladja a napi 25 °C-ot, vagy legalább egy napra eléri a 27 °C-ot.

Ezek a magas napi átlaghőmérsékletek ugyanis olyan környezet-egészségügyi kockázatot jelentenek, amely indokolja az egészségügyi ellátó rendszer figyelmeztetését és a lakosság hőhullám alatti rendszeres tájékoztatását.

Az OKI a II. fokozatú hőségriasztás kritériumainak megfelelő előrejelzés vételét követően a hőségriasztás elrendelése céljából értesíti az országos tisztifőorvost arról, hogy mikortól és mennyi ideig várható a hőhullám. Az Országos Tisztifőorvosi Hivatal (OTH) a II. fokozat elrendeléséről előzetesen tájékoztatja az Országos Mentőszolgálatot, az Országos Munkavédelmi és Munkaügyi Főfelügyelőséget (OMMF), a Közlekedési Főfelügyeletet és az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóságot annak érdekében, hogy időben fel tudjanak készülni és megtegyék az általuk szakmailag szükségesnek tartott intézkedéseket. Továbbá az OTH az információt e-mailen keresztül 1 órán belül eljuttatja az ÁNTSZ regionális intézeteihez.

Az ÁNTSZ regionális intézeteinek teendői Készültség jelzés esetén:

- A rendkívüli időjárási helyzetről értesítik az egészségügyi fekvőbeteg-ellátó intézeteket. Az ellátók figyelmét felhívják azokra a teendőkre, amelyeket már az előzetesen eljuttatott háttéranyag részletezett.
- Értesítik az önkormányzatokat és felhívják a figyelmet a bölcsődék, óvodák, napközi otthonok, nyári táborok tájékoztatására, valamint a szociális ellátó intézményekben és a házi gondozó szolgálatnál a hőségtervek aktiválására. Továbbá az ivóvíz minőségű víz biztosítására a közterületeken, a közutak, parkok gyakoribb locsolására, az igénybe vehető légkondicionált közintézmények listájának közzétételére, a villamosáram-szolgáltatás zavartalanságának biztosítására és a hajléktalanokra való odafigyelésre.

- A régiós szintű napi sürgősségi mentő igénybevételi és napi halálozási adatok alapján folyamatosan értékelik a helyzetet, szükség esetén pedig módosítják a meghozott intézkedéseket.
- Előzetesen kidolgozott anyagokban tájékoztatják a lakosságot a veszélyekről és a megelőzés lehetőségeiről, valamint sor kerül a „zöld” telefonvonalak aktiválására.
- A hőségriasztásra vonatkozó információt továbbítják a kistérségi intézeteknek.

A kistérségi intézetek értesítik a háziorvosi szolgálatokat a rendkívüli időjárási helyzetről és felhívják a figyelmet a veszélyeztetett lakosságcsoportok fokozott figyelemmel kísérésére, a sürgősségi gyógyszerkészletek feltöltésére. Valamint felhívják a háziorvosokat a lakosság tanácsokkal és információval való ellátására. A lakosság informálása az elektronikus és az írott médián keresztül történik elsősorban. [7.37]

III. fokozat (Riadó jelzés)

Riadó jelzésre akkor kerül sor, ha a napi középhőmérséklet várhatóan legalább 3 egymást követő napon eléri, vagy meghaladja a 27 °C-ot. Ezekben az időszakokban a statisztikák szerint körülbelül 30 %-os emelkedés várható a napi halálozásban. A riasztás rendje a II. fokozatban ismertetett módon történik.

Az egészségügyi ellátórendszer már a II. fok esetén minden elvégezhető óvintézkedést és kárenyhítési intézkedést elvégez, ezért a III. fokozatban már csak azok fokozott és huzamos idejű alkalmazásával kell számolniuk.

Mivel a III. fokozatban a középhőmérsékleti „felső plafon” nincs meghatározva, így annak súlyossága igen változó mértékű lehet, káros hatásai messze túlmutathatnak az egészségügyi hatásokon. Megszaporodhat a tüzesetek száma, továbbá nagymértékben károsodhatnak, illetve működési zavarokkal számolhatnak az elektromos ellátó rendszerek, a vízellátás, a közlekedés és más, az infrastruktúrához tartozó elemek.

Az infrastruktúra működésében keletkező zavarok az egészségügyi intézkedések végrehajtását is akadályozhatják (egyes kórházak áramellátási zavara, teljes kiesése). Ebből kifolyólag a III. fok esetén a fő hangsúlyt az infrastruktúra biztonságos működtetésére kell fordítani, ami jóval túlmutat az egészségügy feladat- és hatáskörén. A helyzet sajátossága, hogy míg a rendkívüli időjárási helyzet által okozott veszély-

illetve katasztrófahelyzetekben a Védekezési Munkabizottság a közlekedésért felelős minisztérium bázisán alakul meg, addig hőség esetén az egészségügyért felelős minisztérium működteti a helyzet kezeléséért felelős védekezési munkabizottságot.

A rendkívül súlyos, a lakosságot vagy az infrastruktúrát érintő helyzet kialakulása esetén elsődlegesen az egészségügyi tárca kezdeményezi a KKB összehívását, vagy a KKB Operatív Törzsének, illetve Védekezési Munkabizottságának aktivizálását a kormányzat számára történő intézkedési javaslatok kidolgozása és a védekezési feladatok koordinálása céljából.

A hőségi III. fokozata gyakorlatilag megfelelhet a 179/1999. (XII. 10.) Kormányrendelet szerinti rendkívüli időjárási helyzetnek és a veszélyhelyzeti szintű hóhullámnak. [7.37]

III. fokú hőségi riasztásra először 2007. július 15-24 között került sor, melyet június 19-23 között megelőzött egy másodfokú riasztás. Hazánkban ez volt a legmelegebb időszak, amit addig regisztrált az OMSZ. Az országos tisztifőorvos a hőségi hullám egészségügyi hatásainak monitorozása érdekében elrendelte, hogy az ÁNTSZ Közép-magyarországi Regionális Intézete a régióban gyűjtse a halálesetek számát a kórházaktól és a házi orvosoktól. [7.39]

7.5.10 A hőség természetére gyakorolt hatása

A nyári időszakban a növényi kártevők rendkívüli mértékben elszaporodhatnak, melynek következtében csökkenhet a mezőgazdasági növényzet mennyisége. Abban az esetben, ha az extrém meleg a téli hónapokban következik be, akkor a növényi kártevők nem pusztulnak el, hanem sikeresen áttelelnek és tavasztól tömegesen elszaporodhatnak. Irtásukhoz pedig egyre agresszívabb szereket kell alkalmazni, amely a növény károsodásához vezethet, esetleg a vegyi anyag elraktározódhat a növényben. Ezen felül az extrém magas hőmérséklet fokozza az aszály pusztító hatásait is. [7.33]

7.5.11 A hőség hatása a kritikus infrastruktúrára

A hosszan tartó extrém magas hőmérséklet akadályozhatja a személy- és áruszállítást, ugyanis a magas hőmérséklet következtében a vasúti sínek eldeformálódhatnak, valamint a felszíni vízforrásaink (folyók, tavak, víztározók) szintje lecsökkenhet, amely a hajózást nehezítheti meg, vagy teszi lehetetlenné.

A légkondicionáló berendezések tömeges használata során, a nagymennyiségű villamos-energia felhasználás következtében áramkimaradás is előfordulhat (a kórházakban is). Sérülhetnek a telekommunikációs és információs rendszerek, melyek sérülése akár kormány szintű intézkedések megtételét is igényelhetik, ugyanis napjainkra a számítógépek a közigazgatás elengedhetetlen kellékei és az informatikai rendszerek összeomlása következtében fellépő adatvesztés a társadalomra is negatívan hathat vissza. [7.33]

Az ipart érintően, minden veszélyes anyaggal, technológiával történő tevékenység esetén az extrém külső hőmérséklet fokozott kockázatot jelent, ugyanis növeli a biztonsági berendezések meghibásodásának lehetőségét. Ezen felül a nagy meleg miatt a kezelőszemélyzet figyelme, fizikai és pszichikai leterhelhetősége csökken. A kárfelszámolás során a beavatkozó szervezetek állománya is kevésbé terhelhető. A nagy hőség miatt csökken a védőeszközökben való tevékenység időtartama és nő a hibás döntések valószínűsége. [7.34]

Az extrém hőmérséklet az élelmiszerellátást közvetetten veszélyeztetheti. Egyrészt a nagy melegben a növényi kártevők tömegesen elszaporodhatnak, másrészt pedig az aszály hatásait súlyosbítja.

A jövőben a globális klímaváltozás hatásai miatt országunk számára jelentős problémát jelenthet a tiszta ivóvízhez való hozzáférés is. A növekvő hőmérséklet pedig a vízfogyasztás és a vízhasználat növekedését eredményezi (pl.: lakossági, mezőgazdasági, ipari stb.), amely a jövőbeni kockázatokra való tekintettel a vízhasználat korlátozását eredményezheti.

7.5.12 Extrém alacsony hőmérséklet emberi egészséget veszélyeztető hatásai

„ A test úgy reagál a hidegre, hogy összehúzódnak az erek a bőrben és a testfelszín közelében. Így a szívnek jóval erősebben kell dolgoznia, hogy a vért mozgásban tartsa a keskenyebb erekben. Ez egy beteg szív számára már túl sok lehet. Ha a légnyomás jelentős mértékben leesik, akkor a levegő kitágul az elszigetelt testüregekben és a membránok folyadékaiban.

Ez nyomást gyakorol a gyulladt vagy sérült szövetekre az ízületekben és az izmokban, ami fájdalom-növekedéssel járhat. Az időjárásra való érzékenység fájdalmat okozhat, tekintve, hogy a különféle időjárási elemek gyors váltakozása irritálja az idegvégződéseket, valamint a csontok és az izmok különböző sűrűsége és hőmérséklet-

és nedvességváltás következtében az izmok összehúzódása fájdalmat okoz a gyulladt vagy sérült ízületekben és izmokban” [7.33]

Az extrém alacsony hőmérséklet okozta megbetegedéseknek és halálozásoknak napjainkig nem tulajdonítottak akkora jelentőséget, mint a nyári meleg miatt bekövetkezett haláleseteknek, ugyanis a téli időszak betegségei – többek közt a tüdőgyulladás és az influenza – társadalmunkban régóta jelen vannak és megszokottnak mondhatók. Ezek a betegségek tehát nem a globális klímaváltozás velejáráói, azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy a *National Center for Health Statistics* 1978-ban készült felmérése alapján az extrém hideg következtében bekövetkezett halálesetek száma 15 %-kal nagyobb volt, mint a nyári forróságban bekövetkezetteké.

A klimatológiai kutatások szerint hazánkban enyhébb telek fognak következni, azonban az extrém hideg előfordulására is számítani kell. [7.33]

Az influenza, a tüdőgyulladás és a kihűlés kockázatának leginkább kitett veszélycsoportok:

- Idős emberek;
- Hajléktalanok;
- Alkoholisták;
- Gyógyszer hatása alatt lévők;
- Újszülöttek. [7.33]

7.5.13 Az extrém hideg természetre gyakorolt hatása

Katasztrófavédelmi szempontból nem elhanyagolhatók az extrém hidegnek a mezőgazdasági növényekre és a talajra gyakorolt hatásai. A fagykárok következtében jelentősen csökkenhet a gabonamennyiség, amely az élelmiszerellátásban okozhat hiányt. Ennek következtében megemelkedhetnek a gabonából készült termékek árai és ez társadalmi elégedetlenséghez vezethet, amely szélsőséges esetekben veszélyeztetheti a közbiztonságot, és azon keresztül a Kormány működését.

Az extrém, tartós alacsony hőmérséklet a vadállományra nézve is veszélyt jelent, ugyanis a nehéz ételhez jutás miatt számos példány elpusztulhat, melynek következtében felborulhat az ökológiai egyensúlyt. Az éhező állatok táplálékszerzés céljából bemerészkedhetnek a településekre. A bemerészkedő állatok betegséget hordozhatnak, ezáltal megfertőzhetik a háziállatokat (madárinfluenza), esetleg az

embereket (veszettség). A háziállatok betegségei nagy kiterjedésű területeken okozhatnak problémát. [7.33]

7.5.14 Az extrém hideg hatása a kritikus infrastruktúrára

Az extrém alacsony hőmérséklet miatt a légvezetékek lefagyhatnak, letörhetnek, melynek következtében sérülhet a telekommunikáció, egyes esetekben életeket követelve. Ezen felül a vízvezeték-hálózatok szétfagyhatnak, a földgázszolgáltatás akadózhat, és az áramszolgáltatás megszűnhet. A vízvezeték-hálózatok szétfagyása miatt csőtörés alakulhat ki, ebből kifolyólag a háztartásokban meleg- és ivóvízhiány következhet be. A melegvízhiány a földgázszolgáltatás és az áramszolgáltatás hiányának esetén is bekövetkezhet, valamint a fűtés is megszűnhet.

A rendkívüli hideg a közlekedést is megnehezítheti, esetenként lehetetlenné teheti. A vasúti sínek váltói lefagyhatnak, ezzel késéseket okozva. Az utak kátyúsodnak, a jeges utak pedig valós veszélyt jelentenek, közlekedési káoszt okozhatnak. A jeges utak, és az általuk kiváltott közlekedési káosz a veszélyhelyzet kezelés szerveit is negatívan érinthetik, ugyanis annyira megnőhet a kiérkezés időtartama, hogy az akár emberéleteket is követelhet.

A veszélyes ipari technológiáknál a tartós hideg következtében a szelepek és a tolózárak elfagyhatnak, amely a technológiai folyamatától függően pl. klórgáz- vagy ammóniaszivárgáshoz is vezethet. [7.33]

7.6 Az OMSZ veszélyjelző tevékenysége

A Földön előforduló természeti katasztrófák többsége meteorológiai eredetű, ezért a klímaváltozással járó szélsőséges időjárási események számának növekedése miatt egyre inkább felértékelődik a meteorológiai előrejelzések, veszélyjelzések, riasztások szerepe. Ennek következtében a meteorológia felelőssége egyre inkább nő. [7.40]

7.6.1 Jogszabályi háttér

277/2005. (XII. 20.) Kormányrendelet az Országos Meteorológiai Szolgálatról

A rendelet 2. § (1) f). kimondja, hogy az OMSZ-nek állami feladatként hivatalból és haladéktalanul meteorológiai alapadatokat kell átadnia, illetve az

alapadatok alapján számításokat, elemzéseket, meteorológiai előrejelzéseket kell készítenie a lakosság és az intézkedésre feljogosított szervek részére, így különösen:

„ - fa) az élet-, egészség- és vagyonvédelmi;

- fb) a katasztrófavédelmi;

- fc) a mezőgazdaságot, a vízgazdálkodást, a vízkárelhárítást érintő intézkedések meghozatalához a szélsőséges meteorológiai jelenség, folyamat okozta veszélyhelyzet, környezeti katasztrófa, illetve az ipari, nukleáris baleset megelőzése, elhárítása, bekövetkezésük esetén azok megszüntetése, felszámolása érdekében.” [7.41]

1005/2006. (I. 20.) Kormányhatározat a lokális, nagy csapadékok okozta veszélyhelyzetekkel kapcsolatos előrejelzési és riasztási rendszerről

A Kormányhatározat kötelezte az OMSZ-t egy korai riasztó rendszer felállítására és üzemeltetésére.

7.6.2 A veszélyjelző rendszer működése

Célja: *Kritikus időjárási helyzetekben, illetve azokat megelőzően hiteles információforrás biztosítása a lakosság és a média számára.*

A jelenlegi regionális riasztórendszer túlbiztosítással működik, melynek oka, hogy a heves zivatarok mérete jóval kisebb, mint a régiók nagysága. Ebből kifolyólag akkor is riasztani kell az adott régió egészét, amennyiben a veszélyes jelenség annak csak egy kis részét érinti. A kistérségekre lebontott riasztási rendszer kifejlesztése és üzembe helyezése 2011. augusztus 01-től működik. [7.40]

Előzetes figyelmeztetés és riasztás

Az OMSZ előzetes figyelmeztetést és riasztást az alábbi időjárási elemekre ad ki:

- Heves zivatar;
- Felhőszakadás;
- Széllökés;
- Ónos eső;
- Hófúvás.

A felsorolt időjárási elemek esetében a veszélyjelzés 2 lépcsőben valósul meg:

1. Az első lépcsőben készül egy, az adott és a következő napra szóló, szöveges és térképes formában is megjelenő előzetes figyelmeztetés, amelyben a

legvalószínűbb veszélyes időjárási események várt térbeli és időbeli alakulásának leírása szerepel.

2. Amikor az időjárási feltételek adottak az előzetes figyelmeztetésben jelzett veszélyes időjárási események előfordulásához, akkor annak bekövetkezése előtt általában 0,5-3 órával az OMSZ kiadja a veszélyes időjárási eseményekre figyelmet felhívó, térképes formában megjelenő riasztást.

Az előzetesen figyelmeztetett, riasztott terület nagysága általában változó, de rendszerint a legkisebb terület, amelyre a veszélyjelzés vonatkozik, korábban egy átlagos megye felének felelt meg. [7.42] A fejlesztéseket követően 2011. augusztus 1-től az új veszélyjelzési rendszerben a riasztások az eddigi regionális felbontás helyett a 174 közigazgatási kistérségre lebontva kerülnek kiadásra, a figyelmeztetések pedig megyei szinten készülnek. Az új veszélyjelzési rendszerben pontosabban behatárolhatóak azok a területek, amelyek térségében az időjárási feltételek kedvezőek lehetnek egy veszélyes időjárási esemény kialakulásához.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg. A projekt költségvetése 181.772.000 Ft, amelyből 168.139.100 Ft a támogatott összeg, 13.632.900 Ft-ot az OMSZ saját költségvetéséből fedezett. A költségek 96%-át a számítástechnikai beruházások tették ki.²⁶

7.6.3 A lokális, nagy csapadékok okozta veszélyhelyzetekkel kapcsolatos előrejelzési és riasztási rendszer

A 2006. február 1-től érvényes riasztási rend alapján az OMSZ-nek a riasztásokat az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóságnak (OKF) kell elküldenie e-mailen. Amennyiben az e-mail nem működik, akkor a riasztást faxon és telefonon is megteheti. A riasztást az OKF továbbadja a megyei katasztrófavédelmi igazgatóságoknak, a helyi polgári védelemnek és az önkormányzatoknak. Vízkár veszélye esetén az OKF-nek az Országos Műszaki Irányítótörzsét is értesítenie kell, ami aztán riasztja a regionális vízügyi igazgatóságokat, melyek a riasztást tovább adják az önkormányzatoknak. Továbbá a riasztásról tájékoztatást kapnak:

²⁶ <http://www.energiakozpont.hu/keop/hirek/110801-elindult-az-omsz-kistersegi-szintu-idojarasi-veszelyjelzo-rendszere>, letöltés 2012. április 30

- A Honvédelmi Minisztérium;
- A VITUKI Kft.;²⁷
- A megyei védelmi bizottságok;
- A tűzoltóságok;
- A rendőrség;
- A vízgazdálkodási társulatok. [7.43]

Nagy mennyiségű esőre, hóra vonatkozó figyelmeztetések

Amennyiben a tartós, nagymennyiségű eső, illetve hó előfordulásának lehetősége legalább egy átlagos megyének megfelelő területen várható, abban az esetben ezekre a területekre az OMSZ figyelmeztetést ad ki. Azonban ezekhez a figyelmeztetésekhez riasztás nem tartozik. [7.40]

Speciális figyelmeztetések

Az OMSZ speciális figyelmeztetést ad ki az alábbi eseményekre, amennyiben az esemény legalább egy átlagos megye területének megfelelő területen várhatóan jellemző lesz:

- Rendkívüli hideg;
- Hőhullám;
- Tartós, sűrű köd;
- Talajmenti fagy (április 1. – október 31.).

A speciális figyelmeztetésekhez nem tartozik riasztás. [7.40] A hőhullámmal kapcsolatosan azonban az OMSZ előrejelzései alapján az országos tisztifőorvos az ÁNTSZ intézetei részére hőségriasztást rendelhet el.

7.6.4 A veszélyességi szintek

A figyelmeztetések és a riasztások során 3 veszélyességi szintet különböztetünk meg:

Első szint (sárga)

²⁷ Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Nonprofit Közhasznú Kft.

Az ebbe a kategóriába sorolt időjárás események nem szokatlanok, de potenciális veszélyt jelenthetnek. Emiatt tanácsos elővigyázatosnak, óvatosnak lenni, főként az időjárás hatásoknak jobban kitett tevékenységek során.

Második szint (narancs)

Veszélyt hordozó időjárás jelenség, amely káreseményekhez vezethet, vagy akár személyi sérülést, balesetet is okozhat.

Harmadik szint (piros)

Veszélyes, komoly károkat okozó, sok esetben emberi életet is fenyegető időjárás jelenségek, amelyek rendszerint kiterjedt területeket érintenek. A veszélyjelzés e legmagasabb szintjére már csak a meglehetősen ritkán előforduló események kerülnek.

7.7 Tömegrendezvények és az időjárás veszélyeztető tényezők

A nyári időszakban a szabadtéri rendezvények napjainkban nagyon népszerűek, egyre több ember látogatja őket, melyeken nagy tömeg gyűlhet össze. Ezeknek a rendezvényeknek nagy veszélye, hogy valamilyen életet veszélyeztető szituáció megjelenése esetén pánik alakulhat ki, melynek következtében tömeges, fejvesztett menekülés veheti kezdetét. A menekülés során gyakran halálos kimenetelű balesetek is bekövetkeznek, mert a tömeg embereket nyom össze, vagy tipor el. A tömegpánik kialakulását rendkívüli időjárás viszonyok, akár egy vihar is előidézhetheti, mint ahogy az történt Budapesten 2006. 08. 20-án a tűzijáték alatt. [7.44]

7.7.1 A pánik kialakulása

Életet veszélyeztető tényező megjelenése esetén, a tömegrendezvényeken a pánik kialakulása szinte elkerülhetetlen. Ilyenkor az emberi agy a veszély elkerülése érdekében automatikusan próbál védekezni: hirtelen megnő az idegrendszer alapizgalmi szintje és az agy blokkolja a gondolkodást. A legtöbb ember ebben a helyzetben nem tudja racionálisan felmérni a helyzetet, csak az ösztönök működnek: pánik van, tehát menekülni kell. Hasonlóan az állatokhoz. Az állatvilágban ugyanis az éli túl, aki gondolkodás nélkül azonnal reagál, vagyis ugyanazt csinálja, mint a többiek.

Amikor a tömeg felismeri, hogy életveszélyes helyzet alakult ki, mindenki meggyorsítja a lépteit. A gyors haladás érdekében lökdösődés alakul ki és a haladás

koordinátlanná válik. A kijáratoknál tömörülések keletkeznek és az összepréselődött emberek tömege hatalmas erőt fejt ki. Az egyén ilyenkor úgy méri fel a helyzetet, hogy a többi ember akadályozója az ő menekülésének, ezért az együttműködés helyett a versenyt választja reakcióként és a tét saját életének mentése. A sérült, földre zuhanó emberek további akadályokat képeznek, ezért átgázolnak rajtuk, mivel az emberek hajlanak egymás utánzására. A megvadult vak tömeg gyakran észre sem veszi, hogy van másik kijárat, amelyen könnyen elmenekülhetnének. [7.44]

7.7.2 A rendezvények biztosítása

A tömegrendezvényekre biztonsági terveket kell készíteni. A BM OKF készített egy útmutatót a tömegrendezvények biztosítási tervének összeállításának követelményeiről, amely jó alapul szolgál a rendezvények biztonsági terveinek összeállításához és a hatósági követelmények megfogalmazásához is.

Tömegrendezvényt többféle szervezet (önkormányzatok, egyesületek, cégek) szervez és valósít meg, azonban a biztonság garantálása mindig a szervező feladata. Ezért neki kell gondoskodni:

- a biztonsági és helyszíni közlekedési terv,
- az egészségügyi terv,
- a tömegközlekedési terv,
- a programterv elkészítéséről, a lebonyolítás pontos időbeli ütemezéséről;
- A hatósági engedélyek beszerzéséről, valamint
- A jogszabályi, a hatósági és a szakmai előírások betartásáról. [7.45]

A rendezvény lebonyolításával kapcsolatban az alábbi veszélyforrásokkal kell számolni:

- A gyalogos és a gépjármű közlekedés ellehetetlenülése;
- Kedvezőtlen tömeghatások (pánik);
- Lehetséges terror fenyegetettség;
- Alkalmi bűnözők;
- A rendezvény végén forgalmi dugók;
- A vendégszámhoz képest kis létszámú egészségügyi és rendvédelmi erők és eszközök;
- Vízparti rendezvényeknél a szokásosnál nagyobb számú fürdőző létszám és vízijármű forgalom, esetlegesen sötétedés után is;

- Az azonnali beavatkozások időbeli elhúzódása, késése;
- *Váratlan időjárási anomáliák;*
- Rémhírek;
- Több kedvezőtlen hatás esetén katasztrófaveszély kialakulásának lehetősége;
- Balesetek, rosszulletek, tüzek.

A rendezvénybiztosítás célja:

Bármely feltételezett esetben a lehető leggyorsabban beavatkozni képes centrálisan felügyelt és vezetett rendszer kialakítása és működtetése, szorosan együttműködve a szervezett helyi egészségügyi és rendvédelmi erőkkel, hivatásos és társadalmi szervezetekkel, önkormányzati intézményekkel.[7.46]

A rendezvény biztosításában résztvevők

A rendezvények biztosításában résztvevők körét és feladataikat teljes terjedelmében nem részletezzük. Azonban lényeges megemlíteni, hogy a rendezvények biztonsági kockázatával megfelelő arányban a rendezvény biztosításában részt vesznek a rendőrség, a mentők és a tűzoltóság erői is (saját tervük van a rendezvényre). Ezen felül a biztosítási terv ajánlás (útmutató) elkészítésével a megyei katasztrófavédelmi igazgatóságok, amellyel a rendezvényre vonatkozó összes tervet szinkronba kell hozni. Továbbá a meteorológiai előrejelzéssel és riasztással kapcsolatosan az Országos Meteorológiai Szolgálat és a megyei katasztrófavédelmi igazgatóságok. [7.46]

7.7.3 A 2006. évi augusztus 20-i halálos vihar

2006. augusztus 20-án 21 órakor, az ünnepi tűzijáték kezdetén egy szupercellás zivatarrendszer²⁸ érte el Budapestet. A jégesővel és zivatarral érkező vihar szeleinek sebessége elérte a 123 km/h-t, melynek következtében a tűzijátékot néző 1-1,5 millió ember pánikba esett és menekülni kezdett. A pillanatok alatt kialakuló káoszban 5-en meghaltak és több mint 300-an megsebesültek. [7.46]

A riasztás

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) az embereket előre figyelmeztette arra, hogy a tűzijáték idejére vihar várható. Piros fokozatú riasztást adott

²⁸ Orkánerejű szeleket generáló alacsonynyomású góccal tarkított frontzóna [21]

ki a kelet- és nyugat-dunántúli, valamint a közép-magyarországi régióra²⁹ (Budapestre és környékére). A riasztás nagy mennyiségű csapadékot és 90 km/órás sebességet meghaladó orkánerejű szeleket jósolt.

Az 1005/2006. (I. 20.) Kormányhatározat alapján – amely a lokális, nagy csapadékok okozta veszélyhelyzetekkel kapcsolatos előrejelzési és riasztási rendszerről szól – az OMSZ a riasztást a kormányzat zárt rendszerében, a Marathonon küldte el a BM OKF-nek³⁰. Ezen felül az OMSZ a riasztást a honlapján is közzétette, továbbá a BM OKF részére a Marathonon kívül faxon és e-mailben is megküldte, de válasz egyikre sem érkezett, pedig a rendszer működött. Mivel nem kaptak hibaüzenetet, nem gondolták, hogy más módon is figyelmeztetni kellene. A BM OKF ügyeletes nem olvasta el a riasztást. A BM OKF pedig az egyetlen olyan szerv, amelynek operatív kapcsolata van az OMSZ-szel.

„A 2006. február 1-től érvényes riasztási rend alapján a riasztás fő iránya az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, azaz az OMSZ a riasztást az OKF-nek küldi el, az előírások szerint e-mailen. Ha az email nem működik, faxon és telefonon is lehet riasztani. A riasztást az OKF adja tovább a megyei – illetve az augusztus 20-i vihar esetén a budapesti – katasztrófavédelmi igazgatóságoknak, a helyi Polgári Védelemnek és az önkormányzatoknak. A riasztási rendszert vízkár esetére dolgozták ki, az OMSZ riasztásai egyrészt nagy mennyiségű csapadékról, másrészt viharos szélről szóltak. A vízkár veszélye esetén az OKF-nek az Országos Műszaki Irányítótörzset (OMIT) is értesítenie kell, ami aztán riasztja a regionális vízügyi igazgatóságokat, amik továbbadják a riasztást az önkormányzatoknak.”[21]³¹

Végül a tűzijáték kezdete előtt egy órával a BRFK-t a balatoni vízirendészet értesítette, hogy a Balatonon óriási vihar söpört végig. Nem sokkal később pedig Székesfehérvárról futott be jelentés (ott le is fűjték a tűzijátékot) a viharról, hogy Budapest felé tart. A rendőrségnek annyi ideje maradt, hogy figyelmeztesse az állományát, a tűzijátékot szervező Nexus Kft-t és a mentőszolgálatot. A Nexus Kft a vihar megérkezésekor néhány percre leállította ugyan a tűzijátékot, de aztán tovább

²⁹ Az OMSZ-nek régiókra kell kiadni a riasztást

³⁰ 2006-ban ÖTM OKF

³¹ p. 74.

folytatódott a rakéták kilövése, mivel a technikus szerint veszélyesebb lett volna az elázott pirotechnikai anyagot hatástalanítani és szállítani, mint a viharban kilőni.

A vihar első perceiben a mentő-kárelhárító szervek rendszerei összeomlottak, a város fényeit pedig a tűzijáték miatt lekapcsolták. Az emberek a sötétben, a tetőkről lehulló cserepek és kitört üvegek záporában próbáltak menekülni. A közvilágítást 15 perccel a vihar kitörése után a rendőrség kérésére a BDK Kft³² visszakapcsolta. Eddigre azonban a viharrendszer nagyjából már át is vonult Budapest felett. A végeredmény: több mint 300 sebesült és 5 halott. [7.43,7.46]

Megállapítások

Rendőrség

A rendőrség a rá vonatkozó jogszabályoknak és intézkedéseknek megfelelően vett részt a tűzijáték előkészítésében és engedélyezésében. Felkészült az esetlegesen előforduló rendkívüli események megelőzésére és elhárítására, de a rendkívüli időjárási helyzettel nem számoltak. Mivel a rendőrségnek volt biztosítási terve a tűzijátéokra és azt alkalmazták is, részben ezért nem következett be nagyobb katasztrófa, vagyis ezért nem taposták az emberek agyon egymást.

A Rendőrség Szolgálati Szabályzatáról szóló 3/1995. (III. 1.) BM rendelet 23. § (1) bekezdése szerint *„katasztrófa ... színhelyén a rendőr a csapaterő megérkezéséig intézkedik a közbiztonság és az adott helyzetben megteremthető rend fenntartása, illetőleg ennek a helyreállítására, a helyszínre érkező különböző mentőegységek zavartalan munkájának biztosítására. Közreműködik a forgalom lezárásában, illetve elterelésében, továbbá az élet- és vagyonmentésben.”* A Szabályzat a már bekövetkezett katasztrófáról szól, az annak megelőzéséhez szükséges intézkedésekről nem tesz említést. Mivel a rendőrség röviddel a tűzijáték kezdete előtt értesült róla, hogy hatalmas vihar közeledik, már nem lett volna ideje felosztatni a tömeget. Azonban felróható a rendőrségnek, hogy a vihar előtt kapott információkat és az ezeken alapuló óvintézkedési javaslataikat a rendezvény leállítására jogosult szervekhez továbbítani

³² Budapesti Dísz- és Közvilágítási Kft.

kellett volna. Először a miniszteri ügyeletre, majd azon keresztül a MEH³³ ügyeletére a 24/1999. BM utasítás³⁴ (BK 15.) alapján. [30]

Országos Meteorológiai Szolgálat

Az OMSZ a riasztási adatokat időben és pontosan küldte el, valamint a saját honlapján is közölte. Ennek ellenére a riasztást kiadó meteorológust felfüggesztették állásából, mivel a riasztások fogadásáról nem győződött meg. [21]

Katasztrófavédelem

Az Állami Számvevőszék a katasztrófavédelemben részt vevő különböző szervezetek együttműködésének hiányosságaira vonatkozó megállapításokat tett. Súlyos hiányosságként szerepel az, hogy a BM OKF Főügyelete csak többórás késéssel észlelte az OMSZ-tól érkezett riasztást. Továbbá hiányosságként említi a lakosság nem elégséges felkészítését a különböző katasztrófavédelempontokra.

Országos Mentőszolgálat

A mentők a rendezvénybiztosítási feladataikat a mentésről szóló 5/2006. (II. 7.) EüM rendelet alapján látták el. A rendezvényt 12 mentőegységgel (3 db rohamkocsi, 7 db esetkocsi és 2 db Tömeges Baleseti Egység) biztosították.

Amikor a rendőrségtől néhány perccel a vihar megérkezése előtt megkapták az értesítést, akkor annak már nem volt jelentősége, mivel maximális készenlétben álltak már a rendezvény kezdetekor. Az augusztus 20-i minden évben az egyik legkülönlegesebb tömegrendezvény a mentőszolgálat szempontjából, ugyanis egy tömegbaleset felszámolását csak megfelelő felkészültséggel lehet végrehajtani. Ezt a felkészülést úgy oldják (oldották) meg, hogy a tömeg megfelelő pontjain elhelyeznek 10-12 kocsit számítva arra, hogy bármikor történhet valami rendkívüli esemény. Ennek köszönhetően a tömegben állomásoztatott mentőegységek olyan helyekre is oda tudtak időben érni, amelyek kívülről megközelíthetetlenek lettek volna a tömeg miatt. A rendőrséghez hasonlóan a mentőszolgálatnak is volt terve, és az abban foglaltakat hajtották végre, melyben benne volt a mentőkocsikkal való rádióforgalmazás sajátos

³³ Magyar Energia Hivatal

³⁴ BM utasítás a Belügyminisztérium, a minisztériumi szervezetek és a belügyminiszter irányítása alá tartozó önálló szervezetek ügyeleti rendszeréről, a rendkívüli események jelentési kötelezettségének rendjéről

rendszere, a kórházak értesítése és a betegellátás osztályozási rendszere. A katasztrófát követően a tömegben állomásozó 12 kocsi 40 riasztott kocsival egészült még ki. [21]

A vihar kitörését követően az Országos Mentőszolgálat és a Fővárosi Tűzoltóság helyszínen tartózkodó, majd a riasztásra kivonuló egységei azonnal megkezdték a sérültek ellátását és kórházba szállítását, illetve az akadályok, veszélyeztető tárgyak eltávolítását. [30]

A mentőszolgálat gyors és hatékony beavatkozása következtében a kórházakba szállítottak közül senki nem halt meg. A sérültek ellátásában 14 budapesti intézmény orvosai, nővérei, szakdolgozói, kórházvezetői vettek részt. Összesen 70 embert kellett kórházban bent tartani, 300-320 sérültet pedig ambulánsan ellátni. A mentőszolgálat jól végezte a dolgát, sehol nem hibázott. [21]

A felelősök

Számos törvény rögzíti azt, hogy mi alapján kellett volna 2006. augusztus 20-án eljárni. Az első a gyülekezési törvény, amely részletes szabályokat állapít meg a szervezők és a megrendelők felelősségére vonatkozólag egy ekkora tömegrendezvényre. A második a katasztrófavédelmi törvény, amely rögzíti, hogy katasztrófa helyzetben (és annak megelőzésében) mi a felelőssége a BM OKF-nek és a védelmi bizottságnak. Mivel az Országos Meteorológiai Szolgálat már a késő délutáni, kora esti órákban pontos jelzéseket adott, így valószínűleg a katasztrófavédelemben felelős döntéseket hozók információval rendelkeztek arról, hogy vihar közeledik és a törvény értelmében döntéseket kellett volna hozniuk, így tehát hibáztak.

A harmadik a polgári célú pirotechnikai tevékenységek felügyeletéről szóló 155/2003. Kormányrendelet módosításáról szóló 245/2005. (XI. 8.) Kormányrendelet, melynek 7. szakasza, illetve az 5. mellékletének 41. szakasza arról rendelkezik, hogy különleges helyzetben az előkészített tűzijátékkal mit kell tenni. Erős szélben, széliránytól függetlenül a pirotechnikai termékek felhasználását el kell halasztani. Amennyiben elkezdtek a tűzijátékot, akkor azt a felelős pirotechnikusnak le kell állítani, ha lehetséges. A jogszabály a 7. szakaszban úgy rendelkezik, hogy az életet, a testi épséget, az egészséget és a vagyonbiztonságot sértő vagy veszélyeztető pirotechnikai tevékenység megkezdését, illetve folytatását a rendőrség megtilthatja. Ez nem történt meg.

A kormányzati felelősök nem csak a katasztrófavédelemtől, vagy a szervezőktől szerezhettek volna tudomást a katasztrófáról, ugyanis a Miniszterelnöki Hivatalban működik egy éjjel-nappal aktív monitoring csoport, melynek feladata, hogy a különleges eseményekről telefonon vagy SMS-ben tájékoztassák őket. Vagyis a kormányzati figyelők is hibáztak.

A rendezvény lebonyolítására kötött szerződésből kimaradt, hogy pánik, terrorista cselekmény és meteorológiai katasztrófa bekövetkezte esetén ki és milyen intézkedéseket jogosult tenni.

A tragédiát követő vizsgálat során kiderült, hogy a hatóságok között nincs megfelelő, élő, operatív kapcsolat. Hibázott a katasztrófavédelem és a polgári védelem is. Továbbá a rendszer nem mentes a szervezeti, információáramlási, tájékoztatási, vezetési és szabályozási hibáktól, hiányosságoktól. Ezen felül az ombudsman közölte, hogy a megrendelőnek bármikor joga lett volna vis maiorra hivatkozva kártérítési kötelezettség nélkül lefűjni a rendezvényt. Annak ellenére, hogy sokan tudtak az érkező viharról és többen is leállíthatták volna a tűzijátékot, a kormányzati vizsgálat legvégül 3 felelőst talált:

- Az OKF ügyeletesét;
- A riasztást kiadó, de annak fogadásáról meg nem győződő meteorológust;
- A MEH rendezvényért felelős osztályvezetőjét.

7.8 Hatás a környezetbiztonságra

7.8.1 A környezetbiztonság értelmezése

A környezetbiztonság körébe szokás érteni a környezetvédeltséget, a környezeti ártalmak általános fokát, a katasztrófa-, vízrajzi, meteorológia-, közegészségügyi- és járványügyi helyzetet, illetve a védekező mechanizmusok, prevenciós rendszerek meglétét és állapotát. A környezetbiztonság egyrészt a környezeti elemek biztonságos használatát, másrészt azokkal való célszerű gazdálkodást jelenti. A környezetbiztonság és az ökológiai biztonság bizonyos fokig egymást átfedő fogalmak, bár a környezetbiztonság értelmezése szélesebb körű, mert olyan elemei is vannak, amelyek nem tartoznak az ökológiai biztonság fogalmába (pl. élelmiszerbiztonság). [7.1]

A környezetbiztonság, mint komplex fogalom tartalmazza a környezeti elemek szennyezésektől való védelmét, foglalkozik a környezeti elemek és erőforrások

gazdaságos használatával, továbbá az ezek következményeiként felmerülő számos gazdasági és politikai kérdéssel is, így tehát a környezetbiztonság részeként tekinthetők az alábbiak:

- A környezeti elemek biztonsága. Ez azt jelenti, hogy az alapvető környezeti elemek, levegő, víz, talaj mennyire biztonságosan használhatók, mennyire szennyezettek. Környezeti elemként ide értendő az élővilág is, a fajok biztonságát, a biodiverzitás fenntarthatóságát érintő kérdésekkel. A szennyezések továbbá ebben az esetben széleskörűen értendők, a klasszikus szennyező anyagokon kívül, hő, elektromágneses sugárzás, radioaktív sugárzás, stb. is beleértendő.
- A környezeti elemek elérhetősége és használhatósága. Ez azt vizsgálja, hogy a környezethez tartozó elemek elegendő mennyiségben állnak-e rendelkezésünkre. A környezeti elemek itt a föld (termőföld), levegő, víz, így ez jelenti a nyersanyag, az energia, az élelmiszer biztonságát. Az erőforrások esetleges szűkössége, azok egyenlőtlen eloszlása a Földön, továbbá a szabad elérhetőségük korlátozottsága mind veszélyeztetik a biztonságot. Energiahordozók (szén, kőolaj, földgáz, uránérc) birtoklásáért már számos háború indult a múltban is, ami világosan mutatja, hogy a környezeti biztonság sérülése gazdasági, politikai, katonai feszültségekhez, konfliktusokhoz vezethet, tehát a környezetbiztonság közvetlenül összefügg többek között a gazdasági, politikai, katonai továbbá a nemzeti, regionális és nemzetközi biztonsággal.

Az emberiség számára az egyik legnagyobb horderejű kihívást a környezetvédelemmel és a civilizációs fenyegetésekkel járó, határon átívelő problémák jelentik. Természeti erőforrásaink, a természeti területek és természeti értékek valamint a környezeti egyensúly megóvása növekvő terhet ró a társadalmakra. Olyan, többnyire a klímaváltozással közvetlen összefüggésbe hozható globális problémák, mint az esőerdők pusztulása, az ózonréteg károsodása, az üvegházhatású gázok kibocsátása, a levegő, a víz és a talaj szennyezettségének növekedése Földünk egészére nézve veszélyt jelentenek. A klímaváltozás környezeti hatásaiként egyre hevesebben jelentkező természeti (és civilizációs) katasztrófák különösen súlyosan érintik a térség szűkös erőforrásokkal és fejletlen gazdasági rendszerrel rendelkező országait. Magyarországra földrajzi adottságainál fogva fokozottan hatnak a Kárpát-medence szomszédos országaiban keletkező környezeti és civilizációs ártalmak, az árvizek, a víz- és

levegőszennyezés, valamint az esetleges katasztrófák. A környezeti veszélyforrások közvetve hatással vannak a lakosság egészségi állapotára, valamint hozzájárulnak veszélyes járványok és fertőzések kialakulásához és terjedéséhez.

Környezetünk élő és élettelen, természetes és mesterséges (ember által létrehozott) alkotóelemeket tartalmaz. A környezet legfontosabb elemeit az alábbiak szerint csoportosíthatjuk (természetesen további tagolásra vagy összevonásra is van mód):

- A **FÖLD** melynek részei: alapkőzet, ásványvagyon, barlangok, termőföld, talaj, domborzat.
- A **VÍZ**, a felszín alatti vizek, felszíni vizek.
- A **LEVEGŐ**, az alsó légkör (troposzféra), felső légkör.
- Az **ÉLŐVILÁG**, a növényvilág (erdők, gyepek, nádasok, mezőgazdasági növények), az állatvilág (vadon élő védett és nem védett állatok, háziállatok), mikroorganizmusok.
- A **TÁJ**, védett természetes táj, nem védett kultúrtáj.
- A **TELEPÜLÉSI KÖRNYEZET**, lakóterületek, ipartelepek, mezőgazdasági települések, közlekedési útvonalak.

A környezet alkotóelemei egymással szorosan összefüggnek, közöttük kölcsönhatás érvényesül, ezért az egyes elemeket károsító ártalmak a környezet egészére kihatnak, végső soron az embert károsítják. A környezetvédelem részei a:

- Környezetgazdálkodás;
- Természetvédelem;
- Tájvédelem;
- Környezet egészségügy;
- Települési környezet védelme.

7.8.2 Ökológiai biztonság

Az ökológiai biztonság elsősorban a környezetbiztonság első elemét jelenti. Ide sorolható minden olyan fenyegetettség, amely közvetve vagy közvetlenül kihat az állat- és növényvilág bármely fájának életminőségére, befolyásolhatja a fajok életterét és korlátozhatja azok megélhetését, elterjedését, megjelenését vagy eltűnését oly módon, ami nem magyarázható az evolúciós folyamatokkal. Ezt leggyakrabban a biológiai sokféleség (biodiverzitás) vizsgálatával valamint térben és időben történő nyomon

követésével lehet ellenőrizni. Célszerű még megvizsgálni a környezet érzékenységének fogalmát. A környezeti érzékenység azt jelenti, hogy külső hatásokra a különböző természeti, ökológiai, fizikai vagy társadalmi rendszerek eltérően reagálnak annak függvényében, hogy mennyire érzékenyek vagy közömbösek e hatásokra. Veszélyes, károkkal járó folyamatok esetében a rendszerek sebezhetőségéről van szó.

Magyarországon a biodiverzitást számos emberi tényező veszélyezteti. A nagyméretű beruházások környezet-átalakító hatása (pl. autópálya építés), a veszélyes anyagok antropogén kibocsátása a környezetbe (ipari, mezőgazdasági illetve lakossági forrásokból egyaránt) továbbá a természeti értékek, erőforrások nem fenntartható módú felhasználása (erdőirtás) sokrétű ökológiai kockázatot jelentenek. Tanulmányunkat tekintve elsősorban ezen jelenségek és a klímaváltozás együttes hatásainak az elemzése tűnik fontosnak, hiszen számos veszélyeztetett állat- és növényfaj ért el tűrőképességének határára, ami azt jelenti, hogy bármilyen újabb negatív környezeti hatás végzetesen érintheti őket:

Flóra:	több mint 3 ezer faj	veszélyeztetettségi fok: 20 %
Fauna:	kb. 43 ezer faj (ebből 569 gerinces)	
	Gerincesek	veszélyeztetettség
	81 hal	32 %
	16 kétéltű	100 %
	16 hüllő	100 %
	373 madár	20 %
	83 emlős	70 %

7.3. táblázat: A hazai növény- és állatvilág veszélyeztetettsége

7.8.3 Fenntartható környezetbiztonság, környezetgazdálkodás és környezetpolitika

A fenntartható fejlődés a fejlődés olyan formája, amely a jelen igényeinek kielégítése mellett nem fosztja meg a jövő generációit saját szükségleteik kielégítésének lehetőségétől (ENSZ, Közös jövőnk jelentés, 1987). A fenntarthatóság értelmezése a biztonság szempontjából tehát legalább két fogalom elemzését igényli. Ez a fenntartható fejlődés és a fenntartható gazdasági fejlődés fogalmai. A fenntartható gazdasági fejlődés a gazdaság folyamatos ütemű fejlődését jelenti. A lényeges különbség tehát, hogy a

fenntartható fejlődés középpontjában a szükségletek kielégítése, a szociális jólét fejlesztése áll a természeti erőforrások védelme mellett. Ezzel szemben a fenntartható gazdasági fejlődés magába foglalja azt az ismert lehetőséget, hogy a gazdaság látványosan növekszik, a szociális olló nyílik, a leszakadó rétegek egyre esélytelenebbé válnak, a természeti környezet romlik, sőt sok esetben pusztul.

A fogalom tágabb értelmezés szerint jelenti a fenntartható gazdasági, ökológiai és társadalmi fejlődést is, de szokás használni szűkebb jelentésben is, a környezeti értelemben (értsd időben folyamatos optimális erőforrás használat és környezeti menedzsment) vett fenntartható fejlődésre korlátozva a fogalom tartalmát.

Ez utóbbi, szűkebb értelmezés szerint a fenntartható fejlődés érdekében fenn kell tartani a természeti erőforrások által nyújtott szolgáltatásokat és meg kell őrizni a minőségüket.

A természeti erőforrásoknak a fenntartható fejlődés szempontjából három csoportját szokás megkülönböztetni:

- Megújuló természeti erőforrások /víz, biomassza stb./;
- Nem megújulók /ásványok/;
- Részben megújulóak (talajtermékenység, hulladék-asszimiláló kapacitás).

A fenntartható fejlődés követelményei a következőkben összegezhetőek:

- A megújuló természeti erőforrások felhasználásának mértéke kisebb vagy megegyező legyen a természetes vagy irányított regenerálódó (megújuló) képességük mértékével;
- A hulladék keletkezésének mértéke/üteme kisebb vagy megegyező legyen a környezet szennyezés befogadó képességének mértékével, amit a környezet asszimilációs kapacitása határoz meg;
- A kimerülő erőforrások ésszerű felhasználási üteme, amit részben a kimerülő erőforrásoknak a megújulókkal való helyettesíthetősége, részben a technológiai haladás határoz meg.

A környezetbiztonság a biztonsághoz hasonlóan újra értelmezett fogalom. Az Európai Közösség által elfogadott definíció: *„A környezeti biztonság az Európai Közösség azon képességét jelenti, hogy a környezeti erőforrások szükségése és a környezeti károsodás elkerülésével képes fejlődését biztosítani.”* Ehhez a Közösségnek

szabadon hozzá kell férnie a nyersanyagforrásokhoz, létre kell jönnie a globális klíma-ellenőrzési rendszernek.

Az alábbi tényezők fenyegetik az Európai Közösség és a NATO környezetbiztonságát, úgyis, mint a külső források elérését veszélyeztető tényezők:

- A határokon kialakuló forrás szűkösségből illetve környezeti károsodásból eredő konfliktusok;
- A környező területek környezeti károsodásából eredő fenyegetések;
- A globális környezeti változások hatása.

Az egyes tényezők hatásainak értékelésére kockázat becslési kritériumokat kell használni, a fontosság, földrajzi távolság valamint az idő paraméter figyelembe vételével.

A külső erőforrások elérésének biztonsága

Európa és különösen Magyarország erősen függ más régiókban található természeti erőforrások elérhetőségétől. Az energia szektor a leglényegesebb összetevő ebből a szempontból. Az EU jelenlegi energia szükségletének felét importálja és ez az arány 2020-ig a 3/4-ére nő. Az olajszükséglet jelentős része az Arab Öbölből származik. A jelenlegi kereskedelmi szabályozók nem adnak garanciát a nyersanyagok szabad hozzáférhetőségére.

A gazdaság növekvő mértékben válik globálissá, így egy ország környezetbiztonsága csak úgy érhető el, ha az illető ország részt vesz más régiók környezet biztonságának kialakításában. Például a fejlődő országok versenytársként lépnek fel az erőforrások felhasználásban, és a környezet-terhelésben.

A határokon kialakuló forrás-szűkösségből illetve környezeti károsodásból eredő konfliktusok

A nagyméretű környezeti károsodás potenciális egészségkárosító forrás Európa jelentős részén. Problematikus területek a volt Szovjetunió, Közép- és Kelet-Európa országai, a Földközi tenger medencéje.

Az ivóvíz hiány az egyik kritikus probléma a biztonság szempontjából. Az előrejelzések szerint 2020-ra az országok 2/3-ánál jelentkezik az ivóvíz hiány. Az EU tagországok közül Belgium már most is ivóvíz importőr. A világ számos térségében verseny folyik az ivóvízért, elsősorban ott, ahol a vízforrás természetes határt alkot két ország között. (pl. a Duna).

A talaj eróziója és lepusztulása csökkenti a termőterületet és a talaj termőképességét. Az így az élelmiszer szükséglet megtermelésére alkalmatlanná vált területről az ott lakók elvándorolnak és ez a folyamat menekült hullámot vált ki.

A környező területek környezet-károsodása által okozott fizikai fenyegetések

A nagymértékű környezeti károk eredhetnek veszélyes vegyi anyagoktól, radioaktív anyagoktól, üzemanyag származékoktól, stb. Az egyik legjelentősebb veszélyforrást a nem megfelelő biztonságú nukleáris erőművek jelentik, de ebbe a körbe sorolható a nukleáris fegyverek megsemmisítése is.

A globális környezeti változások hatásai

Az emberi tevékenység befolyásolja a Föld klimatikai viszonyait, valamint az emberi életfeltételeket (tengerszint emelkedés, légköri melegedés, szárazság övezetek kialakulása, új betegség formák fellépése, stb.).

Az 1997 decemberében Kyotóban tartott Klíma-változási Konferencián a fejlett országok ígéretet tettek arra, hogy az 1990-es szintről 2008-2012-ig 5,2%-kal csökkentik üvegház hatású gázaik kibocsátását. A fejlett ipari országok erőfeszítéseit gyakorlatilag semmissé tették a fejlődő országok növekvő kibocsátásai. (Jelentős szerepet játszik ebben Kína.)

A környezetbiztonsági kihívások kezelése

A környezetkárosító hatások elemzését követően a különböző hatásokra más és más válaszok születtek. Hagyományos gazdasági módszer a költség-haszon elemzés és optimalás. Ez a módszer használható a klasszikus környezetvédelmi problémák kezelésekor, de nem megfelelő a környezetbiztonság kezelésére. Az Európai Közösség álláspontja: *„Változtatni kell a fogyasztási szerkezeten a forrás-felhasználás aránytalanságának kiküszöbölésére.”* A környezetbiztonság globális megközelítése szükséges. A környezetbiztonság megóvása érdekében megelőző intézkedések szükségesek. Ezek:

- Kereskedelem politika (Liberalizált kereskedelem, amely biztosítja a szabad forrás elérést.);
- Fejlesztési segítség (Szerepet játszik a fogyasztási szerkezet átalakításában.);
- Kutatás-fejlesztési együttműködés;
- Nemzetközi szervezetek, egyezmények (WEO);
- Regionális kooperáció;

➤ Korai figyelmeztetés.

A környezetgazdálkodás a gazdasági tevékenységek olyan megtervezését, megszervezését és végrehajtását jelenti, amelynek során a gazdálkodók észszerűen, környezetkímélő módon, távlatokban gondolkodva gazdálkodnak a természeti erőforrásokkal, ennek érdekében környezetkímélő technológiákat alkalmaznak, tevékenységük során törekszenek arra, hogy ne pusztítsanak el élőlényeket, ne károsítsanak élő rendszereket és élettelen természeti értékeket, és ne károsodjon az emberek egészsége sem.

Környezetgazdálkodás alatt a természetes és az ember alkotta környezet hosszútávra szóló, szabályozott hasznosítását értjük, tudatos, tervszerű fejlesztését és hatékony védelmét az ökológiai rendszerek stabilitásának tartós megőrzésével és a társadalom igényeinek figyelembevételével. Olyan gazdálkodási folyamat, amelyben az erőforrások felhasználása, a technika fejlesztése, a beruházások irányítása és az intézményi rendszer egymással összhangban fejlődik, s mindez lehetővé teszi az emberi szükségletek kielégítésének hosszú távú biztosítását.

A környezetgazdálkodás olyan sokrétű ismeretet feltételez, hogy szükségessé vált egy multidiszciplináris alkalmazott tudomány, a környezettudomány kifejlesztése, amely a környezetgazdálkodás speciális kérdéseivel foglalkozó tudományos ismereteket összegzi. A környezetgazdálkodással szorosan összefügg a környezetpolitika.

A környezetpolitika az állami környezetgazdálkodási stratégiát jelenti, amely a hatalom gyakorlásának eszköze, a termelés, a fogyasztás, az életszínvonal és a környezetről való gondoskodás összhangba hozása. Hosszú távú környezetgazdálkodási koncepcióra épül, annak rendező elve szerint kialakított intézkedés és eszközrendszer, amely a gazdaság és a társadalom minden területére kiterjedően gondoskodik a környezetvédelmi követelmények érvényre juttatásáról és az ennek érdekében szükséges technikai és jogi szabályok megalkotásáról és megtartásáról.

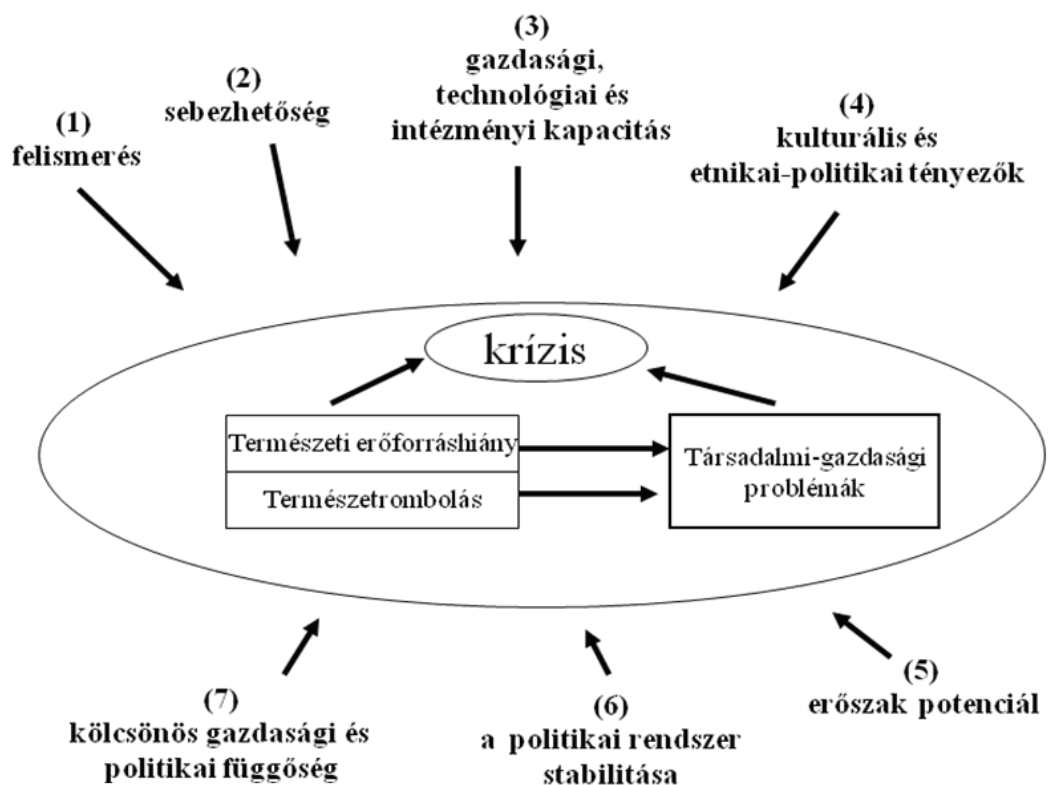
A környezetpolitika aktuális és távlati célkitűzéseket foglal magában, ugyanakkor helyi, regionális és nemzetközi érvényű is lehet.

A környezettervező munkában a környezeti rendszerek sajátosságaihoz, terhelhetőségéhez kell alkalmazkodni (környezettervezés). A korábbi gazdálkodás során degradálódott környezet állapotát javítani kell (környezetfejlesztés). Ugyancsak kiemelkedő szerepe van a környezetgazdálkodásban a környezetkímélő

(hulladékszegény) technológiák kidolgozásának és alkalmazásának a környezetkímélő hulladékgazdálkodás a környezetgazdálkodás részét képezi. A környezetvédelem szorosan összefügg az ökológiával.

A környezeti konfliktusok jellemzői

- Döntő szerepük lehet konfliktus helyzetek kialakulásában
 - a negatív környezeti változásoknak;
 - és a természeti erőforrások növekvő hiányának;
- Kezdetben nehezen látható a változások okozta instabilitás;
- A hatásuk szociális és gazdasági problémákkal ötvöződik, ami bonyolulttá teszi a helyzetet;
- Általában fejlődő, vagy átalakulóban lévő társadalmak, régiók esetében vezet fegyveres konfliktushoz;
- A környezetvédelmi politika fontos a konfliktusok elkerülése érdekében.



7.12. ábra: A környezeti konfliktusok okai

A biztonság fokozása és valamennyi veszélyforrásra való felkészülés – melynek legfontosabb eleme a megelőzés – megköveteli a társadalom, a nemzetközi közösség összehangolt reagálását a veszélyhelyzetek elhárítására.

7.9 Magyarország környezetbiztonsága

Magyarországon a legjelentősebb területi környezetbiztonsági kockázatot az ár- és belvíz-veszélyeztetettség jelenti. 1.259 település, az ország lakosságának 55 %-a van eltérő mértékben árvíz- és belvízveszélynek kitéve. 700 településünk több mint 2 milliós népességének lakóhelye nagy folyóink mértékadó árvízszintje alatt fekszik, ahol rendszeres és nagymértékű kockázatnak vannak kitéve az ott élők. Magyarországon a folyók és egyéb vízfolyások mentén elhelyezkedő árterület nagysága 35.000 km². A megművelt földek 30%-a, a vasutak 32%-a, a közutak 15%-a is ártéren helyezkedik el. A kistérségek közül nemcsak a nagyobb folyóink árvízi öblözeteiben fekvők vannak jelentős veszélyben, de a dombsági és hegységi területeken lévő kisvízfolyásokkal rendelkező térségek is, ahol a nagy intenzitású csapadékesemények váratlan elöntéseket okozhatnak. Az egyáltalán nem veszélyeztetett térségek összefüggően csupán a jó vízgazdálkodású talajtípusokkal bíró és egyben az alföldi tájból némileg kiemelkedő löszös síkságú térségekben, így a Hajdúságban és a Bácskai-löszháton találhatók.

Elsősorban a számottevő nehézipari potenciállal és nagyvárosi központtal rendelkező térségek környezetében nagy a környezetbiztonsági kockázat.

Az ország területének negyede olyan mély fekvésű sík terület, ahonnan a felesleges vizet el kell vezetni, mert természetes úton nem folyik el. A szántóterületek 10-15%-át hosszú idősorok átlaga alapján minden évben 2-4 hónapig belvíz borítja.

A nukleáris biztonság magas fokú megteremtése az ország egészére vonatkozóan feladatot jelent, területileg azonban a Paksi Atomerőmű környezetében lévő 73 településen, ezen kívül pedig a Budapesten és Veszprémben működő kis teljesítményű kísérleti kutatóreaktorok környezetében van magasabb biztonsági fokozat a nukleáris kockázat miatt.

A nukleáris környezetbiztonság főbb elemei:

- A nukleáris környezet-ellenőrzés;
- A potenciális források emissziójának ellenőrzése és csökkentése;

- Nukleárisbaleset-elhárítás;
- Non-prolifерációs törekvések;
- Harc a nukleáris terrorizmussal.

A különféle veszélyes anyagokkal, technológiákkal foglalkozó üzemek tevékenysége potenciális környezeti veszélyforrásként értékelhető. A különböző veszélyességi jellemzőkkel rendelkező nyersanyagok, valamint a keletkező hulladékok tárolása, szállítása is környezeti veszélyhelyzet kialakulásának lehetőségét rejti magában. Az esetlegesen bekövetkező havária helyzetek esetén az emberi élet és egészség veszélyeztetésén túl felmerül a levegő, a talaj, a vizek és az élővilág szennyeződésének, károsodásának veszélye is. Ilyen esetekben az intézkedési-beavatkozási kötelezettség az önkormányzatokat csak közvetetten, illetve korlátozottan (pl. szmog helyzet esetén) terheli.

A vonatkozó jogi szabályozás a vészhelyzetek kezelését alapvetően a rendvédelmi szervek (Katasztrófavédelmi Igazgatóság, Tűzoltóság, Polgári Védelem) feladatává teszi. E szervek a szükséges intézkedési tervekkel és a technikai eszközökkel is (túlnyomórészt) rendelkeznek, az esetleges vészhelyzetek esetén a szükséges intézkedések megtétele így biztosítottnak tekinthető. Az egyre változó körülmények, kockázati tényezők között fontos a folyamatos karbantartás, fejlesztés, hogy lehetőség szerint minden adódó vészhelyzet megfelelő kezelése megtörténhessen.

A magyar erdőállomány gyarodásával és a veszélyeztető események előfordulásának növekedésével egyre inkább szükség van az erdők tűzkár elleni védekezésének magas szintű biztosítására. Európai Unió előírások alapján, a Magyar Állami Erdészeti Szolgálat 2002-ben elkészítette a magyar települések és megyék erdőtűz-veszélyeztetettségi besorolását. Az erdőtűzindex kialakításához a faállomány minőségi, mennyiségi adatain kívül éghajlati adatokat, valamint antropogén tényezőket (társadalmi, gazdasági adatokat) is figyelembe vettek. A települési adatok területi súlyozásával készített kistérségi erdőtűzindex térkép alapján a leginkább erdőtűzveszélyes kistérségek a Balaton északi partján, a Velencei-tó körzetében, a Vértesben, a Budai-hegységben, Budapesten és a Duna-Tisza-köze déli részén találhatóak. Előbbiek esetében döntően a kiemelt üdülőkörzetekről van szó, itt elég erőteljesek az antropogén kockázati hatások csakúgy, mint a fővárosban. A Duna-Tisza-közén az aszály, az erdőállomány minőségi tényezői a legnagyobb rizikófaktorok. Az

erősen tűzveszélyes csoportba tartozó sopron-fertődi, celldömölki és pécsi kistérségben főleg az erdőállomány összetétele miatt jelentősebb a tűzveszély.

Környezetbiztonsági Akcióprogram

Az Akcióprogram átfogó célja, hogy a keretében kidolgozott intézkedések a környezeti biztonság növelését, a kockázatot okozó veszélyeztetés megelőzését, illetve a bekövetkezett katasztrófák következményeinek hatékony enyhítését biztosító feltételek megteremtését célozzák. A katasztrófák kezelésében elsődleges a megelőzés, az elővigyázatosság és a károkozó felelősségének elve. Az Akcióprogram eredményessége szempontjából alapvetően fontos a társadalmi részvétel. A fentiek alapján az átfogó célok a következők:

- A környezetbiztonság stratégiai szintre emelése;
- A múltban bekövetkezett környezeti károkozások (habáriák) hatásainak elemzése;
- A környezeti katasztrófhelyzetek és veszélyek azonosítása;
- A környezeti kockázatok kezelése;
- Horizontális feladatok a környezetbiztonság területén.

7.10 Irodalomjegyzék

- [7.1] Földi L., Halász L.: Környezetbiztonság, Complex Kiadó, Budapest, 2009.
- [7.2] Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2008-2025.
www.kvvm.hu/cimg/documents/nes080214.pdf 2008. 8. 16.
- [7.3] A globális klímaváltozás hazai hatásai és az arra adandó válaszok. A Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium és a Magyar Tudományos Akadémia kutatási programja, 2003-2006. (VAHAVA=VÁltozásHAtásVÁlaszadás).
http://www.vahava.hu/file/osszefoglalas_2003_2006.pdf 2008. 8. 16.
- [7.4] National Security and the Threat of Climate Change.
<http://securityandclimate.cna.org/> 2008. 08. 16.
- [7.5] Deborah Zabarenko: US Army works to cut its carbon „bootprint”.
<http://www.climateark.org/shared/reader/welcome.aspx?linkid=103748&keybold=climate%20change%20military%20challenge> 2008. 08. 21.
- [7.6] Rác Réka Magdolna: Az Egyesült Királyság Éghajlatváltozási Programjáról.
Hadtudományi Szemle 2008/1.

- <http://hadtudomanyiszemle.zmne.hu/?q=hu/2008/1-evfolyam-1-szam/altalanos/az-egyedul-kiralysag-eghajlatvaltozasi-programjarol> 2008. 8. 21.
- [7.7.] Alex Morales: Climate Change Poses Military Challenge. UK Defense Head Says <http://www.climateark.org/shared/reader/welcome.aspx?linkid=78624> 2008. 08. 21.
- [7.8.] Jeane Manning-Nick Begich: Angels Don't Play this HAARP - Advances in Tesla Technology. <http://www.haarp.net/> 2008. 08. 16.
- [7.9.] A Magyar Köztársaság nemzeti biztonsági stratégiája. 2007/2004. Korm. határozat. http://www.mfa.gov.hu/kum/hu/bal/Kulpolitikank/Biztonsagpolitika/Nemzeti_biztonsagi_strategia.htm 2008. 08. 20.
- [7.10.] Tájékoztató az Országgyűlés Honvédelmi és rendészeti bizottsága, valamint a Külügyi és határontúli magyarok bizottsága részére a Magyar Köztársaság Nemzeti Katonai Stratégiájáról. http://www.hm.gov.hu/files/9/10970/tajekoztato_mk_nks.pdf 2009.
- [7.11] http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=kozigazgatas_kattipus (Letöltve: 2011-01-18.)
- [7.12] http://www.met.hu/eghajlat/Magyarorszag/altalanos_jellemzes/csapadek/ (Letöltve: 2011-01-18.)
- [7.13] Földcsuszamlás Borsodban, tornádó Győrben: <http://estihirek.hu/belfold/20027-foldcsuszamlas-borsodban-tornado-gyorben> (Letöltve 2011-03-13)
- [7.14] Kovács Tamás, Nagy Andrea, Konkolyiné Bihari Zita: Néhány éghajlati jellemző 2010-ben magyarországi és globális viszonylatban: http://www.met.hu/pages/2010_rovid_osszefoglaloja_20110110.php (Letöltve: 2011-03-17)
- [7.15] Árvíz: veszélyhelyzet további négy megyében: <http://szegedma.hu/hir/szeged/2010/06/arviz-veszelyhelyzet-tovabbi-negy-megyeben.html> (Letöltve: 2011-03-17.)

- [7.16] Halász László, Pellérdi Rezső, Földi László: Katasztrófavédelem I., ZMNE egyetemi jegyzet, Budapest, 2009; ISBN: 978-963-7060-73-1; pp. 19-46 és 245-257.
- [7.17] Halász László: Katasztrófa előrejelzés és helyzetértékelés, ZMNE egyetemi jegyzet, Budapest, 2009; ISBN: 978-963; p. 30
- [7.18] <http://www.vkki.hu/index.php?mid=359> (Letöltve: 2011-01-21)
- [7.19] Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia munkaváltozata véleményezésre, 2007.
- [7.20] Elárasztotta a víz Rábagyarmatot a felhőszakadás után: http://www.vasnepe.hu/fooldal/20090629_viz_alatt_rabagyarmat (Letöltve: 2011-03-21.)
- [7.21] A jégeső: <http://www.szupercella.hu/index.php?x=jegeszo> (Letöltve: 2011-03-15.)
- [7.22] Decsi Éva Kincső: Különböző abiotikus stresszhatások vizsgálata kukorica állományban; Veszprémi Egyetem, Doktori (PhD) értekezés, Keszthely, 2005 p. 35-36: http://twilight.vein.hu/phd_dolgozatok/decsievakincso/DecsiDoktori.pdf (Letöltve: 2011-03-21.)
- [7.23] Óriási vihar csapott le Mezőhegyesre: http://hvg.hu/itthon/20100618_mezohegyes_vihar (Letöltve: 2011-03-16.)
- [7.24] Óriási vihar tarolta le Mezőhegyest: <http://www.origo.hu/itthon/20100618-oriasi-vihar-pusztitott-mezohegyesen.html> (Letöltve: 2011-03-16.)
- [7.25] Nem lesz mit aratni Mezőhegyesen: <http://www.origo.hu/itthon/20100619-nem-lesz-mit-aratni-mezohegyesen-karok-a-penteki-vihar.html> (Letöltve: 2011-03-16.)
- [7.26] http://nimbus.elte.hu/hallgatok/graduated/docs/ZomboriGyorgyi_2010.pdf (Letöltve 2011- IV -04.)
- [7.27] <http://www.nefela.hu/index.php?fid=1> (Letöltve 2011 IV 04.)
- [7.28] http://nol.hu/mozaik/debreceni_jegagyu_a_jegveres_ellen (Letöltve 2011 IV 04.)
- [7.29] Bartholy Judit, Weidinger Tamás: Miért és mikor esik ónos eső: <http://www.sulinet.hu/eletestudomany/archiv/1997/9708/onoseso/onoseso.html> (Letöltve: 2011-02-02)
- [7.30] Ónos eső – már a Nyugat-Dunántúlon is piros riasztás érvényes: <http://www.stop.hu/articles/article.php?id=437349> (Letöltve: 2011-03-16.)

- [7.31] Szedi áldozatait az ónos eső:
http://www.fn.hu/baleset_bunugy/20090114/szedi_aldozatait_onos_eso/
(Letöltés: 2011-03-16.)
- [7.32] Békéscsaba megyei jogú város veszélyelhárítási terve; Békéscsaba; 2007.
- [7.33] Bukovics István, Gyenes Zsuzsanna: A globális klímaváltozás várható hatásai katasztrófavédelmi kérdéseinek vizsgálata Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal NKFP6-00079/2005. Jedlik Ányos projekt, kutatási jelentés, 32 oldal, 2006
- [7.34] Zellei Gábor, Hornyacsek Júlia: Lakosságtájékoztatás, felkészítés és kríziskommunikáció a globális klímaváltozás okozta veszélyhelyzetekben; In: Felkészülés a klímaváltozásra: Környezet – Kockázat – Társadalom; Az NKFP6-00079/2005. számú kutatási projekt katasztrófavédelmi tematikájú tanulmányainak összefoglalója; Budapest; 2008; ISBN: 978-963-878637-0-7; p. 81-83.
- [7.35] Orkán erejű szél pusztított a megyében:
<http://www.szabolcsmegye.com/szabolcs-szatmar-bereg-megye/orkan-ereju-szel-pusztitott-a-megyeben> (Letöltve: 2011-03-16.)
- [7.36] A károsult épületek egyharmada biztosított: <http://www.szon.hu/hirek/Szabolcs-Szatmar-Bereg/cikk/a-karosult-epuletek-egyharmada-biztositott/cn/haon-news-FCUWeb-20100616-0441180630> (Letöltve: 2011-03-16.)
- [7.37] Csehi Gábor: A hőség hullámok magyar egészségügyet érintő hatásai: <http://www.biztonsagpolitika.hu/index.php?id=16&aid=904> (Letöltve: 2011-03-15)
- [7.38] Páldy Anna, Kishonti Krisztina, Molnár Kornélia, Vámos Adrienn, Szedresi István, Gramantik Péter, Csaba Károly, Gorove László, Buránszkyne Sallai Márta: Hőségriasztás hazai tapasztalatai: thezeusz.hu/anyagok/Hosegriasztastapasztalatok.doc (Letöltve: 2011-03-15)
- [7.39] Bobvos János: A 2007. évi hőségriasztás tapasztalatai, OKI beszámoló a 2007. évi munkáról: <http://www.oki.antsz.hu/ref/eload/BobvosJanos.pdf> (Letöltve: 2011-03-17.)
- [7.40] Sándor Valéria (OMSZ Repülésmeteorológiai és Veszélyjelző osztály): Az OMSZ veszélyjelző tevékenysége, az időjárás riasztások; A Magyar Honvédség

Katasztrófavédelmi Konferenciája (A katasztrófavédelem aktuális kérdései);
Budapest, 2010 május 4.: http://193.224.76.4/download/katved_konf/OMSZ.pdf
(Letöltve: 2011-03-14)

[7.41] 277/2005. (XII. 20.) Kormányrendelet az Országos Meteorológiai Szolgálatról

[7.42] Országos Meteorológiai Szolgálat veszélyjelző rendszere; Budapest; 2010.
november: http://www.met.hu/riasztas/riasztas_ismerteto.html (Letöltve: 2011-
03-14)

[7.43] Tunyogi Dóra, Török László Katasztrófavédelmi feladatok extrém hevességű
csapadékok esetén.; Bolyai Szemle 2007/1:

[7.44] Tömegrendezvények veszélyei:
<http://lakossag.katasztrofavedelem.hu/?pageid=96&content=1> (Letöltve: 2011-
03-07.)

[7.45] Czomba Péter t. alezredes (OKF Mentésszervezési Főosztály; főosztályvezető
helyettes): Biztonsági Terv tömegrendezvényekhez:
<http://www.vedelem.hu/letoltes/tanulmany/tan272.pdf> (Letöltve: 2011-03-07.)

[7.45] Békés Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság biztosítási terv ajánlása
rendezvényre

[7.46] Csanádi Katalin: Tömegrendezvények helyszíneit veszélyeztető katasztrófák
elemzése c. diplomamunka; ZMNE; Budapest; 2007.

8 Összefoglalás, következtetések

Az előzőekben áttekintettük a klímaváltozás tényeit, vizsgáltuk az okokra adott különféle magyarázatokat, és a klímamodell scenáriókat. Megállapítható, hogy a klíma állandóan változó, jelenleg egy melegedési szakaszban vagyunk. A kiváltó okokról megoszlanak a vélemények. A két legmarkánsabb vélemény közül az első, amelyet az IPCC és a jelentéseiket elfogadó kutatók képviselnek az, hogy a klímaváltozásért az emberi tevékenység okozta növekvő mennyiségű légköri szén-dioxid tartalom a felelős. A másik vélemény szerint az üvegházhatás a légköri vízgőz-tartalom miatt maximált, azaz a szén-dioxid kibocsátás nem növelheti az üvegházhatás mértékét. Bármelyik variációt is fogadjuk el, mindenképpen figyelembe kell venni a klímaváltozás tényét és ennek megfelelő választ kell adni.

A klímaváltozás előző fejezetben tárgyalt hatásaira reagálni kell. A szén-dioxid kibocsátás környezetbiztonsági szempontok szerint mindenképpen mérsékelendő és az energia igények kielégítése miatt is foglalkozni kell az energiahordozók szerkezeti átalakításával. Éppen ezért célszerű mind az oktatásban, mind a kutatásban foglalkozni a témával. Az oktatásban célszerű lenne egy közös BSc és MSc tantárgyat kialakítani „*Klímaváltozás és biztonság*” címmel, amelyben a tanulmányban vázoltak kerülnének oktatásra. A kutatás területén, folytatva az eddigi hagyományokat PhD témákat lehetne meghirdetni az alábbiak szerint:

1. a katonai biztonság területén:

- A klímaváltozás és katonai teljesítőképesség vizsgálata;
- A klímaváltozás és a haditechnikai eszközök működésének vizsgálata, az egyes eszközökkel, eszköz rendszerekkel szemben támasztott új követelmények kialakítása;
- A klímaváltozás csapatok tevékenységére és harceljárásokra gyakorolt hatásának vizsgálata;
- A klímaváltozás katonai infrastruktúrára (a XXI századi hadviselés fényében kiemelten a katonai kritikus informatikai infrastruktúrára) gyakorolt hatásának vizsgálata;
- A klímaváltozás védelem-egészségügyi és járványügyi hatásainak a kutatása.

2. A katasztrófavédelem területén

- A klímaváltozás hatásai és biztonsági kihívásai a fenntartható katasztrófavédelmi szolgáltatásokra. Klímakockázat, konfliktuselemzés, tűrőképesség vizsgálat, szükséges és elégséges reagáló–válaszadó képesség kutatása, tervezése.
- A közigazgatási, termelési és szolgáltató kritikus infrastruktúra védelme a klímaváltozással, különös tekintettel az ezzel összefüggő extrém hatásokkal szemben. Kritikus szektorok, interdependencia, kockázat, veszély, sebezhetőség, elviselhetőség elemzése, ezek indikátorainak kidolgozása, védelmi rendszerek kutatása.
- A vízgazdálkodás, a vízvédelem témakörében a tűzoltásra használt ivóvíz kiváltásának, csökkentésének kutatása. Új műszaki innovatív megoldások, tűzoltó taktikai módszerek, adalékanyagok, kombinált tűzoltási módok vizsgálata, kidolgozása.
- A klímaváltozás várható nemkívánatos, káros hatásait követő helyreállítási, rehabilitációs szakmai, szakstratégiai, szakmapolitikai kérdések vizsgálata, fejlesztési javaslatok kidolgozása.
- Új, korszerű lakosságvédelmi, lakosságfelkészítési és tájékoztatási programok kidolgozása a klímatudatosság, biztonság tudatosság fejlesztése a klímabiztonság, a minőség orientált, problémamegoldó innovatív biztonságsszolgáltatás erősítése, a polgárközeliség, a partnerségi viszony javítása. Intelligens, innovatív kríziskommunikációs módszerek kidolgozása.

3. A környezetbiztonság területén

- A klímaváltozás, mint additív veszélyeztető tényező az ökológiai biztonságra. A magyarországi fajok komplex veszélyeztetettsége a közvetlen antropogén károsító hatások és az éghajlati változások szuperpozíciója által.
- A klímaváltozás hatása a környezeti elemek (levegő, víz, talaj) használatára.

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.ujsechenyiterv.gov.hu
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.