

Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület jelentése*

BEVEZETŐ

Az IPCC 13. ülésén (Maldív-szigetek, 1997. szeptember 22. és 25–28.) elfogadott, illetve későbbi határozatainak megfelelően az alábbi döntéseket hozta:

- Harmadik Értékelő Jelentésbe (*Third Assessment Report – TAR*) egy Szintézis Jelentést illeszt be.

- A Szintézis Jelentés a Harmadik Értékelő Jelentés azon információinak szintézise és integrációja, amelyek a szabályozási környezet szempontjából relevánsak, de nem előíró jellegűek; épít továbbá minden korábban jóváhagyott és elfogadott IPCC-jelentésre, amelyek szabályozási kérdések széles körével foglalkoznak, ugyancsak nem előíró jelleggel.

- A kérdéseket az ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezményéhez (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*) tartozó Részes Felek Konferenciájával (*Conference of the Parties – COP*) egyeztetve fogalmazza meg.

A következő kilenc kérdést a kormányok benyújtott javaslatai alapján az IPCC a 15. ülésén (San José, Costa Rica, 1999. április 15–18.) hagyta jóvá.

* Összefoglaló döntéshozók részére. Az alábbi összefoglaló, amelynek szövegét az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) 18. ülése hagyta jóvá (Egyesült Királyság, Wembley, 2001. szeptember 24–29.), az IPCC hivatalosan elfogadott nyi-

1. kérdés: Az éghajlati rendszerbe való veszélyes emberi beavatkozás (lásd az Éghajlat-változási Keretegyezmény 2. paragrafusát) meghatározását mennyiben segítik a természettudományos, műszaki, illetve társadalmi-gazdasági elemzések?

A természet-, a műszaki és a társadalomtudományok fontos információkat és bizonyítékokat szolgáltatnak annak eldöntéséhez, hogy mi tekintendő „az éghajlati rendszerbe való veszélyes emberi beavatkozásnak”. Ugyanakkor az ilyen döntések társadalmi-politikai folyamatokban születő értékítéletek, amelyek során figyelembe veszik a fejlődés, az igazságosság és a fenntarthatóság szempontjait csakúgy, mint a bizonytalanságokat és a kockázatokat.

Régiónként változik, hogy mi tekintendő „az éghajlati rendszerbe való veszélyes emberi beavatkozásnak”. Nem mindegy ugyanis, hogy milyen az éghajlatváltozás hatásainak helyi természete, hogy milyenek a következményei, s hogy milyen eszközök állnak rendelkezésre az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodáshoz. A kérdés megítélését az is befolyásolja, hogy mennyiben vagyunk képesek mérsékelni a változást, mivel annak mértéke és sebessége egya-

latkozata a Harmadik Értékelő Jelentésnek a Munkacsoportok által készített részeiben szereplő főbb megállapításokra, illetve bizonytalanságokra vonatkozóan.

A fordítás az Éghajlat-változási Kormányközi Testület négykötetes, Harmadik Értékelő Jelentésének (*Third Assessment Report*) negyedik kötete, a Szintézis Jelentés (*Synthesis Report*) alapján készült (IPCC, 2001: *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R. T. and the Core Writing Team (szerk.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.).

Az itt fordításban szereplő rész a Szintézis Jelentés egyik fejezete (*Summary for Policymakers*), amely a teljes Harmadik Értékelő Jelentés kivonatának tekinthető. Fordította Kelen Gábor. Szakmailag ellenőrizte Mika János és Takács-Sánta András. A fordítást az eredetivel egybevetette Kocsis Tamás és Takács-Sánta András.

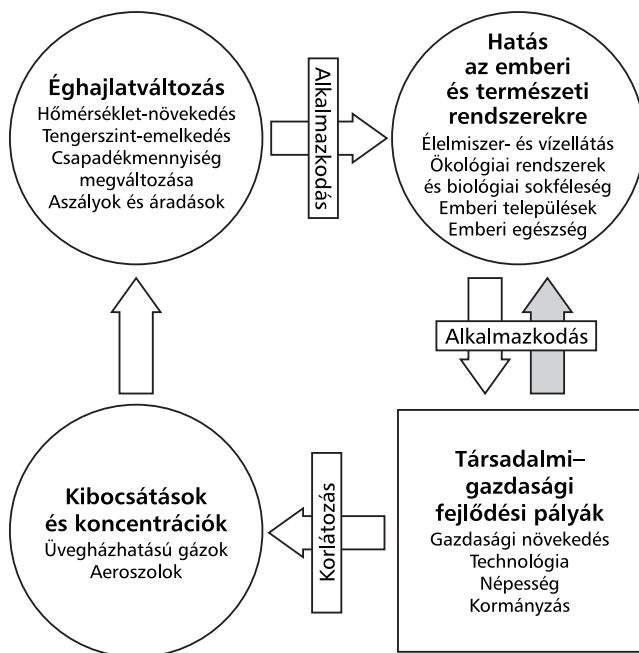
ránt fontos. Nincs olyan általános politikai recept, amely a világon mindenhol a legjobb megoldásra vezetne. Ennél fontosabb, hogy a különféle politikai intézkedések minél több lehetséges jövőbeli helyzetben alkalmazhatók legyenek, illetve hogy minél inkább összeegyeztethetők legyenek a fenntartható fejlődés általánosabb irányelveivel.

A Harmadik Értékelő Jelentés új tudományos információk és bizonyítékok értékelésével szolgál, amelyek segítségével a döntéshozók meghatározhatják, mi számít „az éghajlati rendszerbe való veszélyes emberi beavatkozásnak”. A jelentés egyrészt új előrejelzéseket tartalmaz az üvegházhatású gázok (üvegházgázok) jövőbeni légköri koncentrációjára, a változások globális és regionális mintázatára, a hőmérséklet, a csapadék és a tengerszint változásának ütemére, valamint a szélsőséges éghajlati események változásaira. Számot vet az óceáni vízkörzés és a nagy jéghátságok hirtelen és visszafordíthatatlan változásaival is. Másrészt értékeli az éghajlatváltozás biofizikai és társadalmi-gazdasági hatásait, így az egyedi és veszélyeztetett rendszerekre leselkedő kockázatokat, a szélsőséges időjárási események kockázatait, a hatások eloszlását, a hatások összegződését, valamint a nagy léptékű, súlyos következményekkel járó események kockázatát. Harmadrészt becslést ad arról, hogy a korlátozások révén milyen lehetőségeink vannak különféle légköri üvegházgáz-koncentrációk elérésére; illetve informál arról, hogy az alkalmazkodás miként csökkentheti a sebezhetőséget.

Az éghajlatváltozás integrált megközelítése minden érintett területen figyelembe veszi az egymással összefüggő okok és okozatok teljes körének dinamikáját (lásd az 1. ábrát). A Harmadik Értékelő Jelentés az 1. ábra minden negyedére vonatkozóan új, a politikát befolyásoló információkkal és bizonyítékokkal szolgál. A Kibocsátási Forгатókönyvek Speciális Jelentésében (Special Report on Emissions Scenarios – SRES)¹ fontos újításnak szá-

¹ Az IPCC egy korábbi kiadványáról van szó: Nakicenovic, N. J. és munkatársai. 2000: *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp. – a szerkesztő.

1. ábra. **Az éghajlatváltozás integrált szemlélete.** Az ábra az ember okozta éghajlatváltozás integrált kezelésének sematikus és leegyszerűsített modelljét mutatja. A fehér nyilak az ok-okozati körforgás irányát mutatják a negyedek között, míg a szürke nyíl az éghajlatváltozás hatá-saira adott társadalmi válasz



mított a különféle fejlődési pályák és az ezekhez kapcsolódó üvegházgáz-kibocsátási értékek vizsgálata. A Harmadik Értékelő Jelentés figyelembe vette az előzetes eredményeket az alkalmazkodás, a korlátozás és a fejlődési alternatívák közötti kapcsolatokról, ám hiányos tudásunk miatt nem végezhetette el az éghajlatváltozás teljes körű értékelését.

Az éghajlatváltozással kapcsolatos döntéshozatal alapvetően egy egymást követő lépésekre épülő, bizonytalanságokkal terhelt folyamat. A döntéshozatal során számot kell vetni a bizonytalanságokkal, így az aránytalan (nem lineáris) és/vagy visszafordíthatatlan változások kockázataival; a nem kielégítő, illetve az eltúlzott válaszlépések kockázatával; valamint a (környezeti és gazdasági) következmények gondos mérlegelésével, azok valószínűségével, továbbá a kockázatokkal kapcsolatos társadalmi attitűddel.

Az éghajlatváltozás kérdésköre része a fenntartható fejlődés kihívásának. Emiatt az éghajlat-politika hatékonyabb lehet akkor, ha következetesen beépítik azokba a nagyobb ívű stratégiákba, amelyek a nemzeti és regionális fejlődési pályák fenntarthatóbbá alakítását célozzák. Ennek oka, hogy az éghajlat változékonysága és változása, az éghajlat-politikai válaszlépések, továbbá az ezekhez kapcsolódó társadalmi-gazdasági fejlődés befolyásolja az egyes országok azon képességét, hogy fenntarthatóan fejlődhessenek. Ugyanez fordítva is igaz: a fenntarthatósági célok követése kihat az éghajlat-politika lehetőségeire és sikerére. Főként a különböző fejlődési pályák társadalmi-gazdasági és technológiai jellemzői befolyásolják erősen a kibocsátások mértékét, az éghajlatváltozás ütemét, nagyságrendjét és hatásait, valamint az alkalmazkodás és a korlátozás képességét.

A Harmadik Értékelő Jelentés értékeli azokat az információkat, amelyek rendelkezésre állnak a különféle korlátozási és alkalmazkodási alternatívák ütemezéséről, lehetőségeiről, költségeiről, hasznairól és hatásairól. A jelentés szerint az országok egyénileg, illetve más országokkal együttműködve cselekedhetnek, csökkentendő a korlátozás és az alkalmazkodás költségeit, illetve elősegítendő azt, hogy részesüljenek a fenntartható fejlődés hasznaiból.

2. kérdés: Mi bizonyítja, hogy a földi éghajlat az iparosodás kezdete óta megváltozott, milyen tényezők okozták ezt, s melyek a következményei?

a) Valóban regionális és/vagy globális léptékű változáson ment keresztül a Föld éghajlata az iparosodás kezdete óta? Ha igen, akkor a megfigyelt változások mekkora része tulajdonítható az emberi befolyásnak, és mekkora része vezethető vissza természetes jelenségekre? Milyen alapon magyarázzuk a változásokat egyik vagy másik okkal?

b) Mit tudunk az iparosodás kezdete óta lezajlott éghajlati változások környezeti, társadalmi és gazdasági következményeiről, különös tekintettel az elmúlt ötven évre?

Kimutatható, hogy a Föld éghajlati rendszere globális és regionális szinten is megváltozott az iparosodás kezdete óta, s a változások egy része az emberi tevékenységeknek tulajdonítható.

Az iparosodás kezdete óta az emberi tevékenységek megnövelték az üvegházhatású gázok és az aeroszolak² légköri koncentrációját. A legfontosabb emberi eredetű üvegházhatású gázok (vagyis a szén-dioxid [CO₂], a metán [CH₄], a dinitrogén-oxid [N₂O] és az alacsony légköri [troposzférikus] ózon [O₃]) légköri koncentrációja az 1990-es évekre elérte a valaha mért legmagasabb értéket, elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok égetése, a mezőgazdasági tevékenységek, valamint a földhasználat átalakulása miatt (lásd az 1/a táblázatot). Nagy bizonyossággal állítható, hogy az emberi eredetű üvegházhatású gázokból fakadó sugárzási kényszer pozitív (vagyis e gázok melegítenek); az aeroszolak közvetlen hatása negatív (azaz hűtenek), ám ez kisebb mértékű az üvegházgázok fűtő hatásánál; miközben az aeroszolak közvetve esetleg erős hűtő hatást is kifejthetnek a felhőzet befolyásolása révén, e hatás azonban nehezen számszerűsíthető.

Egyre több megfigyelés utal arra, hogy a világ összességében melegszik, és további változások is zajlanak az éghajlati rendszerben (lásd az 1/b táblázatot).

² A légkörben található, 10⁻⁶–10⁻⁹ méter nagyságú, szilárd vagy folyékony halmazállapotú részecskék – a szerkesztő.

1/a táblázat. XX. századi változások a Föld légkörében, éghajlatában és biofizikai rendszerében*

Indikátor	Megfigyelt változás
Koncentrációk	
A szén-dioxid (CO ₂) légköri koncentrációja	1000 és 1750 között 280 ppm ³ , 2000-ben 368 ppm (31±4%-os növekedés).
A szárazföldi bioszféra és a légkör közötti szén-dioxid-csere	1800 és 2000 között a szárazföldi bioszféra nagyjából 30 Gt szénét bocsátott ki összesen; ugyanakkor az 1990-es években nagyjából nettó 14±7 Gt szénét nyelt el.
A metán (CH ₄) légköri koncentrációja	1000 és 1750 között 700 ppb ⁴ , 2000-ben 1750 ppb (151±25%-os növekedés).
A dinitrogén-oxid (N ₂ O) légköri koncentrációja	1000 és 1750 között 270 ppb, 2000-ben 316 ppb (17±5%-os növekedés).
Az alacsony légköri (troposferikus) ózon (O ₃) koncentrációja	1750 és 2000 között 35±15%-os növekedés, mértéke regionálisan eltérő.
A magas légköri (sztratoszferikus) ózon (O ₃) koncentrációja	1970 és 2000 között csökkent, a földrajzi szélességtől és a tengerszint feletti magasságtól függő mértékben.
A fluorozott szénhidrogének (HFC-k), a perfluorkarbonok (PFC-k) és a kénhexafluorid (SF ₆) légköri koncentrációja	Globálisan nőtt az elmúlt 50 évben.

Igen valószínű, hogy a műszeres mérések kezdete óta eltelt időszakban (1861–2000) a legmelegebb évtized az 1990-es, a legforróbb év pedig az 1998-as volt az egész földgolyóra vonatkoztatva (lásd a **-gal jelzett részt). Az északi félgömbön a földfelszíni hőmérséklet emelkedése alighanem nagyobb volt a XX. szá-

³ ppm: parts per million, azaz egymillió részecskéből a kérdéses anyag részecskéinek száma – a szerkesztő.

⁴ ppb: parts per billion, azaz egymilliárd részecskéből a kérdéses anyag részecskéinek száma – a szerkesztő.

1/b táblázat. XX. századi változások a Föld légkörében, éghajlatában és biofizikai rendszerében*

Indikátor	Megfigyelt változás
Időjárási indikátorok	
Globális földfelszíni átlaghőmérséklet	0,6±0,2 Celsius-fokos növekedés a XX. században; a szárazföldi területek jobban melegedtek, mint az óceánok (<i>nagyon valószínű</i>).
Az északi félgömb földfelszíni hőmérséklete	A XX. században nagyobb növekedés, mint az elmúlt ezer év bármely évszázadában; az évezred legmelegebb évtizede az 1990-es (<i>valószínű</i>).
Napi hőmérsékleti ingás a földfelszínen	1950 és 2000 között csökkent a szárazföldön: az éjszakai minimumok kétszer olyan gyorsan emelkedtek, mint a nappali maximumok (<i>valószínű</i>).
Forró, illetve hőségnapok száma	Növekedett (<i>valószínű</i>).
Hideg/fagyos napok száma	A XX. század során majdnem az összes szárazföldi területen csökkent (<i>nagyon valószínű</i>).
Csapadékmennyiség a szárazföldeken	A XX. század folyamán 5–10 %-kal nőtt az északi féltekén (<i>nagyon valószínű</i>), noha néhány régióban csökkent (például Észak- és Nyugat-Afrikában, illetve a Földközi-tenger egyes részein).
Nagy csapadékhozamú események	Számuk növekedett az északi félgömb közepes és magas szélességein (<i>valószínű</i>).
Aszályok gyakorisága és súlyossága	Megnövekedett a nyári szárazság és ehhez kapcsolhatóan az aszályok előfordulása néhány területen (<i>valószínű</i>). A megfigyelések szerint bizonyos régiókban – például Ázsia és Afrika egyes területein – az aszályok gyakorisága és súlyossága növekedett az elmúlt évtizedekben.

** Megbízhatósági és valószínűségi állítások. Ahol mód volt erre, a Harmadik Értékelő Jelentés szerzői megadták azokat a megbízhatósági szinteket, amelyek közös álláspontjukat tükrözik egy-egy állítás érvényességéről. Az állításokat az általuk vizsgált megfigyelések, modelleredmények és elméletek alapján fogalmazták meg. Az Első Munkacsoport következtetéseit az alábbi kifejezé-

sekkel értékeljük a szövegben: gyakorlatilag biztos (99 % feletti a valószínűsége annak, hogy az eredmény helyes), nagyon valószínű (90–99 % valószínűséggel helyes), valószínű (66–90 % eséllyel helyes), közepesen valószínű (33–66 % eséllyel helyes), valószínűtlen (10–33 % eséllyel helyes), nagyon valószínűtlen (1–10 % eséllyel helyes) és rendkívül valószínűtlen (1 % alatti eséllyel helyes). A jel mögött álló bizonytalansági sávok mindenütt a valószínű sávba eső értéktartományt jelölik. A Második Munkacsoport eredményeire a megbízhatósági becslések: nagyon magas (95 % fölött), magas (67–95%), közepes (33–67%), alacsony (5–33%) és nagyon alacsony (5% alatt). A Harmadik Munkacsoport nem határozott meg megbízhatósági szinteket.

zadban, mint az elmúlt ezer év bármely másik évszázadában (lásd az 1/b táblázatot). A déli félgömbre nem áll rendelkezésünkre elegendő adat az 1860-as éveket megelőző időszakról, így ott a mostani melegeledést nem hasonlíthatjuk össze az elmúlt ezer év váltoásaival. A hőmérséklet nem egyformán változott az egész Földön: különbözőképp alakult az egyes régiókban, illetve az alsó légkör különböző részeiben.

Új, a korábbinál erősebb bizonyítékok utalnak arra, hogy az elmúlt ötven év során megfigyelt melegeedés döntő része az emberi tevékenységeknek tulajdonítható. A változások mérését és a kiváltó okok meghatározását célzó tanulmányok egybehangzóan emberi eredetű hatást mutatnak ki az utóbbi 35–50 év éghajlati adataiban. E tanulmányok számolnak azzal a bizonytalansággal, amely az emberi eredetű szulfát aeroszolok és a természetes tényezők (vulkánok és a Napból érkező sugárzás) mint éghajlati kényszerek miatt jelentkezik, ugyanakkor figyelmen kívül hagyják a többi emberi eredetű aeroszol, továbbá a földhasználat változásainak hatásait. A szulfát és a természetes tényezők hűtő hatásúak voltak a vizsgált időszakban, tehát nem magyarázhatják a felmelegedést; míg e tanulmányok többsége szerint ha csak az üvegházhatású gázok koncentrációnövekedését tekintjük, az már önmagában magyarázhatja az elmúlt ötven év felmelegedésének ütemét és nagyságrendjét, illetve ennek alapján akár nagyobb felmelegedés is indokolt lett volna. Ahogy azt a 2. ábra is mutatja, a modellek akkor illeszkednek a legjobban az elmúlt száznegyven év megfigyeléseihez, amikor az összes fent említett emberi eredetű és természetes tényezővel egyszerre számolunk.

1/c táblázat. XX. századi változások a Föld légkörében, éghajlatában és biofizikai rendszerében*

Indikátor	Megfigyelt változás
Biológiai és fizikai indikátorok	
Globális tengerszintátlag	A XX. században átlagosan évi 1–2 mm-rel növekedett.
Folyók és tavak jégborítottóságának hossza	A XX. században körülbelül kéthetes csökkenés mutatkozik az északi félteke közepes és magas szélességein (nagyon valószínű).
A tengeri jég kiterjedése és vastagsága az Északi-sarkon	A késő nyári és kora őszi jégvastagság 40 %-kal csökkent az elmúlt évtizedekben (valószínű), a jéggel borított terület nagysága tavasszal és nyáron 10–15%-kal csökkent az 1950-es évek óta.
Nem sarki gleccserek	A XX. században széles körben visszahúzódtak.
Hóborítottóság	Az 1960-as évek óta hozzáférhető műholdas adatok szerint 10%-os területi csökkenés mutatkozik (nagyon valószínű).
Állandóan fagyott altalaj	Olvadásnak indult, melegedett és visszahúzódtott a sarkkörü, sarkvidéki és hegyvidéki régiókban.
El Niño-események ⁵	Az előző száz évhez képest gyakoribbá, tartósabbá és erősebbé váltak az elmúlt 20–30 évben.
Vegetációs időszak	Évtizedenként körülbelül 1–4 nappal meghosszabbodott az elmúlt negyven évben az északi féltekén, főként a magasabb szélességeken.
Növények és állatok élettere	A sarkkör felé, illetve a tengerszinttől fölfelé tolódott a növények, rovarok, madarak és halak esetében.
Szaporodás, virágzás és vándorlás	Az északi féltekén a korábbi virágzás, a vándormadarak korábbi megérkezése, a párzási időszak előbbre tolódása, valamint a rovarok korábbi megjelenése jellemző.
Korallzátonyok kifehéredése	Egyre gyakoribb, főként El Niño-események idején.

1/d táblázat. XX. századi változások a Föld légkörében, éghajlatában és biofizikai rendszerében*

Indikátor	Megfigyelt változás
Gazdasági indikátorok	
Időjárás miatti gazdasági veszteségek	Az elmúlt negyven évben az egész világon egy nagyságrenddel megnöttek a gazdasági veszteségek (az inflációtól megtisztítva). A megfigyelt emelkedő tendencia részben társadalmi-gazdasági, részben éghajlati tényezők számlájára írható.

* Az 1/a–1/d táblázat a legfontosabb megfigyelt változásokra hoz példákat, a teljesség igénye nélkül. E változások között némelyek az emberi eredetű éghajlatváltozásnak tulajdoníthatók, másokat a természetes ingadozások, illetve az emberi eredetű éghajlatváltozás egyaránt előidézhetnek. A megbízhatósági szinteket ott tüntetjük föl, ahol a változást vizsgáló munkacsoport egyértelműen megadta ezeket.

A tengerszint, a hóborítottság, a jégtakaró és a csapadék változásai összhangban állnak a Föld felszínének melegedésével. Ezt példázza többek között a víz aktívabb körforgása, amelyet nagyobb csapadékhozamú események, a csapadék térbeli eloszlásának megváltozása, a nem sarki gleccserek általános visszahúzódása, a tengerszint emelkedése, az óceán melegedése, valamint a hótakaró és a tengeri jég kiterjedésének és vastagságának csökkenése kíséri (lásd az 1/c táblázatot). Például nagyon valószínű, hogy a XX. századi felmelegedés jelentősen hozzájárult a tengerszint megfi-

⁵ A kifejezés eredetileg egy olyan dél felé haladó meleg óceáni áramlást jelöl, amely minden évben megjelenik Ecuador és Peru partjai mentén közvetlenül karácsony után. (Innen ered a neve: el niño = kisdéd.) Szabálytalan időközönként, mintegy 2-7 évente ez a meleg áramlás különösen erőssé válik, a parti víz hosszú ideig (akár több mint egy évig) szokatlanul meleg marad. A jelenség nem csupán a partok mentén mutatkozik, hanem a világ számos pontján (különösen a trópusi Csendes-óceán térségében) tapasztalhatók anomáliák ilyenkor: egyes helyeken rengeteg csapadék hullik, és emiatt árvizek keletkeznek; másutt ellenben szárazság és aszály pusztít.

gyelt emelkedéséhez a tengervíz hőtágulása és a szárazföldi jég általánosan tapasztalható csökkenése révén. A jelen bizonytalanságainak figyelembevétele mellett a megfigyelések és a modellek egyaránt összhangban állnak azzal, hogy a XX. században nem gyorsult jelentősen a tengerszint növekedése. Az antarktisi tengeri jég összmennyisége nem változott 1978 és 2000 között. Emellett egymásnak ellentmondó értékelések születtek, illetve kevés adat áll rendelkezésre a közepes szélességeken keletkező trópusi és nem trópusi ciklonok erősségének, illetve a pusztító helyi viharok jellegzetességeinek változásáról. A megfigyelt változások egy része csupán regionális jellegű, más részüket belső éghajlati ingadozás, természetes kényszer, avagy regionális léptékű emberi tevékenység okozhatja; azaz nem tulajdoníthatók kizárólag a globális emberi hatásoknak.

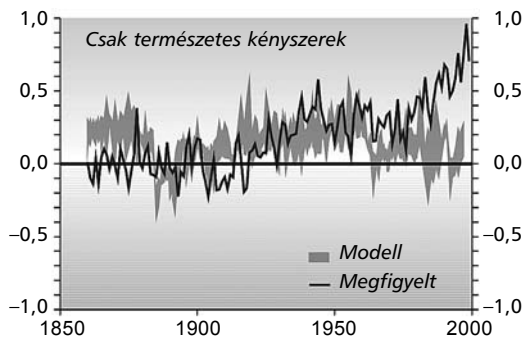
A megfigyelt regionális éghajlati változások hatással vannak számos fizikai és biológiai rendszerre, s mutatnak már jelek arra, hogy a társadalmi és gazdasági rendszereket sem hagyják érintetlenül.

A közelmúlt regionális éghajlati változásai – különösen a hőmérséklet-növekedés – a világ számos pontján hatással vannak már a hidrológiai rendszerekre, illetve a szárazföldi és a tengeri

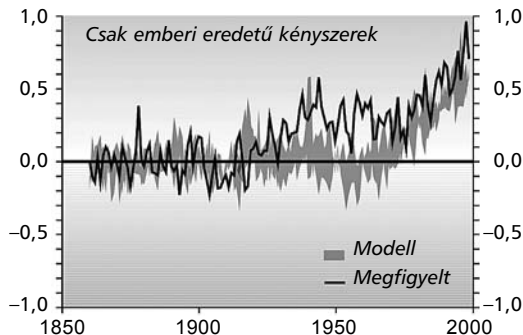
2. ábra. A Föld hőmérséklet-ingadozásának (°C) szimulációja és az eredmények összehasonlítása a valóságban mért értékekkel megvilágíthatja a változások főbb okait. Egy éghajlatmodell segítségével szimulálhatjuk mind a természetes, mind az emberi eredetű hőmérséklet-változásokat. Az a) ábrán jelölt szimuláció kizárólag természetes kényszereket tartalmaz: a napsugárzás ingadozását és a vulkanikus tevékenységet. A b) ábra grafikonja emberi eredetű kényszerek hatását mutatja: üvegházhatású gázokat és a szulfát aeroszolok becsült értékét. A c) ábra grafikonja a természetes és az emberi eredetű kényszereket együtt mutatja. A b) ábrán látható, hogy az emberi eredetű kényszerek figyelembevétele a modellben elfogadhatóan magyarázza az elmúlt évszázadban megfigyelt hőmérséklet-változás jelentős részét, ám a legjobb illeszkedést a megfigyelésekre a c) esetben kapjuk, amikor a természetes és az emberi eredetű tényezőkkel egyaránt számolunk. Az eredmények szerint tehát a számításba vett kényszerek kielégítően magyarázzák a megfigyelt változást, ami persze nem zárja ki azt, hogy más kényszerek is szerepet játszanak

A modellekben kapott és a megfigyelt hőmérséklet-növekedési értékek összehasonlítása 1860-tól

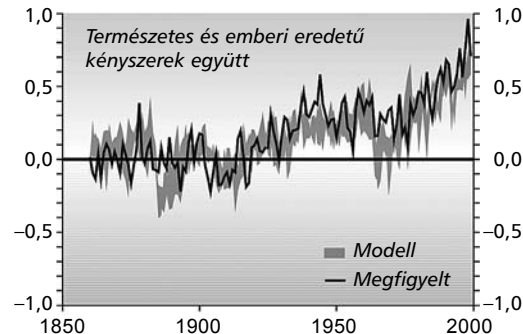
2/a ábra. Hőmérsékleti anomáliák (°C)



2/b ábra. Hőmérsékleti anomáliák (°C)



2/c ábra. Hőmérsékleti anomáliák (°C)



ökológiai rendszerekre (lásd az 1. táblázatot). E rendszerek⁶ megfigyelt változásai koherensek a különféle vidékek és/vagy régiók összehasonlításában, és irányukat tekintve összhangban vannak a regionális hőmérsékleti változások várható hatásaival. Annak valószínűsége, hogy a megfigyelt változások csupán véletlenül esnek egybe a változások várható irányával (nem tekintve azok nagyságrendjét), elhanyagolható.

Az időjárás eseményekből fakadó károk és a regionális éghajlat-ingadozás egyre növekvő társadalmi-gazdasági költségei arra engednek következtetni, hogy egyre sebezhetőbbek vagyunk az éghajlatváltozással szemben. Mutatnak már jelek arra, hogy az áradások és aszályok számának mostanában tapasztalható növekedése érint bizonyos társadalmi és gazdasági rendszereket, az időjárás katasztrófaesemények okozta gazdasági veszteségek növekednek. Mivel azonban e rendszereket olyan társadalmi-gazdasági tényezők is befolyásolják, mint a demográfiai összetétel vagy a földhasználat, nehéz az éghajlatváltozás (legyen az akár természetes, akár emberi eredetű), illetve a társadalmi-gazdasági tényezők viszonylagos hatásainak számszerűsítése.

3. kérdés: Milyen – regionális és globális – éghajlati, környezeti, illetve társadalmi-gazdasági következményei volnának az elkövetkező huszonöt, ötven és száz évben annak, ha a Harmadik Értékelő Jelentés üvegházhatású gázok kibocsátására vonatkozó forgatókönyvei valósulnának meg (amelyek nem feltételeznek éghajlat-politikai beavatkozást)?

A lehetőségekhez mérten értékeljük:

– a légköri koncentrációk, az éghajlat és a tengerszint előre vetített változásait;

⁶ 44 regionális tanulmány több mint négyszáz növény- és állatfajt vizsgált főként Észak-Amerikában, Európában és a Déli-sark vidékén. E vizsgálatok nagyjából húsz-ötven év eseményeit dolgozzák fel. 16 regionális tanulmány, amelyek a világ szinte minden régióját lefedik, körülbelül száz fizikai folyamatot követ nyomon. Az általuk vizsgált időszak nagyjából húsz és százötven év közé tehető.

- az éghajlat és a légköri koncentrációk megváltozásának hatásait, valamint gazdasági költségeit és hasznait, amelyek olyan területeken jelentkeznek, mint az emberi egészség, az ökológiai rendszerek diverzitása (sokszínűsége) és produktivitása, valamint a társadalmi-gazdasági szektorok (főként a mezőgazdaság és a vízellátás);
- az alkalmazkodási lehetőségeket, beleértve azok költségeit, hasznait és nehézségeit;
- a hatásokhoz és az alkalmazkodáshoz kapcsolódó fejlődési, fenntarthatósági és igazságossági kérdéseket regionális és globális szinten.

A szén-dioxid-koncentráció, a globális földfelszíni átlaghőmérséklet, továbbá a tengerszint valamennyi IPCC kibocsátási forgatókönyv szerint növekedni fog a XXI. században.⁷

A hat reprezentatív SRES kibocsátási forgatókönyv a légköri szén-dioxid-koncentrációt 2100-ra 540 és 970 ppm közé becsüli – ez az érték az iparosodás kezdetén 280 ppm, 2000-ben pedig 368 ppm volt. Az üvegházhatású gázok és az aeroszolok jövőbeli szintjeinek eltérései az eltérő társadalmi-gazdasági (demográfiai, társadalmi, gazdasági és technológiai) feltételezésekből fakadnak. Minden forgatókönyv 2100. évi koncentrációiban –10 és +30 százalék közötti ingadozást okoznak olyan további bizonytalanságok, amelyek főként a jelenlegi eltávolítási folyamatok (szén-dioxid elnyelése) fennmaradásával, továbbá a szárazföldi bioszférát érintő éghajlati visszacsatolás nagyságrendjével kapcsolatosak. Emiatt a teljes tartomány 490–1250 ppm (ami 75–350 százalékkal nagyobb az 1750. évi, ipari forradalom előtti koncentrációnál). Az egyéb (nem CO₂) elsődleges üvegházgázok 2100-ra becsült koncentrációi jelentősen eltérnek a hat reprezentatív SRES-forgatókönyvben (lásd a 3. ábrát).

⁷ Az éghajlati változékonyság változásai, a szélsőséges események, valamint a váratlan/nem lineáris változások előrejelzésével a 4. kérdés foglalkozik.

Az SRES kibocsátási forgatókönyvekre épülő éghajlati modellek előrejelzései szerint a globális földfelszíni átlaghőmérséklet 1,4–5,8 Celsius-fokkal fog növekedni az 1990-től 2100-ig tartó időszakban. Ez a XX. században megfigyelt melegedés középértékének nagyjából kétszerese–tízszere. Az őségéghajlattani (paleoklimatológiai) adatok alapján nagyon valószínű, hogy e melegedés példátlan ütemű az elmúlt legalább tízezer év tekintetében. A hőmérséklet-növekedés várhatóan nagyobb lesz, mint a Második Értékelő Jelentésben használt hat IS92 forgatókönyv alapján számított 1,0–3,5 Celsius-fokos melegedés. A nagyobb hőmérséklet-növekedés és a szélesebb tartomány oka elsősorban az, hogy az SRES-forgatókönyvekben – az IS92 forgatókönyvekhez képest – alacsonyabb jövőbeli kén-dioxid-kibocsátással számoltak.⁸ A várható növekedés az 1990-től 2025-ig tartó időszakra 0,4–1,1 Celsius-fok, míg az 1990-től 2050-ig tartó időszakra 0,8–2,6 Celsius-fok. Ha ugyanazal a kibocsátási forgatókönyvvel különböző éghajlati modelleket futtatunk le, akkor hasonló földfelszíni hőmérséklet-változásokat kapunk a 2100. évre, mintha ugyanazt az éghajlati modellt különböző SRES-forgatókönyvekkel futtatnánk. A 3. ábrán látható, hogy a legmagasabb kibocsátással számoló SRES-forgatókönyvek jelzik előre a legmagasabb hőmérséklet-növekedést. Nagyon valószínű, hogy szinte az összes szárazföldi terület jobban melegszik majd, mint amit ezek a globális átlagok mutatnak – különösen télen, az északi félgömb magasabb szélességein.

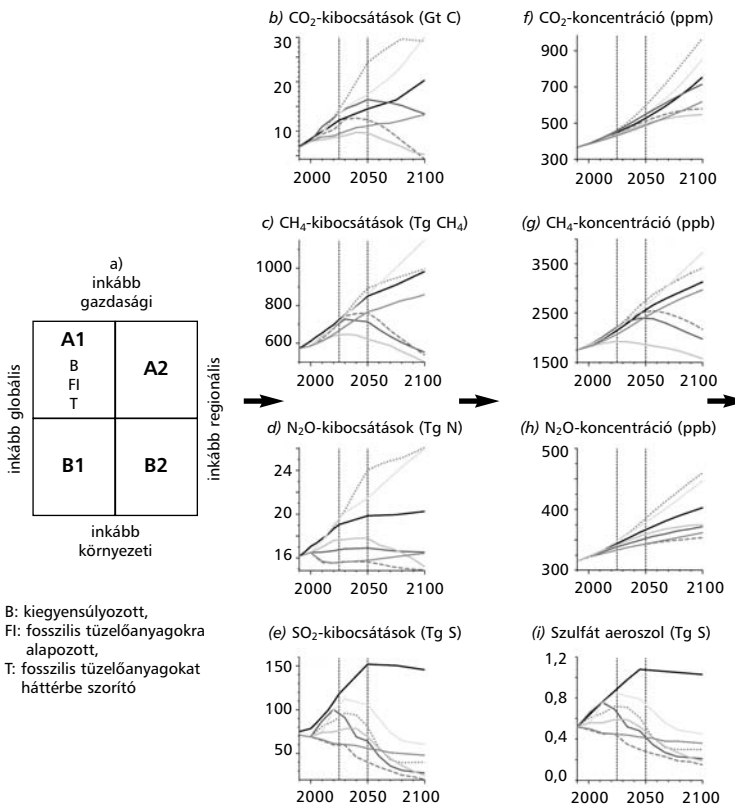
Az előrejelzések szerint a lehulló csapadék mennyisége földi átlagban növekedni fog a XXI. században, ugyanakkor regionális szinten növekedés és csökkenés egyaránt előfordul majd, jellemzően 5–20%-os mértékben. Valószínű, hogy a csapadékmennyiség télen és nyáron is növekedni fog a magas szélességeken. Növekedés várható télen az északi közepes szélességeken, Afrika trópusi részein, valamint az Antarktiszon; nyáron pedig Dél- és Kelet-Ázsiában. Egyenletesen csökkenő téli csapadék várható Ausztráliában, Közép-Amerikában és Afrika déli területein. A legtöbb olyan vidéken,

⁸ Az alacsonyabb kén-dioxid-kibocsátás miatt gyengébb a szulfát aeroszolk melegedést mérséklő hatása – a *lektor*.

3. ábra. **A különböző társadalmi-gazdasági feltételezésekre épülő SRES-forgatókönyvek eltérő üvegházgáz- és aeroszol-kibocsátásokat eredményeznek.** E kibocsátásoknak köszönhetően ugyanakkor megváltoznak e gázok és aeroszokok légköri koncentrációi, ami az éghajlati rendszert jellemző sugárzási kényszer módosulásához vezet. Az SRES-forgatókönyvek szerint a sugárzási kényszer eme változása előreláthatólag a hőmérséklet és a tengerszint emelkedését idézi elő, ami viszont további hatásokat eredményez. Az SRES-forgatókönyvek nem számolnak további éghajlatügyi kezdeményezésekkel, s nem rendelnek valószínűségeket az eseményekhez. Mivel az SRES-forgatókönyvek csak alig valamivel a Harmadik Értékelő Jelentés megjelenése előtt készültek el, ezért az itteni hatáselemzések más éghajlati modellek eredményeit használják. Ezek jellemzően egyensúlyi éghajlat-változási forgatókönyveken (pl. $2xCO_2$), viszonylag kevés esetben pedig évi 1%-os CO_2 -növekedést feltételező, illetve a Második Értékelő Jelentésben szereplő forgatókönyveken (vagyis az IS92 forgatókönyveken) alapulnak. A hatások ugyanakkor befolyásolhatják a társadalmi-gazdasági fejlődési pályákat, például az alkalmazkodás és a korlátozások révén. Az ábra tetején kiemelt szövegdobozok azt jelölik, hogy a különféle szempontok miként kapcsolódnak az éghajlatváltozás integrált értékelési keretéhez (lásd az 1. ábrát).

A1FI, A1T és A1B

Az A1-es forgatókönyvcsalád nagyon gyors gazdasági növekedést feltételez a jövőben, a század közepének globális népességcsúcsa után lélekszámcsökkenéssel, valamint új, hatékonyabb technológiák gyors bevezetésével. A forgatókönyv fontosabb háttérfeltevései: az egyes régiók hasonlóvá válása, kapacitásbővítés és sűrűbb kulturális-társadalmi kapcsolati háló az egy főre jutó jövedelmek regionális különbségeinek jelentős csökkenése mellett. Az A1-es forgatókönyvcsalád tagjainak három csoportja az energiarendszert érintő technológiai változások különböző irányait írja le. E három csoport technológiai szempontból különbözik egymástól: fosszilis tüzelőanyagokra alapozott (A1FI), nem fosszilis energiaforrásokra alapozott (A1T), illetve a források közötti egyensúlyra épülő (A1B) (azaz nem támaszkodik egyoldalúan egy adott energiaforrásra, továbbá minden energiaszolgáltató, illetve végfelhasználói technológia hasonló ütemű fejlődését feltételezi).

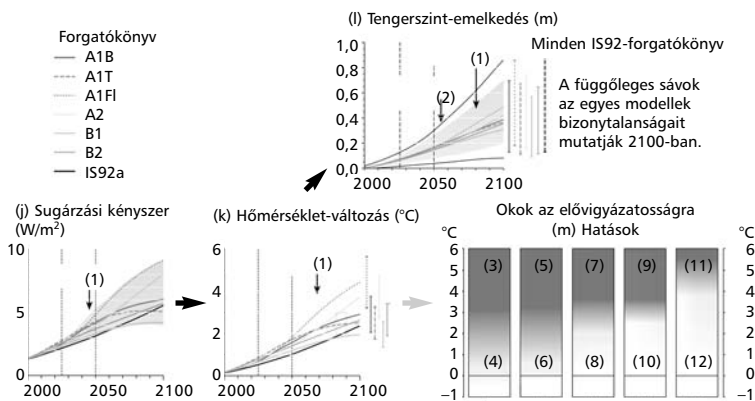
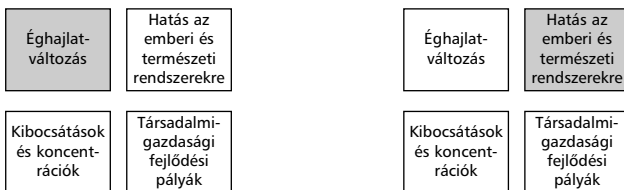


B: kiegyensúlyozott,
 FI: fosszilis tüzelőanyagokra
 alapozott,
 T: fosszilis tüzelőanyagokat
 háttérbe szorító

Társadalmi-gazdasági forgatókönyvek

Hőmérséklet- és tengerszintváltozás

Okok az elővigyázatosságra



- (1) Minden modell, minden SRES-forgatókönyv
- (2) Minden SRES-forgatókönyv, beleértve a szárazföldi jégolvasásban rejlő bizonytalanságot is

A függőleges sávok az egyes modellek bizonytalanságait mutatják 2100-ban.

- I. Az egyedi és fenyegetett rendszerekre leselkedő kockázatok
- II. Szélsőséges éghajlati eseményekből fakadó kockázatok
- III. Hatások területi eloszlása
- IV. Összesített hatások
- V. Jövőbeli nagy léptékű, ugrászerű változásokból eredő kockázatok

- (3) Sok rendszert érintenek
- (4) Néhány rendszert érintenek
- (5) Erősen növekednek
- (6) Növekednek
- (7) A legtöbb régióban hátrányos
- (8) Néhány régióban hátrányos
- (9) Összességében minden mutató romlik
- (10) Kedvező vagy kedvezőtlen piaci hatások; a legtöbb ember számára hátrányos
- (11) Nagyobbak
- (12) Nagyon alacsonyak

A2

Az A2-es forgatókönyvcsalád egy igen heterogén világot ír le. A forgatókönyv háttérfeltevése az önellátás és a helyi identitás megőrzése. A régiók termékenységű mutatói csak nagyon lassan közelednek egymáshoz, ezért folyamatosan emelkedik a népességszám. A gazdasági fejlődés főleg régióközpontú, az egy főre jutó gazdasági növekedés és technológiai változás pedig egyenletlenebb és lassabb, mint más forgatókönyvekben.

B1

A B1-es forgatókönyvcsaládban egyre hasonlóbba válnak egymáshoz a világ egyes régiói, a század közepének globális népességcsúcsa után pedig csökken a lélekszám, ahogyan azt az A1-es esetben láttuk. A különbség: gyors szerkezeti áttérés egy szolgáltatás és információ alapú gazdaságra, amelyben az anyagigény csökken és tiszta, erőforrás-hatékony technológiákat vezetnek be. A hangsúly a gazdasági, társadalmi és környezeti fenntarthatóság globális szintű megoldásain van – beleértve az igazságosság előmozdítását –, ám nincsenek további éghajlatügyi kezdeményezések.

B2

A B2-es forgatókönyvcsalád világában a gazdasági, társadalmi és környezeti fenntarthatóság lokális megoldásain van a hangsúly. A világ népessége folyamatosan növekszik, bár lassabban, mint az A2-es esetben; a gazdasági fejlődés közepes mértékű; a technológiai változások pedig lassabbak és sokszínűbbek, mint a B1-es és az A1-es esetekben. Miközben ez a forgatókönyv is a környezetvédelemre és a társadalmi igazságosságra összpontosít, mindezt helyi és regionális szinten teszi.

ahol az átlagos csapadékmennyiség növekedése várható, nagy valószínűséggel számíthatunk növekvő évközi csapadékingadozásra.

A gleccserek általános visszahúzódása előreláthatólag folytatódik a XXI. században. Az északi félgömbön a hóborítottság, továbbá a fagyott altalaj és a tengeri jég kiterjedése várhatóan tovább csökken. Az Antarktisz jéghátságának tömege valószínűleg növekedni fog, miközben a grönlandi jéghátság minden bizonnyal veszít majd tömegéből (lásd a 4. kérdést).

Az összes SRES-forgatókönyv alapján a földi átlagos tengerszint előreláthatóan 9–88 centiméterrel fog emelkedni 1990 és

2100 között, azonban jelentős térbeli eltérésekkel. Ez az emelkedés elsősorban az óceánok hőtágulásának, továbbá a gleccserek, illetve jégsapkák olvadásának a következménye. A várható emelkedés az 1990-től 2025-ig tartó időszakban 3–14 cm, míg 1990-től 2050-ig 5–32 cm.

Az előrevetített éghajlatváltozás mind a környezeti, mind a társadalmi-gazdasági rendszereket befolyásolni fogja. E hatások egyaránt lehetnek jótékonyak avagy kedvezőtlenek, ám minél nagyobb mértékű és minél gyorsabb ütemű az éghajlat módosulása, annál inkább túlsúlyba kerülnek a kedvezőtlen hatások.

A kedvezőtlen hatások annál súlyosabbak, minél nagyobb az addigi üvegházgáz-kibocsátás és az ezzel összefüggő éghajlatváltozás (közepes megbízhatóságú állítás). Noha néhány régió és ágazat számára egy kismértékű éghajlatváltozás jótékony hatású lehet, ezek az előnyök az éghajlat módosulásának fokozódásával előreláthatólag csökkenni fognak. Ezzel szemben várható, hogy számos kedvezőtlen hatás az éghajlatváltozás mértékével arányosan kiterjedtebbé és súlyosabbá válik. A régiókat tekintve a világ nagy részén a kedvezőtlen hatások kerülhetnek túlsúlyba, különösen a trópusi és szubtrópusi területeken.

Összességében az éghajlatváltozás fokozni fogja az emberi egészségre leselkedő veszélyeket, főként a trópusi/szubtrópusi országok alacsonyabb jövedelmű népessége körében. Az éghajlatváltozás az emberek egészségét érintheti közvetlenül (például a hideg okozta stressz mérséklődése, ugyanakkor a meleg okozta stressz súlyosbodása a mérsékelt égövi országokban; halálos áldozatok az árvizek és a viharok következtében) és közvetve is. Utóbbi úgy lehetséges, hogy változnak a betegséghordozó élőlények (például szúnyogok)⁹ és a vízben élő kórokozók életfeltételei, módosul a víz- és a levegőminőség, valamint az étel-miszer-ellátás és

⁹ Nyolc tanulmány modellezte az éghajlatváltozás betegséghordozókra gyakorolt hatását: öt a maláriával, három pedig a trópusi náthalázsal (dengue-láz) foglalkozott. Közülük hét tanulmány biológiai vagy folyamat alapú, egy pedig tapasztalati-statisztikus jellegű.

-minőség (ezen állítások megbízhatósága a középestől a magasig terjed). Az egészségre gyakorolt tényleges hatást nagymértékben befolyásolják a helyi környezeti és társadalmi-gazdasági feltételek, valamint azok a stratégiák, amelyek a társadalom, az intézmények, a technológiák és az emberi viselkedés alkalmazkodása révén kívánják csökkenteni az egészségre leselkedő veszélyeket.

Az éghajlatváltozás és a tengerszint-emelkedés meg fogja változtatni az ökológiai produktivitást és a biológiai sokféleséget (biodiverzitást), ami megnöveli néhány sebezhető faj kipusztulásának kockázatát (ezen állítások megbízhatósága a nagytól a közepesig terjed). Várhatóan egyre gyakoribbá válik majd az ökológiai rendszerek jelentős mértékű szétesése olyan zavarások miatt, mint például a tűz, az aszály, a kártevők, a növény- és állatfajok inváziója, a viharok vagy a korallzátonyok kihéheredése. Az éghajlatváltozás által előidézett stressz, hozzáadódva az ökológiai rendszereket érő egyéb stresszhatásokhoz, súlyosan károsíthat néhány egyedülálló rendszert, sőt akár a rendszer teljes eltűnését és veszélyeztetett fajok kihalását okozhatja. Az emelkedő szén-dioxid-koncentráció növeli a növények produktivitását, ám az éghajlati változások, valamint a zavarások ezzel összefüggő megváltozásai egyaránt növelhetik, illetve csökkenthetik az ökológiai rendszerek nettó produktivitását (közepes megbízhatóságú állítás). Néhány globális modell azt jósolja, hogy a szárazföldi ökológiai rendszerek nettó szénmegkötése növekszik majd a XXI. század első felében, ezután azonban nem változik vagy pedig csökken.

A gabonatermesztési modellek szerint egyes mérsékelt égövi területeken egy kismértékű hőmérséklet-emelkedés növeli a potenciális terméshozamot, egy nagyobb mértékű hőmérséklet-változás viszont csökkenti (ezen állítás megbízhatósága a középestől az alacsonyig terjed). A legtöbb trópusi és szubtrópusi régióban csökken a potenciális terméshozam az előre jelzett hőmérséklet-növekedési értékek zöme esetében (közepes megbízhatóságú állítás). Azokon a száraz talajú szubtrópusi és trópusi vidékeken, ahol a mezőgazdálkodás a természetes csapadékra hagyatkozik, a csapadékmennyiség jelentős csökkenésével a terméshozam még kedvezőtlenebbül alakulhat. E becslések számolnak a gazdák valamelyes alkalmazko-

dásával, továbbá a szén-dioxid általi „trágyázás” jótékony hatásával, ám figyelmen kívül hagyják az elszaporodó kártevőket és az éghajlati szélsőségek változásának várható hatásait. Keveset tudunk arról, hogy az állattenyésztők mennyire képesek felkészíteni állataikat az éghajlatváltozás okozta élettani stresszhatásokra. Az előrejelzések szerint egy néhány Celsius-fokos – vagy még nagyobb mértékű – melegedés következtében világszerte megemelkednek az élelmiszerárak, miáltal megnövekedhet az éhezés kockázata az ebből a szempontból sebezhető társadalmak körében.

Az éghajlatváltozás súlyosbítani fogja a vízszűkösséget a világ számos vízben szegény területén. A víz iránti kereslet általában növekszik a népességszám gyarapodásával és a gazdasági fejlődéssel, ugyanakkor néhány országban a hatékonyabb felhasználásnak köszönhetően csökken. Az éghajlatváltozás várhatóan jelentősen csökkenti a rendelkezésre álló víz mennyiségét a világ számos vízben szegény területén (ez a folyók várható vízhozamából látható), ugyanakkor néhány más helyen növekszik ez a mennyiség (*közepes megbízhatóságú állítás*) (lásd a 4. ábrát). Az édesvíz minősége a magasabb vízhőmérséklet miatt általában romlana (*magas megbízhatóságú állítás*), ám ezt néhány régióban ellensúlyozhatja a gyorsabb lefolyás.

A piaci szektorra gyakorolt összesített hatások (a bruttó hazai termék [GDP] változásával mérve) várhatóan sok fejlődő ország esetében kedvezőtlenek lesznek valamennyi vizsgált globális átlaghőmérséklet-emelkedés esetén (alacsony megbízhatóságú állítás). A fejlett országokban néhány Celsius-fokos melegedésig a várható hatás vegyes (*alacsony megbízhatóságú állítás*), míg az ezen felüli melegedés hátrányos következményekkel jár (*ezen állítás megbízhatósága a közepestől az alacsonyig terjed*). E becslések rendszerint nem veszik figyelembe azokat a hatásokat, amelyek az éghajlati változékonyság és a szélsőségek változásaiból származnak; nem számolnak azzal, hogy az éghajlatváltozás ütemétől függően más és más hatások jelentkeznek; csak részben számolnak azon árukkal és szolgáltatásokkal, amelyek a piacon nem jelennek meg; továbbá úgy tekintenek egyesek nyereségeire, hogy azok kiegyenlítik mások veszteségeit.

A tengerszint-emelkedés és a viharok hullámverése különösen súlyos társadalmi és gazdasági kockázatoknak teszi ki a kis szigetországok és/vagy az alacsonyan fekvő tengerparti területek népességét. Sok településen nő a part menti áradások és a partok pusztulásának kockázata; több tízmillió deltatorkolatokban, alacsonyan fekvő vízparti területeken, valamint kis szigeteken élő embernek kell a kitelepüléssel számolnia. A szigeti és vízparti népesség számára létfontosságú erőforrások – mint a tengerpartok, az édesvíz, a halászterületek, a korallzátonyok és atollok, valamint a természetes élőhelyek – szintén veszélybe kerülhetnek.

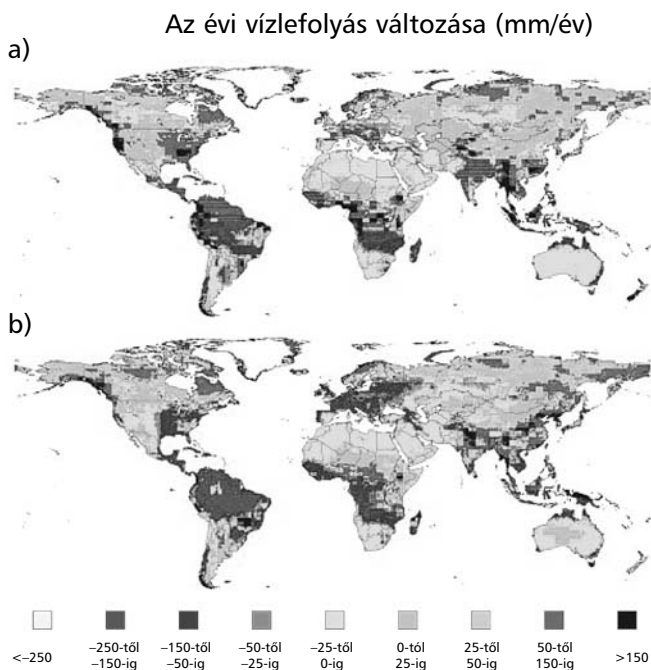
Az éghajlatváltozás hatásai aránytalan mértékben sújtják majd a fejlődő országok lakosságát, illetve az összes ország szegény rétegeit, ami súlyosbítja az egészségi állapotot, valamint a megfelelő élelmiszerhez, a tiszta vízhez és az egyéb erőforrásokhoz való hozzáférés már meglévő egyenlőtlenségeit. A fejlődő országok lakói jellemzően viszonylag nagymértékben ki vannak téve az éghajlatváltozásból fakadó kedvezőtlen hatásoknak. Ráadásul a szegénység és egyéb tényezők miatt a legtöbb fejlődő ország kevésbé tud alkalmazkodni e hatásokhoz.

Az alkalmazkodás lehetőséget jelent az éghajlatváltozás káros hatásainak csökkentésére, s járulékos hasznai gyakran azonnal jelentkeznek. Minden kár azonban nem kerülhető el az alkalmazkodás révén.

Az alkalmazkodás számos lehetőségét tárták már fel, amelyek az éghajlatváltozás káros hatásait mérsékelhetik, jótékony hatásait pedig fölerősíthetik – ezek azonban költségeket vonnak maguk után. Az alkalmazkodás hasznainak, költségeinek, illetve ezek regionális különbségeinek számszerű értékelése egyelőre még hiányos.

Az éghajlat nagyobb mértékű és gyorsabb változása megnehezítené az alkalmazkodást és a károk nagyobb kockázataival járna, mint egy kisebb mértékű, lassabb változás. A természeti és emberi rendszerek evolúciójuk során szert tettek olyan adottságokra, amelyek révén képesek birkózni bizonyos fokú éghajlati

4. ábra. A vízleflyás évi átlagának 2050-ig várható változásai (az 1961-től 1990-ig tartó időszak átlagához viszonyítva) nagyrészt követik a csapadékmennyiség változására vonatkozó előrejelzéseket. A vízleflyás változásait egy hidrológiai modell segítségével számították ki. Ez bemenő adatként a Hadley Centre által kidolgozott légkör-óceán általános cirkulációs modell (AOGCM) éghajlati előrejelzéseit használja. A modell két változatát használták, mindkettő a légköri szén-dioxid-koncentráció évi 1%-os növekedésével számol: a) HadCM2, ún. ensemble átlag¹⁰ és b) HadCM3. Az előrejelzések szerint a vízleflyás növekedése várható a magas szélességeken és Délkelet-Ázsiában, ugyanakkor csökkenés várható Közép-Ázsiában, a Földközi-tenger környékén, Afrika déli területein és Ausztráliában. Ez nagyjából megegyezik a Hadley Centre kísérleti eredményeivel és más AOGCM-csapadékbecslésekkel. A világ többi területén a csapadék és a vízleflyás változása attól függ, hogy milyen forgatókönyvet és modelleket használunk.



¹⁰ A kiinduló helyzet bizonytalanságát is szimuláló, több párhuzamos model futás szerinti megváltozás átlaga – a lektor.

változékonysággal. Mindeközben a károk kockázata viszonylag alacsony, a felépülés esélye pedig nagy. Ha azonban az éghajlatváltozás oly mértékű, hogy gyakrabban fordulnak elő olyan léptékű események, amelyekkel a rendszerek történetük során még nem találkoztak, akkor megnő a súlyos károk, az elégtelen regeneráció és a rendszer összeomlásának kockázata.

4. kérdés: Mit tudunk az üvegházhatású gázok és aeroszolok növekvő légköri koncentrációjának hatásáról, illetve az ember által előidézett várható éghajlatváltozásról regionális és globális szinten?

a) Milyen gyakoriak és milyen mértékűek lesznek az éghajlati ingadozások, beleértve a napi, az évszakos, az évközi, valamint az évtizedes változékonyságot, ez utóbbin többek között az El Niño/Déli Oszcilláció ciklusokat értve?

b) Milyen hosszan, hol, milyen gyakran és mennyire erőteljesen jelennek meg olyan szélsőségek, mint például a hőhullámok, az aszályok, az áradások, a nagy esőzések, a lavinák, a viharok, a tornádók vagy a trópusi ciklonok?

c) Milyen kockázatai vannak azoknak a hirtelen, illetve nem lineáris változásoknak, amelyek – többek között – az üvegházhatású gázok forrásaival és nyelőivel, az óceáni vízkörzessel, illetve a sarki jég és az állandóan fagyott általaj kiterjedésével kapcsolatosak? Számszerűsíthetők-e ezek a kockázatok?

d) Milyen kockázatai vannak az ökológiai rendszerek hirtelen, illetve nem lineáris módosulásainak?

Változékonnyabb éghajlat és bizonyos szélsőségek gyakoribbá válása várható.

A modellek előrejelzése szerint az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának növekedése a napi, az évszakos, az évközi és az évtizedes változékonyság módosulását eredményezi. Az előrejelzések szerint sok helyütt csökken a napon belüli hőmérsékletin-

gás; az északi félgömb szárazföldi területein telente csökkennek, nyaranta növekednek a különbségek az egyes napok felszíni lég-hőmérsékletei között. Sok modell olyan átlagos körülményeket jósol a Csendes-óceán trópusi vidékére, amelyek inkább El Niño-szerűek. Nincs egyértelmű közös álláspont a légkörben és az óceánban természetes módon kialakuló jellegzetes cirkulációs állapotok, mint például az Észak-atlanti Oszcilláció gyakoriságának és szerkezetének változását illetően.

A modellek előrejelzése szerint az üvegházhatású gázok növekvő légköri koncentrációja meg fogja változtatni a szélsőséges események gyakoriságát, erősségét és időtartamát (például több forró nap, hóhullám, illetve nagy csapadék várható; a hideg napok száma ellenben csökken). Az előrevetített változások jelentős része számos régióban növelné az áradások és aszályok kockázatát, illetve többnyire károsítaná az ökológiai rendszereket, a társadalmi-gazdasági szektorokat, valamint az emberi egészséget (bővebben lásd a 2. táblázatban). Részletes modelltanulmányok szerint a trópusi ciklonok szél- és csapadékcsúcsértékei egyes területeken valószínűleg emelkednek majd. Nincs elég információnk arról, miként változhatnak az időjárás nagyon kis léptékű szélsőségei (például zivatarok, tornádók, jégeső, jégverés vagy villámlás).

A XXI. században az üvegházhatású gázok melegítő hatása nyomán nagy kiterjedésű, nagy hatású, nem lineáris és akár hirtelen bekövetkező változások indulhatnak el a fizikai és biológiai rendszerekben. Ezek hatása évtizedeken vagy akár évezredekken át is érződhet, bekövetkezésük valószínűsége pedig széles tartományok között mozoghat.

A fizikai rendszereket, valamint az üvegházhatású gázok természetes forrásait és nyelőit érő hirtelen/nem lineáris változások egy része visszafordíthatatlan lehet, jóllehet a háttérben álló folyamatok némelyikét még nem teljesen ismerjük. Az előrevetített változások valószínűsége várhatóan az éghajlatváltozás ütemével, mértékével és időtartamával arányosan nő. Ilyen változás lehet:

2. táblázat. Éghajlati változékonyság, szélsőséges események és ezek hatásai (példák)

A szélsőséges éghajlati jelenségek előre látható változásai a XXI. században és ezek valószínűsége	Tipikus előre jelzett hatások ^a (bizonyos területeken mindig magas megbízhatósággal következnek be)
A szárazföldön szinte mindenhol magasabb maximum-hőmérsékletek, illetve több forró nap és hőhullám <i>(nagyon valószínű)</i>	A halálesetek és a súlyos betegségek száma növekszik az idősek és a városi szegények körében. Fokozódó hőstressz a haszonállatok és a vadállatok körében. Turisztikai célterületek megváltozása. Megnő számos termény károsodásának kockázata. Növekvő kereslet az elektromos klímaberendezések iránt, csökken az energiaszolgáltatás megbízhatósága.
A szárazföldön szinte mindenhol magasabb (növekvő) minimum-hőmérsékletek, kevesebb hideg és fagyos nap, illetve hideghullám <i>(nagyon valószínű)</i>	Kevesebb hideggel összefüggő emberi megbetegedés és halálozás. Számos termény károsodásának kockázata csökken, miközben másoké nő. Elterjedtebbé és aktívabbá válnak egyes kártevők és betegséhordozó élőlények. Csökkenő fűtési energiaszükséglet.
Erősebb csapadékhullás <i>(sokfelé nagyon valószínű)</i>	Az árvíz, földcsuszamlás, lavina és sárfolyam okozta károk növekedése. Növekvő talajerózió. Az áradások növekvő vízhozama gyorsíthatja néhány ártéri víztartó réteg feltöltődését. Növekvő nyomás az állami és magán árvízbiztosítási rendszereken, valamint a katasztrófa-segélyalapokon.
Növekvő nyári szárazság a közepes szélességek kontinentális területeinek többségén, az aszályok kockázatának növekedése mellett <i>(valószínű)</i>	Csökkenő terméshozam. Talajtömörödés miatti fokozódó károk az épületalapokban. A vízkészletek mennyiségének és minőségének csökkenése. Fokozott erdőtüzveszély.

A szélsőséges éghajlati jelenségek előre látható változásai a XXI. században és ezek valószínűsége	Tipikus előre jelzett hatások ^a (bizonyos területeken mindig magas megbízhatósággal következnek be)
Nő a trópusi ciklonok szélerősségének csúcserőssége, illetve csapadék-erősségük átlagos és csúcserőssége <i>(helyenként valószínű)</i> ^b	Az emberi életet fenyegető kockázatok, a járványok kockázata és számos egyéb kockázat növekszik. Fokozott partpusztulás, a parti épületek és infrastruktúra fokozódó károsodása. A tengerparti ökológiai rendszerek, például a korallzátonyok és a mangroveerdők fokozódó károsodása.
Az El Niño-eseményekhez kötődően többfelé erősödő aszályok és áradások <i>(valószínű)</i> (lásd még az aszályokat és az erősebb csapadékhullást)	Csökken a szántók és legelők termőképessége az aszály és áradás sújtotta régiókban. Csökken a kiaknázható vízenergia az aszály sújtotta vidékeken.
Az ázsiai nyári monszun esőzések változékonysága növekszik <i>(valószínű)</i>	Nagyobb áradások, súlyosabb aszályok és komolyabb károk a mérsékelt övi és a trópusi Ázsiában.
Erősebb mérsékelt övi viharok (e tekintetben kevés egyezés van a jelenlegi modellek között)	Az emberi életet és egészséget érintő kockázatok növekedése. Növekvő károk az ingatlanokban és az infrastruktúrában. A tengerparti ökológiai rendszerek fokozódó károsodása.

^a E hatások megfelelő válaszintézkedésekkel mérsékelhetők.

^b A trópusi ciklonok regionális eloszlása megváltozhat, de ez még nem bizonyított.

- Az éghajlat módosulása jelentősen megváltoztathatja a talajt és a növényzetet, s ez további éghajlatváltozáshoz vezethet a növények és a talaj nagyobb üvegházgáz-kibocsátása, valamint a felszín egyes jellemzőinek (például a fényvisszaverő képesség) módosulása révén.

- A legtöbb modell az óceáni termohalin vízkörzés¹¹ gyengülését jósolja, ami az Európa magasabb szélességei felé irányuló hőszállítást csökkenti, ugyanakkor egyik modell sem jósol hirtelen leállást a XXI. század végéig. 2100 után azonban – néhány modell szerint – e vízkörzés teljesen, akár visszafordíthatatlanul is leállhat valamelyik félgömbön, ha a sugárzási kényszer változása elég nagy és elég sokáig fennáll.

- Az Antarktisz jégkészletének tömege valószínűleg növekedni fog a XXI. században, ugyanakkor hosszan tartó melegedés hatására jelentősen csökkenhet a tömege, és ez az olvadás a következő ezer évben több méterrel hozzájárulhat a várható tengerszint-emelkedéshez.

- Az Antarktisz jégkészletétől eltérően a grönlandi jégkészlet valószínűleg veszít tömegéből a XXI. században, ami néhány centiméterrel emeli a tengerszintet. A jégkészletek olvadása és tengerszintemelő hatása még több ezer évvel az éghajlat stabilizálódása után is érzékelhető lesz. Az éghajlati modellek szerint Grönlandon a melegedés akár háromszorosa is lehet a globális átlagnak (de lehet, hogy csak azzal megegyező mértékű lesz). A jégkészlet-modellek előrejelzése szerint egy 3 Celsius-foknál nagyobb helyi felmelegedés – amennyiben évezredekig fennmarad – gyakorlatilag teljesen elolvasztaná a grönlandi jégkészletet, és nagyjából hét méterrel emelné meg a tengerszintet. Egy 5,5 Celsius-fokos grönlandi felmelegedés – amennyiben ezer évig fennmarad – valószínűleg mintegy háromméteres tengerszint-emelkedéshez vezetne.

- Egy folyamatos melegedés gyorsítaná az állandóan fagyott altalaj olvadását a sarki, sarkvidéki és hegyvidéki régiókban, s talajszüllyedésnek, földcsuszamlásoknak tenné ki e területek jó részét. Mindez az infrastruktúrát, a folyómedreket és a vizes területek ökológiai rendszereit egyaránt érintené.

Az éghajlatváltozás növelheti annak kockázatát, hogy számos ökológiai rendszer hirtelen és nem lineáris módon megváltozik,

¹¹ A tengervíznek a hőmérséklet- és sókoncentrációk különbségeiből fakadó mozgása. A témáról lásd még Mika János: Globális éghajlatváltozás – két IPCC-jelentés között című írását kötetünkben – a szerkesztő.

ami hatással volna funkciójukra, biodiverzitásukra és produktivitásukra. Minél nagyobb és gyorsabb a változás, annál jelentősebb a kedvezőtlen hatások kockázata. Például:

- A zavarások mintázatainak megváltozása és a megfelelő éghajlatú élőhelyek földrajzi eltolódása akár a szárazföldi és tengeri ökológiai rendszerek hirtelen összeomlásához is vezethet. Ekkor e rendszerek összetétele és funkciója jelentősen megváltozik, s megnő a kihalások kockázata.

- A vízhőmérséklet akár csak 1 Celsius-fokos tartós emelkedése önmagában – vagy valamilyen más stresszhatással (például túlzott szennyezéssel vagy eliszaposodással) párosulva – a korallok algavesztéséhez (korallfehéredéshez) vezethet, ami végül egy részük pusztulását okozhatja.

- Egy bizonyos küszöbön túli hőmérséklet-növekedés – amely küszöbérték terményenként és fajtánként változik – egyes terményeknél befolyásolhatja a fejlődés kulcsfontosságú stádiumait (például a rizs kalászkája csírátlan, a kukorica pollenje terméketlen, a burgonya gumója fejletlen lehet). Mindez érinti a termés hozamot, s a hozamvesztés akkor is jelentős lehet, ha a hőmérséklet csupán rövid időre haladja meg a kritikus értéket.

5. kérdés: Mit tudunk az éghajlati rendszert, az ökológiai rendszereket és a társadalmi-gazdasági szektorokat, valamint ezek kölcsönhatásait érintő változások tehetetlenségéről és időléptékéről?

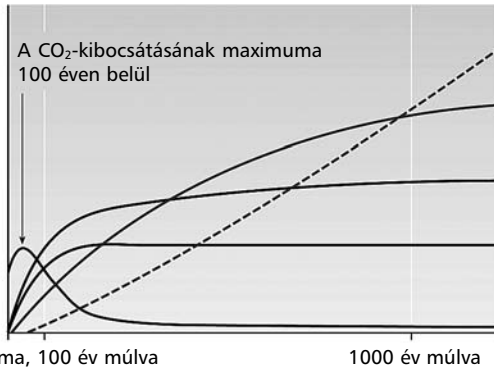
A tehetetlenség (inercia) az egymásra ható éghajlati, ökológiai és társadalmi-gazdasági rendszerek általános belső tulajdonsága, ami késleltetheti az emberi eredetű éghajlatváltozás bizonyos hatásainak felismerését. Továbbá ha nem korlátozzuk az éghajlatváltozás ütemét és mértékét a vonatkozó – olykor kevésbé ismert – küszöbértékek túllépése előtt, akkor a hatások némelyike visszafordíthatatlan lehet.

Az éghajlati rendszerek tehetetlensége

A szén-dioxid-kibocsátás stabilizálása a jelenlegi szint környékén nem stabilizálná a gáz légköri koncentrációját, ezzel szemben a rövidebb életű üvegházgázok – mint például a metán – kibocsátásának stabilizálása évtizedeken belül légköri koncentrációjuk stabilizálódásához vezet. A szén-dioxid-koncentráció bármilyen szinten való stabilizálásához a gáz globális nettó kibocsátásának a jelenlegi szint töredékére kell csökkennie. Minél alacsonyabb szintet próbálunk elérni, annál hamarabb kell elkezdeni a szén-dioxid globális nettó kibocsátásának csökkentését (lásd az 5. ábrát).

A szén-dioxid-koncentráció, a hőmérséklet és a tengerszint a kibocsátás csökkenése után is sokáig emelkedik

Válaszreakció nagysága



Az egyensúly eléréséhez szükséges idő

Jégolvadás miatti tengerszint-emelkedés: több ezer év

Hőtágulás miatti tengerszint-emelkedés: évszázadok–évezredek

A hőmérséklet stabilizálódása: néhány évszázad

A CO₂-szint stabilizálódása: 100–300 év

CO₂-kibocsátás

5. ábra. A szén-dioxid-kibocsátás csökkentése és a légköri szén-dioxid-koncentráció stabilizálódása után a földfelszíni hőmérséklet lassú emelkedése száz évig vagy akár ennél is tovább folytatódhat. Az óceánok hőtágulása a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése után még sokáig folytatódik, a jéghátságok olvadása pedig több száz éven át emeli a tengerszintet. Ez az ábra általánosan illusztrálja azon eseteket, amikor a szén-dioxid-kibocsátás a 450 és 1000 ppm közötti szintek valamelyikén stabilizálódik, ezért nem szerepelnek egységek a „válaszreakció” tengelyen. A két érték közé eső válaszreakciók görbéi nagyjából hasonló időpályákat futnak be, jóllehet magasabb CO₂-koncentráció esetében a hatások egyre nagyobbak lesznek

A szén-dioxid és más üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának stabilizálódását követően a felszíni léghőmérséklet évszázadonkénti néhány tized fokos emelkedése várható. E folyamat száz évig vagy még tovább is eltarthat, míg a tengerszint több száz éven át emelkedik majd (lásd az 5. ábrát). Az óceánok lassú melegedése és a jéghátságok lassú válaszreakciója azt jelenti, hogy az éghajlati rendszer csak hosszú idő elteltével képes egy új egyensúlyi állapotba jutni.

Gyakorlatilag visszafordíthatatlan volna néhány olyan éghajlati változás, amely a XXI. századot követően következhet be. Így a jéghátságok jelentős olvadását vagy az óceáni vízkörzés gyökeres átalakulását (ezekről lásd a 4. kérdést) több emberöltő alatt sem lehetne visszafordítani. Az óceáni vízkörzés gyökeres megváltozását kisebb melegedés is kiválthatja, ha ez a melegedés inkább hirtelen, semmint fokozatos.

Az ökológiai rendszerek tehetetlensége

Egyes ökológiai rendszereken hamar megmutatkoznak az éghajlatváltozás jelei, míg másokon lassabban. Például korallfehéredést már akár egyetlen kivételesen meleg évszak is kiválthat, ugyanakkor a hosszabb életű élőlények – például a fák – akár évtizedeken át is fennmaradhatnak egy megváltozott éghajlaton, igaz, a megújulásra már képtelenek. Mivel a fajok reakcióideje más és más, az éghajlatváltozás – beleértve a szélsőséges események gyakoriságának megváltozását – az ökológiai rendszerek szétesését idézheti elő.

Néhány szénkörforgalmi modell szerint a szárazföldi globális nettó szénmegkötés a XXI. században tetőzik, majd szinten marad vagy csökken. A szárazföldi ökológiai rendszerek utóbbi időben tapasztalt globális nettó szénmegkötése részben azon időeltolódás eredménye, amely a növények fokozott növekedése, illetve pusztulásuk-lebomlásuk között áll fenn. A növények jelenlegi fokozott növekedésének oka részben a megnövekedett szén-dioxid-mennyiség, illetve nitrogénülepedés tápláló hatása, valamint az átalakuló éghajlat és földhasználat. A szénmegkötés csök-

kenni fog, amint az erdők éretté válnak, a tápláló hatások telítődnek és a lebomlás üteme utoléri a növekedését. Az éghajlatváltozás globálisan valószínűleg tovább csökkenti a nettó szárazföldi szénfelvételt. Noha a melegedés csökkenti az óceán szén-dioxid-felvételét, a légköri szén-dioxid-koncentráció emelkedése mellett a világóceán várhatóan továbbra is szénnyelő marad – legalábbis a XXI. században. A szén évszázadok alatt jut el az óceán felszínétől a mélyéig, ahol évezredek alatt kerül egyensúlyba az óceáni üledékkel.

A társadalmi-gazdasági rendszerek tehetetlensége

Ellentétben az éghajlati és az ökológiai rendszerekkel, az emberi rendszerek tehetetlensége nem végérvényes adottság: politikai intézkedések és egyéni választások révén megváltoztatható. Az éghajlat-politikai intézkedések sikere a társadalmi-gazdasági struktúrák és értékek, az intézmények, a technológiák és a kiépült infrastruktúrák közötti kölcsönhatásokon múlik. A teljes rendszer általában viszonylag lassan változik, de kényszerhelyzetben gyorsan is reagálhat, igaz, olykor nagy árat kell fizetni ezért (ha például a termelőeszközöket teljes elhasználódásuk előtt vonják ki). Ha a változás lassabb, a költségek alacsonyabbak lehetnek a technológiai fejlődés, illetve a termelőeszközök teljes elhasználódása miatt. Tipikusan évekig vagy évtizedekig tart, amíg érzékelünk egy jelentős kihívást, majd megtervezzük, felkutatjuk, kifejlesztjük és bevezetjük a megoldást. Körültekintő előzetes intézkedésekkel javíthatjuk annak esélyét, hogy szükség esetén rendelkezésre álljon a megfelelő technológia.

Az új technológiák kifejlesztése és bevezetése a technológia átadásával, valamint támogató pénzügy- és kutatópolitika segítségével gyorsítható. A technológiaváltást lassíthatják az olyan „bezáródott” rendszerek,¹² amelyek a meglévő intézményekből,

¹² Ha egy adott technológiai megoldás valamilyen okból lépéselőnyre tesz szert az alternatív technikákhoz képest (például azért, mert elsőnek vezették be a piacra), akkor gyakran – viszonylagos hatékonyságától függetlenül – ne-

szolgáltatásokból, infrastruktúrából és erőforrásokból piaci előnyökhöz jutnak. A gyorsan fejlődő technológiák korai csatasorba állítása csökkentheti a tanulási költségeket.

A tehetetlenség éghajlat-politikai jelentősége

A tehetetlenség és a bizonytalanság az éghajlati, az ökológiai és a társadalmi-gazdasági rendszerek sajátja. Ezért ha el akarjuk kerülni az éghajlati rendszer veszélyes mértékű megzavarását, akkor biztonsági ráhagyásokkal kell dolgoznunk a stratégiák, a célok és a határidők kialakításakor. Amikor meghatározzuk, hogy milyen szinten stabilizáljuk a légköri szén-dioxid-koncentrációt, a hőmérsékletet, a tengersizintet stb., akkor tekintettel kell lenni

– az éghajlati rendszer tehetetlenségére, ami miatt az éghajlat még a korlátozások bevezetése után is változik egy ideig;

– a bizonytalanságra, ami miatt nem ismertek azok a küszöbértékek, amelyekén túl a változás már visszafordíthatatlan, továbbá a rendszer viselkedése sem e küszöb közelében;

– az időeltolódásra, ami a korlátozások elfogadása és megvalósulása között áll fenn.

Hasonlóképpen az alkalmazkodást is késlelteti az, hogy időbe telik, amíg az éghajlatváltozás hatásainak felismerésétől a hatékony alkalmazkodási stratégiák kidolgozásán át eljutunk a vonatkozó intézkedések végrehajtásáig.

Az éghajlati, ökológiai és társadalmi-gazdasági rendszerek tehetetlensége elkerülhetetlenné, egyes esetekben pedig már egyene-

hezen megtámadható domináns pozíciót szerez a piacon. Kialakulnak a hozzá kapcsolódó egyéb, kiegészítő technológiák, ennek megfelelően fejlesztik ki az infrastruktúrát, gazdasági és politikai érdekek szerveződnek köré, sajátos fogyasztási szokások kapcsolódnak hozzá és rögzülnek stb., s emiatt akár hosszú időre ez a létrejött technológiai rezsím határozza meg a technikai változások irányát. Részletesebben lásd Kemp, R., Schot, J. és Hoogma, R.: Technológiai rezsímváltások a fenntarthatóság irányába niche-képződések folyamatain keresztül: a stratégiai niche-menedzsment megközelítése (in: Természet és gazdaság – Ökológiai közgazdaságtan szöveggyűjtemény [szerk. Pataki György és Takács-Sánta András]. Typotex Kiadó, Budapest, 2004) – a szerkesztő.

sen szükségszerűvé teszi az alkalmazkodást, továbbá befolyásolja az alkalmazkodás és a korlátozás optimális arányát. A tehetetlenség nem egyformán érinti az alkalmazkodást (amit elsősorban az éghajlatváltozás helyi hatásai tesznek szükségessé) és a korlátozást (amivel az éghajlati rendszerre tett hatásokat mérsékeljük). Mindez befolyásolja, hogy miféle éghajlat-politika lesz a leginkább költséghatékony és méltányos. A kockázatcsökkentő stratégiák és az egymásra épülő döntések (cselekvés – értékelés – javított cselekvés) megfelelő választ jelenthetnek a tehetetlenséggel párosuló bizonytalanságra. A tehetetlenség miatt hatékonyabb és bizonyos körülmények között olcsóbb lehet előbb cselekedni, mint később – ha e cselekvés körültekintő alkalmazkodás az éghajlatváltozáshoz vagy megalapozott korlátozás a változás mérséklése érdekében.

Az előzetes alkalmazkodás és korlátozás hasznát két fő ok magyarázza: egyfelől a mindent átható tehetetlenség, másfelől az esetleges visszafordíthatatlan változások az egymásra ható éghajlati, ökológiai és társadalmi-gazdasági rendszerekben. Amennyiben késlekedünk, számos alkalmazkodási és korlátozási lehetőséget elveszíthetünk.

6. kérdés: a) Miként befolyásolja a kibocsátáscsökkentő lépések mértéke és időzítése az éghajlatváltozás ütemét, mértékét és hatásait? Hogyan hatnak e lépések a gazdaságra globális és regionális szinten a múltbeli és a jelenlegi kibocsátások tükrében?

b) Mit mondanak az érzékenységi tanulmányok azokról a regionális és globális éghajlati, környezeti és társadalmi-gazdasági változásokról, amelyek a – szén-dioxid-egyenértékben mért – légköri üvegházgáz-koncentráció stabilizálásakor következnek be, ha a stabilizálást valahol a mai szint és a mai szint kétszerese (vagy még többszöröse) között tesszük meg, s az aeroszolokkal is legjobb tudásunk szerint számolunk? A stabilizálás szintjének és mikéntjének minden forgatókönyvére (a 3. kérdésben vizsgált forgatókönyvekhez viszonyítva) értékeljük a lehetséges költségeket és a hasznokat, tekintettel

– a légköri koncentrációk, az éghajlat és a tengerszint előrevetített változásaira (ideértve a száz évnél később bekövetkező változásokat is);

– az éghajlat és a légköri koncentrációk megváltozásának hatásaira, gazdasági költségeire és hasznaira, amelyek olyan területeken jelentkeznek, mint az emberi egészség, az ökológiai rendszerek sokszínűsége és produktivitása, valamint a társadalmi-gazdasági szektorok (főként a mezőgazdaság és a vízellátás);

– az alkalmazkodási lehetőségekre, beleértve azok költségeit, hasznait és nehézségeit;

– az egyes stabilizációs szintek elérésére alkalmazható technológiákra, politikai intézkedésekre és gyakorlatokra, figyelembe véve azokat a – nemzeti és globális – költségeket és hasznokat, amelyeket minőségi vagy mennyiségi szempontból vetünk egybe a kibocsátáscsökkentéssel elkerült környezeti károkkal;

– a fejlődési, fenntarthatósági és igazságossági kérdésekre, amelyek regionális és globális szinten kapcsolódnak a hatásokhoz, az alkalmazkodáshoz és a korlátozáshoz.

Az üvegházhatású gázok kibocsátásának visszafogásával csökkenthető a melegedés és a tengerszint-emelkedés várható üteme és mértéke.

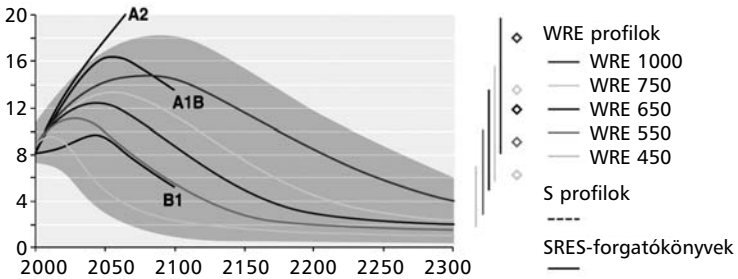
Minél nagyobb mértékben és minél korábban csökken a kibocsátás mértéke, annál kisebb és annál lassabb lesz a várható melegedés és tengerszint-emelkedés. Az éghajlat a múltbeli, a jelenlegi és a jövőbeli kibocsátások szerint változik. Ha összehasonlítjuk az üvegházhatású gázok kibocsátásának visszafogását tartalmazó, illetve nem tartalmazó forgatókönyveket, azt látjuk, hogy a várható hőmérséklet-változás különbségei az első néhány évtizedben csekélyek, azonban – a kibocsátás tartós csökkentése esetén – idővel egyre nőnek.

Az üvegházgázok kibocsátását, illetve a koncentrációjukat meghatározó gázok mennyiségét kellene csökkenteni ahhoz, hogy

6. ábra. A szén-dioxid-koncentráció stabilizálásához, ami lassítaná a felmelegedés ütemét, a kibocsátást jóval a jelenlegi szint alá kellene szorítani

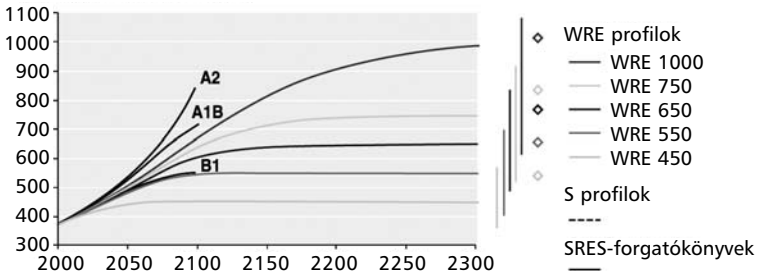
Kibocsátások, koncentrációk és hőmérséklet-változások különböző szinteken stabilizált szén-dioxid-koncentrációk esetén

a) CO₂-kibocsátás (Gt C)



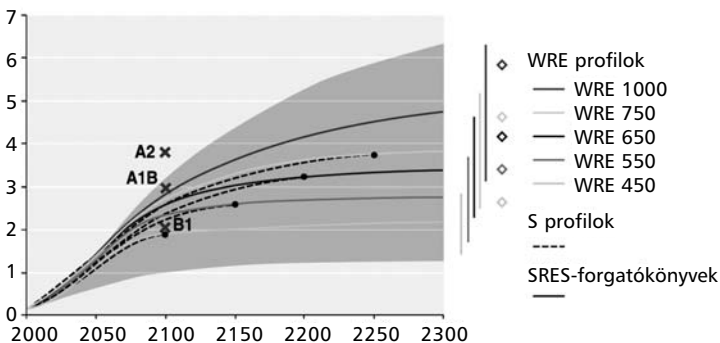
a) CO₂-kibocsátások: A CO₂-kibocsátási időgörbék – amelyek a légköri CO₂-koncentráció különböző szinteken való stabilizálódásához vezetnek – szénkörforgalmi modellek segítségével a WRE stabilizációs profilok¹³ becsléseihez vannak igazítva. Az árnyékolt rész a bizonytalansági tartomány.

b) CO₂-koncentráció (ppm)



b) CO₂-koncentrációk: A WRE profilok szén-dioxid-koncentrációi láthatók az ábrán.

c) Globális átlaghőmérséklet-változás (°C)



c) Globális átlaghőmérséklet-változások: A hőmérséklet-változást egy egyszerű, a WRE profilokra épülő éghajlati modell segítségével becsljük. A melegedés a szén-dioxid-koncentráció stabilizálódása (ezt fekete pontok jelölik) után is folytatódik, noha üteme jelentősen visszaesik. Feltételezzük, hogy a szén-dioxidtól eltérő gázok kibocsátása az SRES A1B forgatókönyvet követi 2100-ig, azután pedig nem változik. Azért ezt a forgatókönyvet választottuk, mert az SRES-forgatókönyvek által kijelölt tartomány közepén helyezkedik el. A szaggatott vonalak az S profilokra¹⁴ előrevetített hőmérséklet-változások (csak a c) ábrán). Az árnyékolt terület az éghajlati érzékenység tartománya az öt stabilizációs szint esetén. A vonalak az ábra jobb oldalán az egyes stabilizálódási szintek bizonytalansági sávjai 2300-ra. A jobb oldal kis rombuszai a szén-dioxid adott stabilizálódási szintjéhez tartozó átlagos egyensúlyi (nagyon hosszú távú) melegedés. Az összehasonlítás kedvéért három SRES-forgatókönyv szén-dioxid-kibocsátását, szén-dioxid-koncentrációját és hőmérséklet-változását is feltüntettük.

¹³ A WRE-forgatókönyvek az üvegházhatás jövőbeni stabilizációjának megvalósulását feltételező („kívánatos jövő” típusú) előrebecslések. A WRE mögötti szám ppm egységben mutatja meg, hogy szén-dioxid-egyenértékben kifejezve milyen koncentrációértéken történne meg a stabilizáció. Részletesebben I. Wigley, T. M. L., R. Richels and J. A. Edmonds, 1996: Economic and environmental choices in the stabilisation of atmospheric CO₂ concentrations. *Nature* 379, 242–245. – *a lektor.*

¹⁴ A Második Értékelő Jelentés közepes hőmérsékleti előrebecslései – *a lektor.*

stabilizálódjon a sugárzási kényszer. Például a szén-dioxid mint a legfontosabb emberi eredetű üvegházhatású gáz légköri koncentrációjának 450 ppm-en történő stabilizálása – a szénkőforgalmi modellek szerint – megkövetelné, hogy a globális emberi eredetű szén-dioxid-kibocsátást az 1990 előtti szint alá szorítsuk vissza néhány évtizeden belül, és azután is csökkentsük. Ha e visszaszorítás nagyjából egy évszázadig tartana, akkor 650 ppm-en, míg ha körülbelül két évszázadig, akkor 1000 ppm-en stabilizálna a légköri szén-dioxid-koncentráció – további folyamatos kibocsátáscsökkentést feltételezve (lásd a 6. ábrát). E modellek szerint a kibocsátás körülbelül egy-két évtized múlva (450 ppm), illetve nagyjából egy évszázad múlva (1000 ppm) tetőzik. A szén-dioxid-kibocsátásnak végül a jelenlegi érték töredékére kell visszaszorulnia. A különböző stabilizálási szintek hasznait a 6. kérdés későbbi részében tárgyaljuk, míg költségeikkel a 7. kérdés foglalkozik.

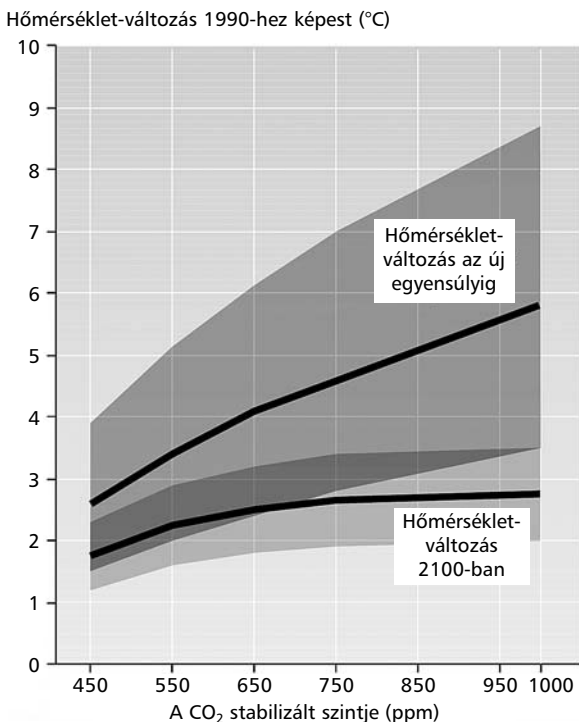
Bármilyen szinten stabilizáljuk is az üvegházhatású gázok koncentrációját, az ebből fakadó melegedés mértéke meglehetősen bizonytalan. Mindez az üvegházgáz-koncentrációk növekedésére adott éghajlati érzékenység bizonytalanságából ered.¹⁵ A 7. ábra bemutatja, hogy a különféle szinteken stabilizált szén-dioxid-koncentrációk milyen hőmérséklet-változást okozhatnak 2100-ig, illetve az új egyensúly beálltáig.

Azok a kibocsátáscsökkentések, amelyek a légköri szén-dioxid-koncentrációt végül 1000 ppm alatt stabilizálnák, előreláthatólag legfeljebb 3,5 Celsius-fokos globális átlaghőmérséklet-emelkedést okoznának 2100-ig. (A 6. ábra profiljai alapján és annak feltételezésével, hogy a szén-dioxidtól eltérő gázok kibocsátása az A1B SRES-forgatókönyvet követi 2100-ig, azután pedig

¹⁵ Az éghajlat érzékenységének jellemzésére gyakran használják a globális egyensúlyi átlaghőmérséklet válaszreakcióját a légköri szén-dioxid-tartalom megduplázódására. A 6. és 7. ábráról leolvasható hőmérsékletértékeket egy egyszerű modelltől számítjuk, amelyet úgy kalibráltak, hogy ugyanolyan válaszokat adjon, mint az 1,7 és 4,2 C között mozgó érzékenységgel bíró komplex modellek. Ez az értéktartomány hasonló az általában elfogadottnak tekintett 1,5–4,5 °C-os intervallumhoz.

7. ábra. A szén-dioxid-koncentráció stabilizálása csökkentené a melegedést, de bizonytalan mértékben. Az 1990-hez viszonyított hőmérséklet-változást a) 2100-ban és b) az új egyensúlyi helyzetben a 6. ábrához hasonlóan egy egyszerű éghajlati modellel becsüljük a WRE profilokra. Az egyes stabilizációs szintekhez tartozó legalacsonyabb, illetve legmagasabb becslések 1,7, illetve 4,2 °C-os éghajlati érzékenységet feltételeznek. A középső vonal a legkisebb és a legnagyobb becslések átlaga

Bármilyen szinten stabilizáljuk is az üvegházgáz-koncentrációt, a melegedés mértéke nagyon bizonytalan



nem változik.) A globális földfelszíni átlaghőmérséklet várhatóan 1,2–3,5 °C-kal fog emelkedni 2100-ig minden olyan profil esetében, amely 450 és 1000 ppm közötti szinten stabilizálja a szén-dioxid-koncentrációt. Így bár a vizsgált, szén-dioxid-koncentrá-

ciót stabilizáló profilok mindegyike meggátolná, hogy a XXI. században az SRES-előrejelzések közül (amelyek 1,4–5,8 Celsius-fokos melegedést várnak 2100-ig) a nagyobb melegedést jóslók váljanak valóra, az is fontos, hogy a szén-dioxid-koncentráció a legtöbb profinnál 2100 után is növekszik. A hőmérséklet ismételt egyensúlyba állása több száz évet vesz igénybe, s ekkorra a hőmérséklet 1990-hez képest 1,5–3,9 Celsius-fokkal lenne több 450 ppm-en stabilizált szint esetén, míg 3,5–8,7 Celsius-fokkal lenne több 1000 ppm-en rögzített szint esetén.¹⁶ Ráadásul igen bizonytalan, hogy milyen szinten kell rögzítenünk az üvegházgáz-koncentrációkat ahhoz, hogy a hőmérséklet egy kitűzött szinten stabilizálódjon (lásd a 7. ábrát). A szén-dioxidon túl egyéb gázok szintjei is befolyásolják azt, hogy egy kitűzött hőmérsékleti cél eléréséhez milyen szinten kell stabilizálni a szén-dioxid-koncentrációt.

A tengerszint és a jéghátságok több száz évvel azután is reagálnak a melegedésre, hogy az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja stabilizálódott. A hőtágulásból eredő, egyensúlyi helyzetig tartó tengerszint-emelkedés előreláthatólag 0,5–2 méter lesz, ha a szén-dioxid-koncentráció az iparosodás előtti 280-ról 560 ppm-re emelkedik (azaz megkétszereződik), és 1–4 méter lesz, ha a szén-dioxid-koncentráció 280-ról 1120 ppm-re nő (vagyis megnégyesereződik). A XX. században megfigyelt növekedés 0,1–0,2 méter volt. Az előrevetített emelkedés nagyobb lenne, ha számításba vennénk a többi üvegházhatású gáz koncentrációjának növekedését is. Évszázados-évezredes távlatban egyéb tényezők is hozzájárulnak a tengerszint emelkedéséhez. A Harmadik Értékelő Jelentésben értékelt modellek többméteres tengerszint-emelkedést jósnak a sarkvidéki jéghátságok (lásd a 4. kérdés) és a szárazföldi jég olvadása miatt, még – szén-dioxid-egyenértékben kifejezve – 550 ppm-es stabilizációs szint mellett is.

¹⁶ E forgatókönyvek mindegyike 0,6, illetve 1,4 Celsius-fokra teszi az egyéb üvegházhatású gázok és az aeroszolok hozzájárulását az egyensúlyi melegedéshez. A kisebbik érték az éghajlat alacsony érzékenysége, míg a nagyobb az éghajlat magas érzékenysége esetén érvényes. Mindennek fűtő (sugárzási kényszert növelő) hatása egyenértékű azzal, mint ha a végső szén-dioxid-koncentráció 28%-kal lenne magasabb.

Az üvegházgáz-kibocsátás csökkentése a légköri koncentrációk stabilizálása érdekében késleltetné és csökkentené az éghajlat-változás által okozott károkat.

Az üvegházgáz-kibocsátás csökkentése (korlátozása) enyhítené az éghajlatváltozás természeti és emberi rendszerekre gyakorolt nyomását. A globális átlaghőmérséklet és a tengerszint lassabb emelkedése több időt hagyna az alkalmazkodásra. Következésképpen a korlátozások várhatóan késleltetik és csökkentik az éghajlatváltozás által okozott károkat, környezeti és társadalmi-gazdasági hasznokat hajtva ezzel. A korlátozás mikéntjét és ennek költségeit a 7. kérdésre adott válaszban értékeljük.

A korlátozási intézkedések, amelyek a üvegházgázok légköri koncentrációinak alacsonyabb szinteken történő stabilizálására irányulnak, a károk enyhítése révén hajtánának nagyobb hasznot. Az alacsonyabb szinteken történő stabilizálás csökkenti annak kockázatát, hogy átlépjük egyes biofizikai rendszerek hőmérsékleti küszöbértékeit. Ha például a szén-dioxidot 450 ppm-en stabilizálnánk, akkor ezzel 2100-ra egy nagyjából 0,75–1,25 Celsius-fokkal kisebb globális átlaghőmérséklet-emelkedést nyerünk az 1000 ppm-en rögzített szinthez képest (lásd a 7. ábrát). Az új egyensúly beálltával az eltérés már körülbelül 2–5 Celsius-fok volna. Alacsonyabb stabilizációs szint esetében kisebb lenne a természeti rendszerekben esett károk földrajzi kiterjedtsége, továbbá kevesebb rendszer károsodna, illetve tűnne el (e számok nagyobbak lennének egy gyorsabb és nagyobb mértékű éghajlatváltozás esetén). Hasonlóképpen, alacsonyabb stabilizációs szint esetén várhatóan kevésbé pusztítanának az éghajlati szélsőségek, kevesebb régió szenvedne el nettó piaci veszteségeket, világszinten kisebbek lennének a hatások, továbbá csökkenne a nagyléptékű, súlyos események kockázata.

Egyelőre nem léteznek átfogó, számszerű becslések arról, hogy milyen haszonnal járna az üvegházgáz-koncentrációk különböző szinteken történő stabilizálása. Ma már jobban értjük az éghajlatváltozás hatásainak kvalitatív természetét. Egy-egy kibocsátási forgatókönyvre vonatkozóan nem határozhatók meg pontosan az

éghajlatváltozás hatásai, mivel bizonytalan egyrészt az éghajlat érzékenysége, másrészt pedig a várható változások földrajzi és évszakos alakulása a hőmérséklet, a csapadék, valamint más éghajlati változók és jelenségek terén. Szintén bizonytalanság övezi az alapvető rendszerfolyamatokat, s hogy a rendszerek mennyire érzékenyek, illetve mennyiben képesek alkalmazkodni az éghajlat változásaihoz. Ezenkívül az olyan hatások, mint például az ökológiai rendszerek összetételének és funkciójának módosulása, a növény- és állatfajok kipusztulása, az emberi egészség megváltozása vagy az egyes népeiségeket érintő hatások különbözősége nem könnyen fejezhető ki pénzben vagy más közös mértékegységben. E korlátok miatt csak részlegesen határozhatók meg azok a hasznok, amelyek az üvegházgáz-kibocsátás különféle csökkentéseiből, köztük az üvegházgáz-koncentráció kívánt szinten történő stabilizálásából fakadnak; s emiatt közvetlenül nem is vethetők egybe a korlátozás költségeivel annak érdekében, hogy megbecsüljük a korlátozás nettó gazdasági hatását.

Az alkalmazkodás mindenképp szükséges, hogy kiegészítsük az éghajlatváltozás mérséklésére irányuló erőfeszítéseket. Ezek együttesen segíthetik a fenntartható fejlődés célkitűzéseinek elérését.

A korlátozások kiegészítése alkalmazkodással költséghatékonyan csökkentheti az éghajlatváltozás kockázatait. Az üvegházgázok kibocsátásának csökkentésével, de még légköri koncentrációik alacsony szinten történő stabilizálásával sem küszöbölhetjük ki teljes mértékben az éghajlatváltozást vagy a tengerszint-emelkedést, illetve ezek hatásait. Gyakran alkalmazkodunk majd az éghajlatváltozáshoz és a tengerszint-emelkedéshez, sőt ez néhány esetben már meg is történt. Mi több, a korlátozást a kockázatok kezelésére és a lehetőségek kihasználására irányuló tervszerű alkalmazkodás egészítheti ki, enyhítve az éghajlatváltozás hatásait. Az alkalmazkodás azonban költséges, s nem háríthat el minden kárt. Az alkalmazkodás költségei korlátozások segítségével csökkenthetők, mérséklendő és lassítandó az éghajlati változásokat, amelyek a rendszereket egyébként érnék.

Az éghajlatváltozás előreláthatóan más és más hatásokkal jár országoként, illetve országokon belül is. Az éghajlatváltozás kihívásának kezelése egy fontos igazságossági kérdést vet föl. A megfelelően előkészített korlátozás és alkalmazkodás előmozdíthatja a fenntartható fejlődést és a társadalmi igazságosságot országokon belül és országok között csakúgy, mint nemzedékek között. Várhatóan minden ország, ám különösen a fejlődő államok – amelyek a fejlett országoknál sebezhetőbbek az éghajlatváltozás hatásai által – nyernének azzal, ha az éghajlati szélsőségek megjósolt gyakoribbá válása kisebb mértékű volna. Az éghajlatváltozás mérséklése csökkentené a mai nemzedék által a jövő nemzedékekre rótt kockázatokat is.

7. kérdés: Milyen lehetőségekkel kecsegtet az üvegházgáz-kibocsátás csökkentése, milyen költségei, illetve hasznai volnának ennek, s mennyi ideig tartana a csökkentés?

- Milyen gazdasági, illetve társadalmi költségekkel és hasznokkal járnának azok az éghajlat-politikák és intézkedések (továbbá a Kiotói Jegyzőkönyv¹⁷ mechanizmusai), amelyek szóba jöhetnek az éghajlatváltozás regionális, illetve globális kezeléseként? Mindezek miként érintenék a társadalmi igazságosságot?

- A kutatás-fejlesztés, a befektetések és az egyéb politikák milyen kombinációi ösztönöznék a leghatékonyabban az éghajlatváltozást kezelő technológiák fejlesztését és bevezetését?

- Miféle gazdaságpolitika, illetve egyéb intézkedések hárríthatnák el a létező és a lehetséges akadályokat, és ösztönözhetnék a technológiák országok közötti átadását és alkalmazását a magán- és a közszférában? Milyen hatással lehet mindez a várható kibocsátásokra?

¹⁷ A Kiotói Jegyzőkönyvről lásd még kötetünk záró tanulmányát: Faragó Tibor – Takács-Sánta András – Feiler József: Az éghajlatváltozás kockázatának mérséklése – *a szerkesztő.*

- A fenti lehetőségek időzítése miként befolyásolja a gazdasági költségeket és hasznokat, illetve az üvegházgázok légköri koncentrációját a XXI. században és később?

Számos lehetőség – köztük technológiai megoldások – adódik a kibocsátások csökkentésére a közeljövőben, ám ezek alkalmazása akadályokba ütközik.

A Második Értékelő Jelentés (1995) óta jelentősen, a vártnál gyorsabban fejlődtek az üvegházgáz-kibocsátás csökkentését lehetővé tevő technikai eljárások. A nettó kibocsátás csökkenthető technológiák kombinációjával (például hatékonyabb átalakítás az energiatermelés és -felhasználás során, átállás alacsony vagy nulla üvegházgáz-kibocsátással járó technológiákra, a szén eltávolítása és tárolása, továbbá a földhasználat és az erdőgazdálkodás javítása). Különböző szinten álló technológiák egész sora fejlődött: a szélturbinák piaci bevezetésétől az ipari melléktermékgázok képződésének gyors kiküszöbölésén és a tüzelőanyag-cellákon át a föld alatti szén-dioxid-tárolás lehetőségének bizonyításáig.

Az üvegházgázok korlátozását célzó alternatívák sikeres alkalmazásához felül kell kerekedni azokon az akadályokon, amelyek gátolják az ezen alternatívákban rejlő technológiai, gazdasági és társadalmi lehetőségek teljes kiaknázását. A leküzdendő akadályok technikai, gazdasági, politikai, kulturális, társadalmi, viselkedési és/vagy intézményi jellegűek lehetnek. Térben, időben és ágazatonként is eltérnek a korlátozás lehetőségei, illetve az akadályok fajtái. Ennek oka, hogy a korlátozási kapacitások igen különböző mértékűek. A legtöbb ország számára hasznot hozna az innovatív finanszírozás, a társadalmi tanulás és innováció, az intézményi reform, a kereskedelmi korlátok megszüntetése és a szegénység felszámolása. Ezenkívül az iparosodott országokban elsősorban a társadalmi és viselkedésbeli akadályok elmozdítása kecsegtet még lehetőségekkel; az „átmeneti gazdaságú” (a piacgazdaságra éppen mostanában áttérő) országokban az árrendszer ésszerűsítése; a fejlődő országokban pedig az árrendszer ésszerűsítése, az információk és adatok jobb elérhetősége, a fejlett technológiák és a pénzügyi források

hozzáférhetővé tétele, valamint a képzés és a kapacitásbővítés. Ugyanakkor minden ország számára adódnak lehetőségek az akadályok bármely kombinációjának eltávolításából.

A nemzetek éghajlatváltozásra adott válaszlépései hatékonyabbak lehetnek, ha – az üvegházgázok nettó kibocsátásának korlátozására vagy csökkentésére irányuló – intézkedési csomagként vezetik be ezeket. Nemzeti sajátosságoktól függően a csomag tartalmazhat kibocsátási-, szén- vagy energiaadókat, forgalmazható vagy nem forgalmazható engedélyeket, földhasználati szabályozást, támogatásokat és/vagy ezek megszüntetését, letét-visszafizetés rendszereket, technológiai vagy teljesítményszabványokat, energiaforrás-arányok előírásait, termékek betiltását, önkéntes megegyezéseket, kormányzati kiadásokat és befektetéseket, továbbá kutatás-fejlesztési támogatást.

A különböző modellek és tanulmányok költségbeclései számos okból kifolyólag eltérnek egymástól.

Számos ok miatt jelentősen eltérnek és bizonytalanok a korlátozás költségeinek konkrét, számszerű beclései. A beclések különbözőnek egymástól, mivel az elemzések a) eltérő módszertannal készülnek,¹⁸ illetve b) eltérő mögöttes tényezőket és feltételezéseket használnak. Egyes tényezők bevonása alacsonyabb, míg másoké magasabb becléseket eredményez. Többféle üvegházhatású gáz, szénnyelők, az előidézett technikai változás, valamint a kibocsátási jogok kereskedelmének¹⁹ elemzésbe vonása csökkentheti a

¹⁸ A Második Értékelő Jelentés a költségek beclését szolgáló megközelítések kétféle csoportját írta le: az „alulról felfelé” irányuló megközelítéseket, amelyek konkrét technológiák és ágazatok értékeléséből építkeznek, valamint a „felülről lefelé” haladó modelleket, amelyek makroökonomiai összefüggésekből indulnak ki.

¹⁹ Környezeti célok piaci alapú megvalósítására irányuló eszköz. Akik az üvegházgáz-kibocsátás előírt csökkentését túlteljesítik, többleteljesítményüket felhasználhatják vagy értékesíthetik, ily módon ellensúlyozva más bel- vagy külföldi források kibocsátásait. A fogalmat itt tág értelemben használjuk, beleértve a kibocsátási engedélyek kereskedelmét és a projekt alapú együttműködést.

becsült költségeket. Továbbá a tanulmányok szerint néhány üveg-házgázforrás nettó társadalmi költség nélkül vagy akár nyereséggel korlátozható, amennyiben az intézkedések révén kihasználható olyan rövid távon megtérülő lehetőségek, mint például a piaci tökéletlenségek kiigazítása, a járulékos előnyök bevonása vagy az adóbevételek hatékony visszaforgatása. A költséghatékony kibocsátáscsökkentést elősegítő nemzetközi együttműködés mérsékelheti a korlátozás költségeit. Másfelől a rövid távú makrogazdasági megrázkódtatások, a belföldi és nemzetközi piaci mechanizmusok alkalmazásának kötöttségei, a magas tranzakciós költségek,²⁰ a járulékos költségek, valamint a gyenge hatásfokú adó-visszaforgatási intézkedések elemzésbe vonása növelheti a becsült költségeket. Mivel egyetlen elemzés sem számol a korlátozási költségekre ható szesz fontos tényezővel, ezért a korlátozások becsült költségei aligha pontosak.

A Harmadik Értékelő Jelentésben vizsgált tanulmányok szerint rengeteg lehetőség adódik a korlátozás költségeinek lefaragására.

Az alulról fölfelé építkező tanulmányok szerint sokféle alacsony költségű korlátozás lehetséges. E tanulmányok szerint a globálisan elérhető kibocsátáscsökkentés 2010-ig évi 1900–2600 millió tonna szénegyenérték,²¹ míg 2020-ig évi 3600–5000 millió tonna szénegyenérték. E lehetséges csökkentések fele oly módon érhető el 2020-ig, hogy a közvetlen hasznok (megtakarított energia) meghaladják a közvetlen költségeket (nettó tőke, működési és karbantartási költségek), míg a másik felének közvetlen költsége legfeljebb 100 amerikai dollár/tonna (1998-as árfolyamon, illetve szénegyenértékben). A nettó köz-

²⁰ A piaci működés, a piaci csereügyletek (tranzakciók) szervezési költségei, amelyek elsősorban az információk megszerzésével, illetve a szerződéses kapcsolatokkal függenek össze – *a szerkesztő*.

²¹ A kibocsátáscsökkentés-bebecslések egy olyan trenden alapulnak, amelynek nagyságrendje a B2 SRES-forgatókönyvéhez hasonló.

vetlen költségek e becslései 5–12%-os diszkontrátával²² számolnak, ami hasonló a közszférában használatos diszkontrátákhoz. A magánszféra belső megtérülési rátái széles határok között mozognak, és gyakran lényegesen nagyobbak, ami befolyásolja e technológiák terjedését a magánvállalkozások körében. A nettó közvetlen költségek e becslései alapján 2010–2020-ra lehetővé válna a globális kibocsátás visszaszorítása a 2000. évi szint alá – a kibocsátási forgatókönyvtől függően. E csökkentések további, olykor jelentős bevezetési költségekkel járnának, s támogató politikákat, fokozott kutatás-fejlesztést, hatékony technológiaátadást és további akadályelhárítást igényelhetnek. A Harmadik Értékelő Jelentés Harmadik Munkacsoportja által értékelt különféle globális, regionális, nemzeti, ágazati és projekt tanulmányok perspektívái, illetve feltételezései egymástól eltérők. Nem minden ágazatra, illetve régióra készültek tanulmányok.

Az erdők, a mezőgazdasági területek és más szárazföldi ökológiai rendszerek szénnyelő potenciálja jelentős. A szén megkötése és tárolása bár nem feltétlenül tartós, időt hagyhat más alternatívák továbbfejlesztéséhez, illetve megvalósításához. A biológiai csökkentés három stratégiája: a) a meglévő szénraktárak megőrzése, b) szénmegkötés a szénraktárak méretének növelésével,²³ valamint c) helyettesítés biológiai termények fenntartható termesztésével. A biológiai szénkivonás becsült globális potenciálja 2050-re százmilliárd tonnás nagyságrendű (kumulálva), ami ugyanezen időszak várható fosszilizálóanyag-kibo-

²² Diszkontáláskor valamilyen jövőben esedékes pénzösszeg (bevétel vagy költség) mai értékét keressük. A mai érték vagy jelenérték kisebb, mint a jövőbeli összeg, mivel le kell mondani a jövedelem kamatozásának lehetőségéről a jelenbeli és a jövőbeli időpont között. A diszkontráta a jelenérték kiszámításához alkalmazott kamatláb – *a szerkesztő.*

²³ A földhasználat változása befolyásolhatja a légköri szén-dioxid-koncentrációt. Abban a hipotetikus esetben, ha a történelem során végbement földhasználati változások által fölszabadított szén egy évszázad alatt visszakerülne a szárazföldi bioszférába (például erdősítéssel), a szén-dioxid-koncentráció 40-70 ppm-mel csökkenne.

csátásának nagyjából 10–20%-a – bár e becslés meglehetősen bizonytalan. E lehetőség kiaknázása a rendelkezésre álló földtől és víztől, továbbá a termőföld-gazdálkodási gyakorlatok terjedési sebességétől függ. A légköri szénmennyiség biológiai csökkentésében a legnagyobb potenciállal a szubtrópusi és a trópusi régiók rendelkeznek. A biológiai szénkivonás költségeinek eddigi becslései igencsak eltérők: egy tonna szén kivonásának költsége számos trópusi országban 10 centtől nagyjából 20 amerikai dollárig terjed, míg ugyanez a nem trópusi országokban 20–100 amerikai dollár. A költségelemzések és a szénmennyiség kiszámításának módszerei egyelőre nem összehasonlíthatók egymással. Ráadásul a költségszámítások sokszor nem tartalmazzák – többek között – a megfelelő diszkontálást; az infrastruktúra, a monitorozás, az adatgyűjtés és a végrehajtás költségeit; a föld, illetve a fenntartás használdozat-költségeit,²⁴ valamint más rendszeres költségeket. Ezekről gyakran megfeledkeznek, vagy szándékosan kihagyják a számításokból. A becsült tartomány alsó határa alighanem túlságosan alacsonyan van, ugyanakkor idővel egyre jobban értjük, illetve kezeljük a költségeket. A biológiai csökkentés különféle lehetőségei mérsékelhetik is, de növelhetik is a szén-dioxidon kívüli egyéb üvegházgázok kibocsátását.

Vizsgálatonként és régióként eltér, hogy a B Függelék országaiban²⁵ mekkorára becsülik a Kiotói Jegyzőkönyv végrehajtásának költségeit. E költségek egyebek mellett attól is erősen függenek, hogy milyen feltételezésekkel élünk a kiotói mechanizmusok²⁶ alkalmazását illetően, továbbá hogy ezek miként illeszkednek a belföldi intézkedésekhez (a 8. ábra a II. Mellékletben szereplő or-

²⁴ Adott gazdasági jószág következő legjobb felhasználási módjának, azaz a fönládozott alternatívának (haszonlehetőségének) az értéke – *a szerkesztő.*

²⁵ A Kiotói Jegyzőkönyv (1997) B Függelékének országai azok, amelyek az üvegházgázokra konkrét kibocsátáscsökkentést vállaltak. Idetartoznak a „fejlett” országok (az OECD-tagországok), valamint az „átmeneti gazdaságú” országok (kivéve Fehéroroszországot és Törökországot) – *a szerkesztő.*

²⁶ A kiotói mechanizmusokról I. kötetünk záró tanulmányát – *a szerkesztő.*

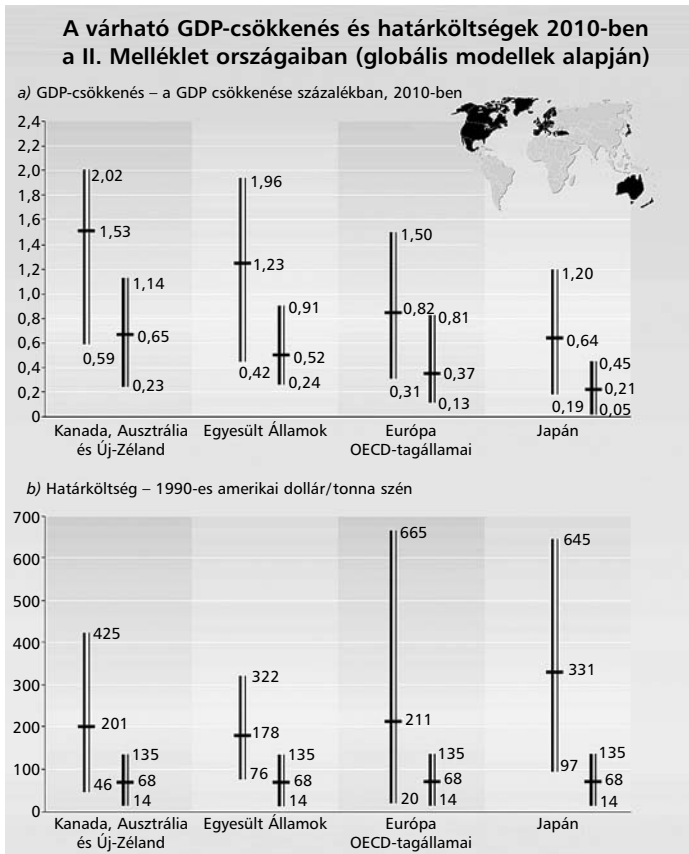
szágek²⁷ régiónkénti korlátozási költségeit hasonlítja össze). Az e költségeket tárgyaló és összehasonlító globális tanulmányok nagy többsége nemzetközi energiagazdasági modelleket használ. Kilenc közülük a GDP alábbi alakulását jósolja. Ha a B Függelék országai nem kereskednek a szénkibocsátási jogokkal, akkor a GDP 0,2–2%-os csökkenése²⁸ várható 2010-re a II. Melléklet különféle régióiban. Ha a B Függelék országai teljes körűen kereskednek a szénkibocsátási jogokkal, akkor a várható GDP-csökkenés 0,1–1,1% lesz 2010-re. A fenti globális modellvizsgálatok a kiotói célok elérésének nemzeti határköltségeit²⁹ a kibocsátási jogok kereskedelme nélkül egy tonna szénre vonatkoztatva 20–600 amerikai dollárra teszik, míg ugyanez az érték 15–150 amerikai dollár, ha a B Függelék országai kereskednek a kibocsátási jogokkal. A legtöbb átmeneti gazdaságú országban a GDP-t érő hatás az elhanyagolhatótól a többszázalékos növekedésig terjed. Ugyanakkor néhány átmeneti gazdaságban a Kiotói Jegyzőkönyv alkalmazása ugyanúgy hat a GDP-re, mint a II. Melléklet országaiban. A vizsgálatok idején a legtöbb modell nem foglalkozott a szénnyelők, a szén-dioxidon kívüli egyéb üvegházgázok, a tiszta

²⁷ Az ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezmény (1992) II. Mellékletének országaitól elvárható, hogy pénzügyi forrásokat biztosítsanak a „fejlődő” országoknak, hogy azok teljesíteni tudják kötelezettségeiket; illetve hogy elősegítsék környezetkímélő technológiák átadását a „fejlődő” országoknak. Idetartozik az összes „fejlett” ország (az OECD-tagországok) – a szerkesztő.

²⁸ A számított GDP-csökkenések az egyes modellek által előre jelzett alap-GDP-szintekhez képest értendők. A modellek csak a szén-dioxid csökkentésével számoltak, míg a fenti, alulról fölfelé építkező elemzések az összes üvegházhatású gázt vizsgálták. A költségek többféle mértékegységben is kifejezhetők. Ha például a B Függelék országai teljes körűen kereskednek a szénkibocsátási jogokkal, akkor a kiotói célok teljesítésének költsége a fejlett országokban évente a GDP fél százalékának megfelelő nagyságrendű. Ez – a II. Melléklet országaiban – évi 125 milliárd amerikai dollár vagy 125 dollár/fő/év 2010-ig (SRES-feltételezések). Mindez a gazdaság növekedési ütemét kevesebb mint 0,1 százalékponttal módosítja tíz év alatt.

²⁹ A gazdasági termelés újabb egységének előállításához szükséges pótlólagos költség (összköltségnövekmény) – a szerkesztő.

8. ábra. A várható GDP-csökkenés és határköltségek 2010-ben a II. Melléklet országaiban (globális modellek alapján): a) GDP-csökkenés, b) határköltségek. A 2010-re várható GDP-csökkenés egy-egy modell alap- GDP-előrejelzéséhez képest értendő. E becslések kilenc olyan modellező munkaközösség eredményein alapulnak, amelyek részt vettek egy „Energy Modeling Forum”-vizsgálatban. Az ábra előrejelzései négy, a II. Melléklet országait magukban foglaló régióra vonatkoznak. A modellek két forgatókönyvet vizsgáltak. Az elsőben minden régió úgy teljesíti az előírt csökkentést, hogy a szénkibocsátási jogok kizárólag belföldön forognak. A másodikban a B Függelék országai egymás között kereskedhetnek, ezért a határköltségek minden régióban ugyanakkorák.



Két forgatókönyv lehetséges kimeneteleinek tartománya

Baloldali oszlopok: A szénkibocsátási jogok nemzetközi kereskedelme nélkül: minden régió köteles végrehajtani az előírt csökkentést.

Jobboldali oszlopok: a B Függelék országaiban megengedett a szénkibocsátási jogok teljes körű kereskedelme.

Az oszlopok melletti három szám a modellek által előre jelzett legmagasabb, középső és legalacsonyabb értékeket mutatja.

fejlesztési mechanizmus,³⁰ a hasznot hajtó alternatívák, a járulékos hasznot vagy az adóbevételek visszaforgatásának hatásaival; ezek bevonása csökkenti a becsült költségeket. Másfelől a modellek olyan feltételezésekkel élnek, amelyek alábecsülik a költségeket: a kibocsátási jogok kereskedelmének teljes körű kihasználását vélelmezik tranzakciós költségek nélkül mind a B Függelék országain belül, mind pedig azok között; feltételezik, hogy a korlátozási válaszleptések hatékonysága tökéletes lesz; továbbá hogy a gazdaságok már 1990 és 2000 között megkezdik a felkészülést a kiotói célok elérésére. A kiotói mechanizmusokból származó költségcsökkenés a végrehajtás részletein is múlhat, beleértve a hazai és a nemzetközi mechanizmusok illeszkedését, a korlátokat és a tranzakciós költségeket.

Az I. Melléklet³¹ országaira vonatkozó kibocsátási korlátozásoknak jól meghatározható, jóllehet változó mértékű túlsordulási hatásai³² vannak az I. Mellékleten kívüli országokra nézve. Az elemzések szerint az I. Mellékleten kívüli, olajexportőr országokban mind a GDP, mind az olajból származó bevételek várhatóan

³⁰ Clean Development Mechanism (CDM): a kiotói mechanizmusok egyike. Lehetőséget ad arra, hogy egy ország ne saját határain belül, hanem egy másik – jelen esetben „fejlődő” – országgal együttműködve csökkentse üvegházgáz-kibocsátását – a szerkesztő

³¹ Az ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezmény (1992) I. Mellékletének országai vállalták, hogy üvegházgáz-kibocsátásukat egyedül vagy egymással összefogva 2000-ig az 1990-es szintre csökkentik. Idetartoznak a „fejlett” országok (OECD-tagországok), valamint az „átmeneti gazdaságú” országok – a szerkesztő.

³² Ezek a túlsordulási (spillover) hatások csak gazdasági hatásokat tartalmaznak, környezetieket nem.

csökkenni fognak. A legalacsonyabb költségekről beszámoló vizsgálat 2010-re a GDP 0,2%-os csökkenését jelzi előre a szénkibocsátási jogok kereskedelme nélkül, és 0,05% alatti csökkenést jósol, ha a B Függelék országai egymás között kereskedhetnek a jogokkal.³³ A legmagasabb költségekről beszámoló vizsgálat 2010-re az olajból származó bevételek 25%-os csökkenését prognosztizálja a szénkibocsátási jogok kereskedelme nélkül, míg 13%-os visszaesést jósol, ha a B Függelék országai egymás között kereskedhetnek a jogokkal. E tanulmányok csak a B Függelék országai közötti szénkibocsátási jogok kereskedelmét veszik figyelembe, s nem számolnak olyan további intézkedésekkel és eljárásokkal, amelyek csökkentenék az I. Mellékleten kívüli, olajexportőr országokat érő hatásokat. Ilyen lehetőség például a fosszilis tüzelőanyagok támogatásának beszüntetése, az energiaadó újrastrukturálása a széntartalom alapján, a földgáz használatának fokozása vagy gazdaságaik több lábra állítása. Azokat az országokat, amelyek nem exportálnak olajat és az I. Mellékletben sem szerepelnek, kedvezőtlenül érintheti az OECD-országokba irányuló exportjuk iránti kereslet csökkenése és az általuk továbbra is importált – magas szénkibocsátással gyártott és egyéb – termékek árának emelkedése. Ugyanakkor hasznot húzhatnak az üzemanyagáruk csökkenéséből, a magas szénkibocsátással gyártott termékek nagyobb exportjából, valamint a környezetkímélő technológiák és szaktudás átvételéből. Bizonyos magas szénkibocsátású iparágak esetleges áttelepülése az I. Mellékletben nem szereplő országokba, valamint a megváltozó árak szélesebb körű kereskedelmi hatásai 5–20%-os nagyságrendű „szénszivárgáshoz”³⁴ vezethetnek.

³³ E becslült költségeket a GDP növekedési ütemében 2000 és 2010 között jelentkező különbségek formájában is kifejezhetjük. A szénkibocsátási jogok kereskedelme nélkül a GDP növekedési üteme évi 0,02 százalékponttal csökken, míg a B Függelék országainak egymás közötti kereskedelme esetén a növekedési ráta kevesebb mint 0,005 százalékponttal lesz kisebb évente.

³⁴ Szénszivárgáson jelen esetben a B Függelékben nem szereplő országok kibocsátásának növekedését értjük a B Függelék országaiban bevezetett csökkentések hatására, e csökkentések százalékában kifejezve.

A technológia fejlődése és terjedése a költséghatékony stabilizálás fontos elemei.

Környezetkímélő technológiák kifejlesztése és átadása kulcsszerepet játszhat az üvegházgáz-koncentrációk stabilizálásából fakadó költségek lefaragásában. Az országok, illetve régiók közötti technológiaátadás bővítheti a választási lehetőségeket regionális szinten. Az átvétel költségeit csökkenti a méretgazdaságosság³⁵ és a tanulás. Megbízható gazdaságpolitikával és irányadó keretfeltételekkel, továbbá az átláthatóság és a politikai stabilitás biztosításával a kormányok technológia-átadást ösztönző környezetet teremthetnek a magán- és a közsférában egyaránt. A megfelelő emberi és szervezeti kapacitások minden fázisban elengedhetetlenek ahhoz, hogy gyorsítsuk a technológiaátadást, s javítsuk annak minőségét. Mindezen túl az igazán hatékony technológiaátadás kulcsa a hálózatépítés a magán- és a közsféra érintett szereplői között, valamint a kiemelt figyelem a többszörös járulékos előnyökkel kecsegtető termékekre és technikákra, amelyek illeszkednek a helyi fejlesztési igényekhez és célokhoz.

Az alacsonyabb kibocsátásokkal számoló forgatókönyvek újfajta energiaforrás-fejlesztést és az energetikai kutatás-fejlesztés fokozását igénylik annak érdekében, hogy gyorsabbá váljon a korszerű, környezetkímélő energiatechnológiák kifejlesztése és bevezetése. Gyakorlatilag bizonyos, hogy a légköri szén-dioxid-koncentráció XXI. századi alakulására a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó szén-dioxid-kibocsátás lesz a legnagyobb hatással. A Harmadik Értékelő Jelentésben értékelt erőforrásadatok szerint a XXI. században az energiaforrás-arányok megváltozására s új energiaforrások kiaknázására számíthatunk. Az energiaforrások és a kapcsolódó technológiák és beruházások

³⁵ A termelés vagy adott termék átlagköltsége az üzemméret és a kibocsátás növekedésével csökken hosszabb távon. A méret növekedésével egyfelől az állandó költségek nagyobb termelési mennyiségre oszlanak szét. Másfelől a méretgazdaságosság kialakulásában fontos elem a szakértelem növekedése, a termelési folyamatok „olajozottabbá” válása a tapasztalatok bővülése, illetve a begyakorlás és az ezen keresztül tanulás révén – a szerkesztő.

megválasztásán múlik, hogy képesek leszünk-e stabilizálni az üvegházhatású gázok koncentrációit, s ha igen, milyen szinten és milyen áron. Mindez attól függetlenül igaz, hogy a nem konvencionális kőolaj- és földgázkészletek hasznosítása, a nem fosszilis energiaforrások vagy a szén megkötésével és tárolásával kiegészített fosszilis energiategológia felé mozdulunk-e el.

Mind a stabilizáláshoz vezető út, mind maga a stabilizációs szint alapvetően meghatározza a korlátozás költségeit.³⁶

Egy adott stabilizációs szinthez vezető út befolyásolja a korlátozás költségeit (lásd a 9. ábrát). A világ jelenlegi energiarendszerének fokozatos elmozdítása egy alacsonyabb szénkibocsátású gazdaság felé minimalizálja a meglévő tőkejavak gyorsított kívánásából fakadó költségeket, időt hagy a technológiai fejlődésre, továbbá elkerülhető általa az a veszély, hogy a gyorsan fejlődő alacsony kibocsátású technológiák korai változatai terjedjenek el visszafordíthatatlan módon. Ugyanakkor a rövid távú cselekvés felgyorsítása rugalmasabbá tenné a stabilizáció felé haladást, csökkenti a várható éghajlatváltozás környezeti és emberi kockázatait/költségeit, elősegítheti a már meglévő alacsony kibocsátású technológiák gyorsabb bevezetését, valamint rövid távon erősen ösztönözné a jövőbeli technológiai változásokat.

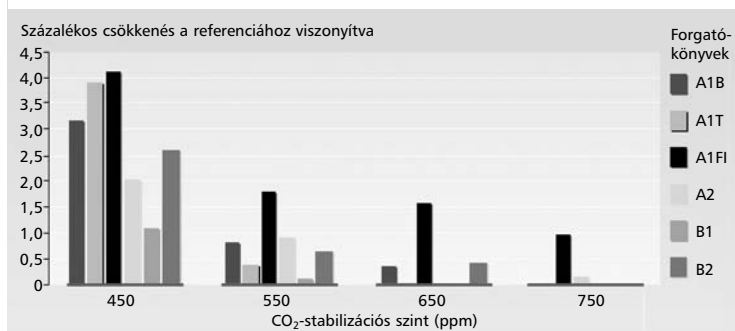
Tanulmányok szerint minél alacsonyabban stabilizáljuk a légköri szén-dioxid-koncentrációt, annál nagyobbak lesznek a költségek. Erősen befolyásolhatja az abszolút költségeket, hogy milyen viszonyítási alapot választunk (lásd a 9. ábrát). Miközben a költségek csak enyhén növekednek, ha a koncentrációt 750 ppm helyett 550 ppm-en stabilizáljuk, a költségnövekedés nagyobb, ha 550 ppm-ről 450 ppm-re lépünk vissza – kivéve ha a viszonyítási alapul szolgáló forgatókönyv kibocsátásai nagyon alacsonyak. Noha a stabilizálást célzó korlátozás a modellek szerint hosszú távon nem módosít jelentősen a GDP globális növekedési pályáját, e modellek nem tükrözik azokat a nagyobb változásokat, amelyek

³⁶ Az éghajlatváltozás hatásait a 6. kérdésben tárgyaljuk.

valamilyen rövidebb időszakot vagy bizonyos ágazatokat, illetve régiókat jellemeznek. E tanulmányok nem foglalkoztak a szénmegkötéssel és a nagyra törőbb technológiaösztönzés lehetséges hatásaival. Továbbá az időhorizont kitágításával a bizonytalanság kérdése is egyre fontosabbá válik.

9. ábra. Kapcsolat a korlátozás miatti relatív GDP-csökkenés, az SRES-forgatókönyvek és a stabilizációs szint között 2050-ben. A GDP a stabilizációs szint szigorodásával erősebben csökken, ugyanakkor a költségek nagyon érzékenyek a viszonyítási alapul szolgáló forgatókönyvre. Ezek az előre jelzett korlátozási költségek nem tartalmazzák az elkerült éghajlatváltozás lehetséges hasznait

A világ GDP-jének átlagos csökkenése 2050-ben



8. kérdés: Hogyan hatnak egymásra az éghajlat ember által előidézett várható változásai és az egyéb környezeti problémák (például a városi levegőszennyezés, a regionális savas ülepedés, a biológiai sokféleség csökkenése, a magas légköri [sztratoszferikus] ózonszint vékonyodása, valamint az elszívatosodás és a termőföldek leromlása)? Mit tudunk e költségek költségeiről, hasznairól és jelentőségéről a környezet, a társadalom és a gazdaság szempontjából (hogyan ezek ismeretében az éghajlatváltozásra adott válaszokat társadalmilag igazságos módon ágyazhatjuk a fenntartható fejlődés tágabb, helyi, regionális és globális stratégiáiba)?

A helyi, a regionális és a globális környezeti problémák elválaszthatatlanul összefonódnak és befolyásolják a fenntartható fejlődést. Emiatt léteznek egymást erősítő (szinergikus) lehetőségek arra, hogy hatékonyabb válaszokat adjunk e környezeti problémákra, miáltal növeljük a hasznokat, csökkentjük a költségeket és fenntarthatóbb módon elégtűjük ki az emberi szükségleteket.

Az emberi szükségletek kielégítése sok esetben környezeti károkat okoz, ami veszélyezteti a jelen és a jövő szükségleteinek kielégítését. Például a mezőgazdasági termelés fokozható több nitrogénműtrágyával, öntözéssel vagy a természetes füves területek és az erdők termőfölddé alakításával. Ezek a változások azonban befolyásolhatják a Föld éghajlatát az üvegházhatású gázok felszabadulása miatt, a termőföldek leromlásához vezethetnek a talajok eróziója és szikesedése révén, valamint csökkenthetik a biológiai sokféleséget és a szénmegkötést a természetes ökológiai rendszerek átalakulása és feldarabolódása (fragmentálódása) által. A mezőgazdaság termelékenységét ugyanakkor kedvezőtlenül érintheti az éghajlatváltozás (főként a trópusi és szubtrópusi területeken); a biológiai sokféleség csökkenése, valamint a genetikai és a fajsztű változások; továbbá a termőföldek leromlása a talajtermékenység gyengülése miatt. E változások közül sok rontja az élelmiszer-ellátás biztonságát, és aránytalan mértékben sújtja a szegény rétegeket.

Az emberi eredetű éghajlatváltozás elsődleges mozgatórugói hasonlóak a legtöbb környezeti és társadalmi-gazdasági probléma forrásához. Ezek a gazdasági növekedés, a technológiák széles körű megváltozása, az életviteli minták, a demográfiai változások (népességszám, korösszetétel és migráció), valamint a kormányzati struktúrák. Mindez

– növelheti a természeti erőforrások és az energia iránti keresletet;

– ronthatja a piac működését, ideértve az olyan támogatásokat, amelyek erőforrás-pazarlásra vezetnek és gátolják a környezetkímélő technológiák piacra kerülését; továbbá ideértve a természeti erőforrások valódi értékének fel nem ismerését, a ter-

mészeti erőforrások globális értékeinek negligálását helyi szinten, valamint a környezetpusztulás költségeinek kihagyását egy erőforrás piaci árából;

– korlátozhatja a technológiák elérhetőségét és átadását, továbbá a technológiák nem hatékony működtetéséhez és a jövő technológiáira irányuló kutatás-fejlesztés elégtelen támogatásához vezethet;

– a természeti erőforrásokkal és az energiával való helytelen gazdálkodást eredményezhet.

Az éghajlatváltozás olyan környezeti kérdéseket érint, mint a biológiai sokféleség csökkenése, az elsivatagosodás, a magas légköri ózonréteg vékonyodása, az édesvízellátás és a levegőminőség, amelyek közül sok vissza is hat az éghajlatváltozásra. Például az éghajlatváltozás várhatóan súlyosbítja a helyi és a regionális levegőszennyezést és lassítja a magas légköri ózonréteg regenerálódását. Ezenkívül az éghajlatváltozás befolyásolhatja a szárazföldi és vízi ökológiai rendszerek produktivitását és összetételét, ami a genetikai és faji sokféleséget egyaránt csökkentheti; gyorsíthatja a termőföldek leromlását; továbbá sok helyütt súlyosbíthatja az édesvizek mennyiségével és minőségével kapcsolatos problémákat. Megfordítva pedig: a helyi és regionális levegőszennyezés, a magas légköri ózonréteg vékonyodása, az ökológiai rendszerek megváltozása, valamint a termőföld leromlása hatással lehetnek a Föld éghajlatára, mivel megváltoztatják az üvegházhatású gázok forrásait és nyelőit, a légkör sugárzási egyensúlyát és a földfelszín fényvisszaverő képességét.

A helyi, a regionális és a globális környezeti problémák közötti összefüggések, illetve ezek kapcsolata az emberi szükségletek kielégítésével sinergiák megragadására kínálnak lehetőségeket. Ezek révén különféle válaszokat adhatunk az éghajlatváltozásra és csökkenthetjük a változással szembeni sebezhetőséget, jóllehet főnnállhatnak átváltások³⁷ az egyes problémák között. Egyszerre

³⁷ Átváltás (trade-off) esetén egy probléma mérséklésekor egy (vagy több) másik probléma keletkezik vagy súlyosbodik. Például atomerőművel csökkentjük a szén-dioxid-kibocsátás problémáját, ám helyette nukleáris hulladék-problémát és egyéb kockázatokat teremtünk – a szerkesztő.

több környezeti és fejlesztési célt is elérhetünk, ha technológiák, politikák és intézkedések olyan széles körét alkalmazzuk, amelyek világosan felismerik a környezeti problémák és az emberi szükségletek szoros kapcsolatát. Az energiaszükséglet kérdése – a helyi és a regionális levegőszennyezés, illetve a globális éghajlatváltozás költséghatékony mérséklésén túl – olyan interdiszciplináris vizsgálatokat igényel, amelyek során fölmérjük, hogy milyen szinergiák és átváltások jelentkeznek akkor, amikor a gazdaságilag, környezetileg és társadalmilag leginkább fenntartható módon próbáljuk meg kielégíteni az energiaigényeket. Az üvegházhatású gázok, illetve a helyi és regionális szennyezőanyagok kibocsátása csökkenthető hatékonyabb energiafelhasználással, továbbá az alacsonyabb szénkibocsátású fosszilis tüzelőanyagok, a korszerű fossziliztüzelőanyag-technológiák (például nagy hatékonyságú, kombinált ciklusú gázturbinák, tüzelőanyag-cellák, illetve kombinált hő- és áramtermelés), valamint a megújulóenergia-technológiák (például környezetkímélő bioüzemanyagok, víz, nap-, szél- és hullámenergia) részesedésének növelésével. Ezenkívül a légköri üvegházgáz-koncentráció növekedése mérsékelhető a szénmegkötés fokozásával is, például erdősítés, újrafásítás vagy az erdőirtás lassítása révén, továbbá az erdők, legelők, vizes területek és termőföldek jobb kezelésével. Mindezek kedvezően hathatnak a biológiai sokféleségre, az élelmiszer-termelésre, a termőföldre és a vízkészletekre. Az éghajlatváltozással szembeni sebezhetőség csökkentése gyakran csökkentheti a kiszolgáltatottságot más környezeti nehézségekkel szemben is, és fordítva. Néhány esetben átváltásokkal szembesülünk: például a szénmegkötést célzó monokultúrás ültetvények csökkenthetik a helyi biológiai sokféleséget.

Az országok alkalmazkodási és korlátozási képessége javítható, ha az éghajlat-politikát összehangoljuk a nemzeti fejlesztési irányelvek gazdasági, társadalmi és egyéb környezeti vonatkozásaival. Az éghajlattal kapcsolatos korlátozás és alkalmazkodás járulékos hasznokat hozhat, amelyek emberi szükségleteket elégíthetnek ki, fokozhatják a jólétet és egyéb környezeti hasznokkal járnak. A gazdasági erőforrásokban szegény és alacsony technoló-

giai fejlettséggel rendelkező országok gyakran rendkívül kiszolgáltatottak az éghajlatváltozással és más környezeti problémákkal szemben.

A többoldalú környezeti megállapodások által érintett környezeti problémák erősen egymásba fonódnak, így a megállapodások végrehajtásakor a szinergiák kihasználhatók. Globális környezeti problémákkal egy sor különálló egyezmény és megállapodás, valamint számos regionális megállapodás foglalkozik. Ezekben – többek között – közös témákat és a célkitűzések elérésének hasonló módszereit találhatjuk: például végrehajtási terveket, adatgyűjtést és -feldolgozást, az emberi és infrastrukturális kapacitások javítását, továbbá jelentési kötelezettséget. Például – a különbségek dacára – a Bécsi Egyezmény az ózonréteg védelméről és az ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezménye tudományos értelemben összefüggenek egymással, mivel az ózonréteget károsító vegyületek nagy része fontos üvegházhatású gáz is egyben, továbbá a mára betiltott ózonkárosító anyagok helyettesítőinek egy része szintén üvegházhatású gáz.

9. kérdés: Az éghajlatváltozás okait, illetve a modellek előrejelzéseit tekintve melyek a legszilárdabb felismerések és a kulcsbizonytalanságok az alábbi területeken:

- jövőbeli üvegházgáz- és aeroszol-kibocsátások,
- jövőbeli üvegházgáz- és aeroszol-koncentrációk,
- jövőbeli regionális és globális éghajlati változások,
- az éghajlatváltozás regionális és globális hatásai,
- a korlátozási és alkalmazkodási alternatívák költségei és

hasznai?

E jelentésben *szilárd felismerés* az, amely sokféle megközelítés, módszer, modell, illetve feltételezés mellett is érvényes, és amelyről valószínűsíthető, hogy viszonylag kevésbé terheli bizonytalanságok. Ebben az összefüggésben *kulcsbizonytalanság* minden olyan bizonytalanság, amelynek csökkentésével újabb

3. táblázat. Szilárd felismerések és kulcsbizonytalanságok

Szilárd felismerések		Kulcsbizonytalanságok
<p>A megfigyelések szerint a Föld felszíne melegszik. Igen valószínű, hogy a műszeres mérések kezdete óta a legmelegebb évtized az 1990-es volt globálisan (10/b ábra).</p> <p>1750 óta jelentősen növekedett a fő emberi eredetű üvegházhatású gázok (CO₂ [10/a ábra], CH₄, N₂O és troposzférikus O₃) légköri koncentrációja.</p> <p>Néhány üvegházhatású gáz hosszú élettartamú (például CO₂, N₂O és perfluorkarbonok).</p> <p>Az elmúlt ötven évben megfigyelt melegedés nagy részét valószínűleg az üvegházgáz-koncentrációk emberi eredetű növekedése okozta.</p>	<p>Az éghajlat változása és ennek okai</p>	<p>Az éghajlat természetes változékonyságának mértéke és jellemzői.</p> <p>A természetes tényezők és az emberi eredetű aeroszolok által (főként közvetve) előidézett éghajlati kényszerek.</p> <p>A regionális trendek összekapcsolása az emberi eredetű éghajlatváltozással.</p>
<p>Gyakorlatilag bizonyos, hogy a légköri szén-dioxid-koncentráció XXI. századi emelkedése leginkább a fosszilis tüzelőanyagok elégetése miatt következik majd be.</p> <p>A szén-dioxid légköri koncentrációjának 450, 650, illetve 1000 ppm-en történő stabilizálásához a globális emberi eredetű szén-dioxid-kibocsátást az 1990-es szint alá kellene visszacsorítani néhány évtizeden, egy évszázadon, illetve két</p>	<p>Az üvegházgázok és az aeroszolok jövőbeli kibocsátásai és koncentrációi az SRES- és a stabilizációs forgatókönyvekre épülő modellek és előrejelzések alapján</p>	<p>A különféle SRES-forgatókönyvek^b feltevései a gazdasági növekedést, a technológiai fejlődést, a népességnövekedést és a kormányzati struktúrákat illetően (ezek vezetnek a legnagyobb bizonytalanságokhoz az előrejelzésekben). Pontatlan kibocsátási forgatókönyvek az ózonra és az aeroszolok előanyagaira.</p> <p>A szénkőforgalmi modellek tényezői, beleértve az éghajlati visszacsatolások hatásait.^b</p>

Szilárd felismerések		Kulcsbizonytalanságok
<p>évszázadon belül, és ezután is tartósan csökkennie kellene, egészen a jelenlegi szint töredékére. A kibocsátás körülbelül egy-két évtized múlva (a 450 ppm-es stabilizálásnál), illetve nagyjából egy évszázad múlva (az 1000 ppm-es stabilizálásnál) tetőzne.</p> <p>A legtöbb SRES-forgatókönyv szerint a kén-dioxid (amiből a szulfát aeroszollok képződnek) kibocsátása alacsonyabb lesz 2100-ban, mint amekkora 2000-ben volt.</p>		
<p>A Föld felszínének átlaghőmérséklete olyan ütemben fog emelkedni a XXI. században, amely az elmúlt tízezer évben nagy valószínűséggel példa nélküli (10/b ábra).</p> <p>Nagyon valószínű, hogy szinte minden szárazföldi terület a globális átlag feletti mértékben fog melegedni, több lesz a forró nap és a hóhullám, ugyanakkor kevesebb a hideg nap és a hideghullám.</p> <p>Tengerszint-emelkedés a XXI. században, ami később is még évszázadokon át tart.</p> <p>Erőteljesebb vízkörforgás. A csapadék globális átlaga növekszik és sokfelé nagyon valószínű, hogy több lesz a nagy csapadékú esemény.</p>	<p>A globális és a regionális éghajlat jövőbeli változásai SRES-forgatókönyveken alapuló modellbecslések szerint</p>	<p>A különféle SRES-forgatókönyvek feltételezései (lásd fönn).^c</p> <p>A modell-előrejelzések tényezői,^c elsősorban az éghajlati érzékenység, az éghajlati kényszer és a viszszaatolási folyamatok. Ez utóbbiak közül főként a vízgőz, a felhők és az aeroszollok hatásai (ideértve azok közvetett hatásait is) bizonytalanok.</p> <p>A hőmérséklet- és tengerszint-előrejelzések valószínűségeloszlásai.</p> <p>A nagy léptékű, hirtelen/nem lineáris változások mechanizmusa, számszerűsítése, időléptéke és valószínűsége. (Az óceán termohalin vízkörzésében például ilyen változás állhat be.)</p>

Szilárd felismerések		Kulcsbizonytalanságok
<p>Növekvő nyári szárazság a mérsékelt öv szárazföldjeinek belsejében, az aszályok kockázatának növekedése mellett.</p>		<p>A regionális modellezés képessége (főleg a csapadékra), ami helyi és regionális szinten ellentmondásos modell-előrejelzéseket ad, és megnehezíti a számszerűsítést.</p>
<p>Az előrevetített éghajlatváltozás mind a környezeti, mind a társadalmi-gazdasági rendszereket befolyásolni fogja. E hatások egyaránt lehetnek jótékonyak vagy kedvezőtlenek, ám minél nagyobb és gyorsabb az éghajlat módosulása, annál inkább túlsúlyba kerülnek a kedvezőtlen hatások.</p> <p>Az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásai minden bizonnyal aránytalanul sújtják a fejlődő országok lakosságát és az összes ország szegényeit.</p> <p>Az ökológiai rendszerek és a fajok kiszolgáltatottak az éghajlatváltozással és más stresszhatásokkal szemben (erre utalnak a közelmúlt regionális hőmérséklet-változásainak megfigyelt hatásai), és néhányuk visszafordíthatatlanul károsodhat, vagy elpusztulhat.</p> <p>Kis hőmérséklet-emelkedés hatására a közepes és a magas szélességek némelyikén a növényi produktivitás növekedne (a fák, illet-</p>	<p>Az éghajlatot jellemző átlagok és szélsőségek változásának regionális és globális hatásai</p>	<p>Az előre jelzett éghajlatváltozás helyi és regionális részleteinek megbízhatósága, különös tekintettel az éghajlati szélsőségekre.</p> <p>Annak értékelése és előrejelzése, hogy az ökológiai, a társadalmi (például az ízeltlábúak, illetve víz által terjesztett betegségek hatása) és a gazdasági rendszerek hogyan reagálnak az éghajlatváltozás és az egyéb stresszhatások (például a földhasználat átalakulása, a helyi szennyezés) együttes következményeire.</p> <p>Az éghajlatváltozás kárainak azonosítása, számszerűsítése és értékelése.</p>

Szilárd felismerések		Kulcsbizonytalanságok
<p>ve egyes mezőgazdasági termények esetében). Néhány Celsius-foknál nagyobb melegedés azonban már csökkentené a növényi produktivitást a világ legtöbb régiójában.</p> <p>Számos fizikai rendszer sérülhet az éghajlatváltozás miatt (például a tengerszint emelkedésével súlyosbodnak a part menti viharos hullámverések hatásai, folytatódik a gleccserek és az állandóan fagyott altalaj visszahúzódása).</p>		
<p>Az üvegházgáz-kibocsátás csökkentése (a korlátozás) enyhítené az éghajlatváltozás természeti és emberi rendszerekre gyakorolt nyomását.</p> <p>A korlátozási költségek régióként és ágazatonként eltérnek. E költségek csökkentésére jelentős technológiai és egyéb lehetőségek kínálóznak. A kibocsátási jogok hatékony kereskedelme is csökkenti az abban résztvevők költségeit.</p> <p>Az I. Melléklet országaira vonatkozó kibocsátási korlátozásoknak jól meghatározható, jóllehet változó mértékű túlsordulási hatásai vannak az I. Mellékleten kívüli országokra nézve.</p>	<p>A korlátozás és az alkalmazkodás költségei és hasznai</p>	<p>Az éghajlatváltozás és az egyéb környezeti problémák közötti kölcsönhatások, valamint ezek társadalmi-gazdasági következményei.</p> <p>Az energia jövőbeni ára, illetve az alacsony kibocsátású technológiák költségei és hozzáférhetősége.</p> <p>Azok az eszközök, amelyekkel eltávolíthatók az alacsony kibocsátású technológiák útjában álló akadályok, valamint e folyamatok költségei.</p> <p>A nem tervezett, váratlan, azonnali következményekkel járó korlátozás számszerű költségei.</p> <p>A korlátozás számszerű költségei, amelyek többféle</p>

Szilárd felismerések		Kulcsbizonytalanságok
<p>A nemzetek éghajlatváltozásra adott válaszaik hatékonnyabbak lehetnek, ha – az üvegházgázok nettó kibocsátásának korlátozására vagy csökkentésére irányuló – intézkedési csomagként vezetik be őket.</p> <p>Az alkalmazkodás mérsékelheti az éghajlatváltozás káros hatásait, s járulékos hasznai gyakran azonnal jelentkeznek. Minden kár azonban nem kerülhető el alkalmazkodással.</p> <p>A korlátozás kiegészítése alkalmazkodással költséghatékonyan csökkentheti az éghajlatváltozás kockázatait; együttesen elősegíthetik a fenntartható fejlődést.</p> <p>Az egymásra ható éghajlati, ökológiai és társadalmi-gazdasági rendszerek tehetetlensége jól magyarázza, hogy miért jótékony hatású az előzetes alkalmazkodás és korlátozás.</p>		<p>módszerrel (például „alulról fölfelé” vagy „felülről lefelé” építkező módszerekkel) kapott becsléseken alapulnak, beszámítva a járulékos hasznokat, a technológiai változást, valamint az ágazati és regionális hatásokat.</p> <p>Az alkalmazkodás számszerű költségei.</p>

^a E jelentésben szilárd felismerés az, amely sokféle megközelítés, módszer, modell, illetve feltételezés mellett is érvényes, és amelyről valószínűsíthető, hogy viszonylag kevésbé terhelik bizonytalanságok. Ebben az összefüggésben kulcsbizonytalanság minden olyan bizonytalanság, amelynek csökkentésével újabb szilárd felismerésekhez juthatunk a jelentésben megfogalmazott kérdések kapcsán. A táblázatban példákat soroltunk föl, a teljesség igénye nélkül.

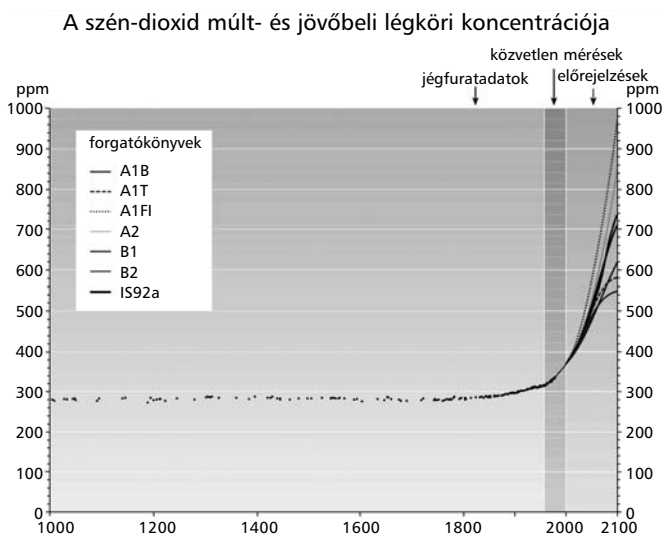
^b E bizonytalanságok miatt 2100-ra nagyjából 490 és 1250 ppm közötti széndioxid-koncentrációt várhatunk.

^c E bizonytalanságok miatt az 1990–2100 közötti globális földfelszíni átlaghőmérséklet-emelkedésre 1,4–5,8 Celsius-fokot kapunk (lásd a 10/b ábrát), míg az átlagos tengerszint-emelkedésre 9–88 centimétert.

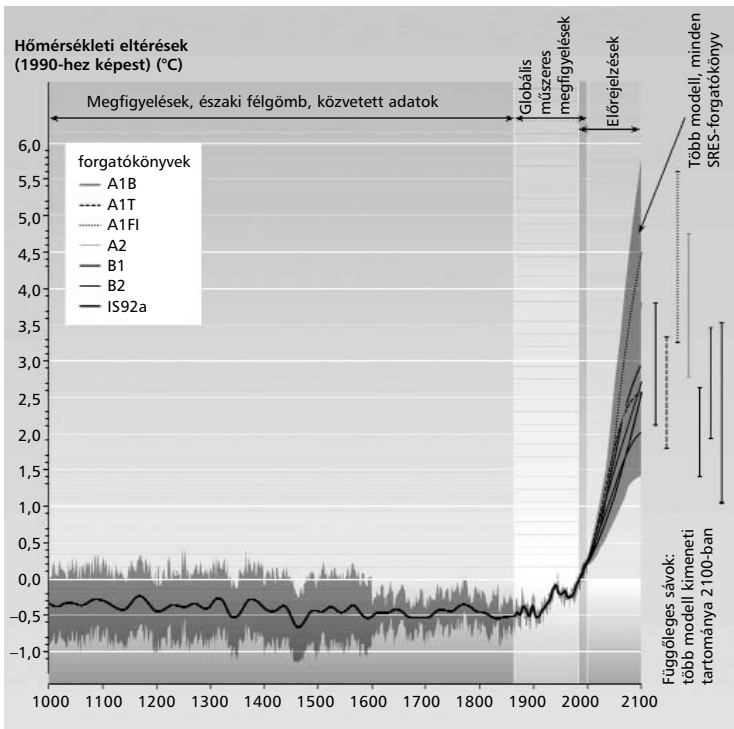
szilárd felismerésekhez juthatunk a jelentésben megfogalmazott kérdések kapcsán. A 3. táblázat szilárd felismeréseinek nagy része arról szól, hogy *létezik* éghajlati válasz az emberi tevékenységekre, illetve hogy e válasz milyen irányú. A kulcsbizonytalanságok nagy része az éghajlati válasz nagyságrendjének és/vagy időbeli lefutásának *számszerű meghatározásával* kapcsolatos. A 3. táblázat az éghajlatváltozás okainak vizsgálata után az 1. ábra témaköreit veszi sorra. A 10. ábra az éghajlatváltozásra vonatkozó néhány fontos szilárd felismerést mutat be. A 3. táblázatban példákat soroltunk föl, a teljesség igénye nélkül.

A Harmadik Értékelő Jelentés jelentős előrelépés számos olyan ismeret tekintetében, amely az éghajlatváltozás és az em-

10/a ábra. A légköri szén-dioxid-koncentráció alakulása 1000-tól 2000-ig jégfuratadatok és az elmúlt néhány évtized közvetlen légköri mérései alapján. A 2000-tól 2100-ig tartó időszak előre jelzett szén-dioxid-koncentrációi a hat reprezentatív SRES-forgatókönyvön, illetve az IS92a-n alapulnak (ez utóbbi a Második Értékelő Jelentéssel való összehasonlíthatóság érdekében)



10/b ábra. A földfelszíni hőmérséklet ingadozása 1000 és 2100 között. 1000 és 1860 között az északi félgömb (a déli félgömbre nincsenek adatok) felszínének közvetett adatokból rekonstruált (évgűrűk, korallok, jégfuratvizsgálatok és történelmi feljegyzések alapján) átlaghőmérséklet-változását láthatjuk. A görbe az ötvenéves átlag, míg az éves adatok 95%-os valószínűséggel esnek a szürke területre. 1860 és 2000 között a műszeres mérések alapján globálisan és évente átlagolt felszíni hőmérséklet-változások láthatók; a görbe az évtizedes átlag. 2000 és 2100 között a globális felszíni átlaghőmérséklet előrejelzései láthatók a hat reprezentatív SRES-forgatókönyv és az IS92a-forgatókönyv alapján, egy átlagos éghajlati érzékenységi modellt használva. A „Több modell, minden SRES-forgatókönyv” elnevezésű szürke terület a 35 SRES-forgatókönyv eredményeit mutatja, továbbá különféle éghajlati érzékenységi modellek eredményeit. A hőmérsékleti skála az 1990-hez képesti elmozdulást mutatja (és nem azonos a 2. ábrán használt skálával)



berek erre adott válaszánaak megértéséhez szükséges. Maradtak azonban fontos területek, ahol további munkára van szükség. Ezek különösképpen az alábbiak:

- az éghajlatváltozás nyomon követése és az okok felderítése;
- az éghajlat és az éghajlati szélsőségek változásának megértése és előrejelzése regionális szinten;
- az éghajlatváltozás hatásainak számszerűsítése globális, regionális és helyi szinten;
- az alkalmazkodás és a korlátozás elemzése;
- az éghajlatváltozás valamennyi vonatkozásának beépítése a fenntartható fejlődés stratégiába;
- átfogó és integrált vizsgálatok annak érdekében, hogy jobban meg tudjuk ítélni, mi tekintendő „az éghajlati rendszerbe való veszélyes emberi beavatkozásnak”.

A fejezet az alábbi szerzők munkaanyagai alapján készült: Robert T. Watson, Daniel L. Albritton, Terry Barker, Igor A. Bashmakov, Osvaldo Canziani, Renate Christ, Ulrich Cubasch, Ogunlade Davidson, Habiba Gitay, David Griggs, Kirsten Halsnaes, John Houghton, Joanna House, Zbigniew Kundzewicz, Murari Lal, Neil Leary, Christopher Magadza, James J. McCarthy, John F. B. Mitchell, Jose Roberto Moreira, Mohan Munasinghe, Ian Noble, Rajendra Pachauri, Barrie Pittock, Michael Prather, Richard G. Richels, John B. Robinson, Jayant Sathaye, Stephen Schneider, Robert Scholes, Thomas Stocker, Narasimhan Sundaraman, Rob Swart, Tomihiro Taniguchi, D. Zhou, továbbá az IPCC számos további szerzője, illetve szakmai lektora.