

ELŐREJELZÉS ÉS DÖNTÉSHOZATAL: MENNYIT SEGÍTENEK A TUDOMÁNYOS MÓDSZEREK?

FORECAST AND DECISION MAKING: HOW HELPFUL ARE THE SCIENTIFIC METHODS?

Jánosi Imre

ELTE TTK Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék Kármán Környezeti Áramlások Laboratórium
janosi@lecco.elte.hu

Összefoglalás. A modern természettudomány minden ága használja a *valószínűségi előrejelzés* módszerét. A kérdés az, hogy döntéshozói pozícióban mit kezdünk egy valószínűségi kijelentéssel a gyakorlatban? A legfőbb pszichológiai nehézséget az jelenti, hogy sok döntésünk fehér/fekete, igen/nem jellegű. Ha a legfrissebb időjárási előrejelzés délutánra 65% valószínűséggel jósol záporosót, akkor is csak arról tudunk dönteni, viszünk-e magunkkal esernyőt (100%), avagy nem (0%). Az írás ezt a dilemmát vizsgálja az éghajlatváltozás kérdésére adható válaszok szempontjából.

Abstract. All branches of contemporary science use the method of probability forecast. The question is what can we do as a decision maker by a probabilistic statement in the practice? A psychological problem immediately arises: the majority of our decisions has a more or less black-or-white, in other words yes-or-no feature. Uselessly predicts a sophisticated weather prognosis the probability of afternoon shower as 65%, when we can choose between two options: take an umbrella (100%) or not (0%). The present paper discusses problems of properly understanding and interpreting probability forecasts by means of a few case studies. A special emphasis is given for projections of future climate from a point of view of a hypothetical policy maker.

Bevezetés. Meglehetősen nagy visszhangot váltott ki az IPCC ez év január 20-án, először a honlapjukon publikált sajtóközleménye (*IPCC, 2010*), melyben az egész elnökség nevében elnézést kértek legutóbbi összefoglaló jelentésük második kötetének egyik hibás állítása miatt, amely a Himalája gleccsereinek meglepően rövid távra becsült teljes felolvadását jelezte előre. Itt a hírrel kapcsolatos részletekkel nem óhajtunk foglalkozni, a világhálón keresztül bárki hozzáférhet a háttéranyag legkisebb morzsáihoz is, a vélemények teljes spektrumával együtt. Az kétségtelen tény, hogy ilyen kínos esetben (legalábbis rövid távon) a hasonló tudományos testületekbe vetett közbizalom esetleg esorbát szenvedhet (*Nature, 2010*), de maga a történet azért nem tűnik túlságosan bonyolultnak (hacsak nem vagyunk a sötét összeesküvés-elméletek fanatikus rajongói). Végül is bármikor előfordulhat, hogy a legnagyobb odafigyelés ellenére sem sikerül egy nagy összefoglaló jelentésből kiszűrni a megbízhatatlan forrásból származó, esetleg durván hibás állításokat. A példa éppen azt mutatja, hogy néhány alapos átolvasással, kritikus szemrevételezéssel épphogy a nyilvánvaló hibák találhatók meg viszonylag egyszerűen. Mit kezdünk azonban azokkal a kijelentésekkel, amelyeket az *IPCC*-hez hasonló tekintélyű grémiumok, akadémiai bizottságok, szakértői csoportok, intézeti hálózatok stb. fogalmaznak meg két alapvető szempontot messzemenően hangsúlyozva: először is a döntéshozók munkáját a természettudomány legfejlettebb eszköztárával igyeksenek segíteni, másodszer pedig több körben ismételt ellenőrzési eljárások minőségi garan-

ciáira hivatkoznak. Nyilvánvalóan később hibásnak bizonyuló döntések a legjobb szándékok mellett is gyakorta előfordulnak, valószínűleg ez társadalmi létünk majd annyira törvényszerű velejárója, mint maga az együttműködési kényszer. Kísérletet sem szeretnénk tenni a kockázatelemzői szakterületre történő beavatkozásra, ebben az írásban mindössze egyetlen kérdést szeretnénk érintőlegesen megvizsgálni naiv fizikusi hozzáállással: a modern természettudomány minden ága szinte magától értetődően használja a valószínűségi előrejelzés módszerét, no de mit kezdünk (esetleg döntéshozói pozícióban) egy valószínűségi kijelentéssel a gyakorlatban? A legfőbb pszichológiai nehézséget az jelenti, hogy sok döntésünk fehér/fekete, igen/nem jellegű. Ha a legfrissebb időjárási előrejelzés délutánra 65% valószínűséggel jósol záporosót, akkor is csak arról tudunk dönteni, viszünk-e magunkkal esernyőt (100%), avagy nem (0%). Ez a példa természetesen igen naiv, de mielőtt a tisztelt Olvasó dühösen tollat ragadna, kérem, gondolja végig, hogy milyen alapon és hogyan döntött az előző influenzaszegzonban a H1N1 oltással kapcsolatban...

1. esettanulmány: Katrina hurrikán, 2005. New Orleans pusztulása a világon mindenhol óriási nyilvánosságot kapott, természetesen számtalan tudósítás, közlemény, cikk és féltucatnyi könyv tárgyalja a témát azóta is. Éppen ezért ennek a katasztrófának csak azzal az aspektusával szeretnénk röviden foglalkozni, hogy miért nem segíthetett a mégoly pontos előrejelzés sem a károk elkerülésében.

Az USA Atlanti Oceanográfiai és Meteorológiai Laboratóriumának hurrikánkutató részlege 1851-től folyamatos nyilvántartást vezet és tesz mindenki számára hozzáférhetővé a jelentősebb térségbeli viharokról (<http://www.aoml.noaa.gov/hrd/>).

Emellett a Nemzeti Meteorológiai Szolgálat (National Weather Service, NWS) Hurrikán Központja (<http://www.nhc.noaa.gov/>) a már azonosított viharok várható pályájáról és erősségéről folyamatos előrejelzéseket közöl, melyek pontossága az időjárás-előrejelzésekhez hasonló módon folyamatosan javul. Évtizedek óta nyilvánvaló volt, hogy csak idő kérdése, mikor ér partot egy komolyabb trópusi vihar éppen New Orleans közelében, mert a viharok központok mozgásának törvényszerűségei lényegében jól ismertek tekinthetők. Ennek ellenére, mikor a *Katrina* hurrikán augusztus 29-én elérte a város peremét (1. ábra), a Pontchartrain tó partvonala mentén, 53 helyen okozott gátszakadást, aminek következtében a beépített terület 80%-a került víz alá. Hiába hagyta el a város környékét több mint egymillió lakos (soha korábban nem volt még kötelező kiürítési rendlet az USA-ban), így is 1836 halálos áldozatot követelt a természeti csapás.

A végső mérleg szerinti 82 milliárd dollárnyi kár példátlan az USA történetében, a csapás az egész nemzetgazdaságot érintette. A felelősök között talán egyedül az NWS nem került említésre, ők végezték dolgukat, folyamatosan frissítették az előrejelzéseket, így a Katrina érkezését napokkal előbb szinte biztosra lehetett venni. Ezzel szemben a helyi és szövetségi hatóságok, védelmi és segélyszervezetek mindegyikét jócskán elmarasztalták az utólagos elemzések. New Orleans nagyon rossz adottságú területen fekszik, a város közepe a Pontchartrain tó és a Mississippi között elterülő „tálban” található, amelyet mindkét oldalon több méter magas gátak védenek az elöntéstől. A jelentések mindegyike hangsúlyozta, hogy a károk túlnyomó részét a gátszakadásokat követő árvíz okozta, nem maga a vihar, ez pedig a több évtizede elhanyagolt felújítások és elmaradt fejlesztések egyenes következménye volt. A hatóságok nem számoltak a szegényebb népesség nagy számával, azaz hiába rendelték el a kötelező kiürítést, a tömegközlekedési vagy egyéb szállítási eszközök hiányában mintegy százezer lakos rekedt a városban. Jellemző adat, hogy a menekülési pontnak kijelölt fedett városi sportstadionba 800 fő fogadására készültek, ám végül több mint 30 000 ember keresett menedéket ezen a helyen. A vihar következtében teljesen szétestek az infrastrukturális hálózatok, megszakadt a kommunikáció, az áram-, víz- és gázellátás, közlekedés, áruszállítás. A katasztrófát követő fosztogatások és erőszak megfékezésére majdnem 47 000 fegyveres rendészeti személyt mozgósítottak.



1. ábra. A Katrina hurrikán pályája 2005. augusztus 23–30. között (a kék-vörös skálán változó színek az erősséget jelzik)
<http://en.wikipedia.org>

A *Katrina* tanulságaként nyugodtan kijelenthetjük, hogy a tudomány tehetetlen akkor, ha nincs megfelelő befogadó közeg. Hiába az előrejelző szolgálat munkája, ha a döntéshozóknak nem áll rendelkezésre a szükséges eszköztár egy szervezett akcióhoz. (Megjegyezzük, hogy így is több mint egymillió ember jutott időben biztonságos helyre – jobbára saját gépkocsijával.)

2. esettanulmány: a Red River 1997-es áradása. A következő pontban egy olyan esetet szeretnénk röviden áttekinteni, amely azt példázza, hogy tudományos szempontból kielégítő minőségű előrejelzések akkor sem segítenek sokat, ha ezeket a döntéshozók félreértelmezik (Pielke, 1999; Shelby, 2003). A Red River (pontosabban a Mississippi egyik hasonló nevű mellékfolyójától való megkülönböztetés miatt „Red River of the North”) az észak-amerikai kontinens nem túl jelentős folyóvize, Minnesota és Észak-Dakota határvonalán csordogálva a kanadai Winnipeg tóba torkollik (2. ábra). Nyilvánvalóan nem véletlen, hogy a folyók mentén alakultak ki a legkorábbi virágzó civilizációk, azóta is az emberek kedvenc lakó- és életterei, és éppen emiatt a legnagyobb hagyományú és legfejlettebb alkalmazott tudományok közé tartozik a vízmérnökség és a hidrológia. A vízállás-előrejelzés talán az egyik legmegbízhatóbb szolgáltatássá nőtte ki magát, néhány napos időtávon a pár centiméteres hiba is ritka esemény (szokásos körülmények között).

A Red River tavaszanként, a hóolvadás időszakában rendszeresen magas vízállásokat, néha áradásokat produkál, hasonlóan az összes többi, mérsékelt

rendelkezésre a szükséges eszköztár egy szervezett akcióhoz. (Megjegyezzük, hogy így is több mint egymillió ember jutott időben biztonságos helyre – jobbára saját gépkocsijával.)

A Red River tavaszanként, a hóolvadás időszakában rendszeresen magas vízállásokat, néha áradásokat produkál, hasonlóan az összes többi, mérsékelt

rendelkezésre a szükséges eszköztár egy szervezett akcióhoz. (Megjegyezzük, hogy így is több mint egymillió ember jutott időben biztonságos helyre – jobbára saját gépkocsijával.)

éghajlatú területen található vízfolyáshoz. 1996–97 tele szokatlanul erős havazással járt a vidéken. Ez persze önmagában még nem jelent automatikusan fokozott árvízi fenyegetést, ugyanis az olvadás üteme, a tavaszi csapadék, viharok és egy sor más körülmény együttese határozza meg az olvadékvíz dinamikáját. Sajnálatos módon a '97-es áradás előfutára egy fél évszázados rekordot megdöntő erejű viharorozat volt, amely 100 km/h körüli szélsőségek mellett még újabb félméternyi friss havat is hozott magával. Az áradás a déli területek felől haladt északra, az első lakossági evakuálások Fargo városától délre (2. ábra) már április 4-én elkezdődtek. Tíz nappal később maga Fargo környéke megúsza a komolyabb károkat, de az ehhez szükséges védelmi munkákhoz minden rendelkezésre álló erőforrást mozgósítottak.

Fargótól északra, Grand Forks városában (2. ábra) is minden lehetőségre igyekeztek felkészülni. Ezt a környéket 1979-ben sújtotta a század (addigi) legnagyobb vízállását produkáló áradása, ezért a hatóságok részletes védekezési tervekkel rendelkeztek. Állandó és ideiglenes gátak rendszere védte a városi területeket, a szervezett egységek mellett szinte az egész lakosság részt vett a védelmi munkákban. A hősies erőfeszítések ellenére április 19-én, kora hajnalban a gátak nem bírták tovább a terhelést, a város közel kétharmada víz alá került (3. ábra). Ráadásul aznap este a belvárosban még egy tűzvész is kitört, az elárasztott központban meredező kiegészítő romokról készült képek sokkolták az USA közvéleményét. Nyilvánvalóan adódott a kérdés: ki itt a felelős?

A Katrina hurrikán esetétől eltérően, a helyi és országos sajtóban megjelent első értékelések azonnal már említett NWS rossz előrejelzését okolták a katasztrófaért. A nyolcvanas évek elején alapított regionális központ akkoriban vízhozambecsléseket nem publikált, a felhasználók sokkal fontosabbnak tartot-

ták a vízállás megbízható közlését. A két mennyiség természetesen szorosan összefügg, de a mederszelvények folytonos változása miatt nincs köztük rögzített függvénykapcsolattal leírható, állandó viszony. Minthogy a tavaszi időszakban a hóolvadás adja a

várható víztérfogat döntő részét, a rendszeres közép-távú (egy-két hónapra szóló) előrejelzések két szám adatot közöltek minden egyes mérőpontra: egy alacsonyabb értéket azaz a feltevéssel, hogy a hőmérséklet a klimatológiai átlagérték körül alakul, míg egy magasabb értékkel a várható extra csapadék hatását is hozzászámították a becsléshez. A Grand Forks közeli mérőpontra az adott időszakra vonatkozó előrejelzés számai a 14,5 és 15,0 méteres értékeket jelölték meg várható maximum(ok)ként, ehhez igazított-



2. ábra. A Red River vízgyűjtő területének vázlatja.
<http://en.wikipedia.org>

ták a felkészülést. A gátszakadás időpontjában a vízszint 16,49 m-en tetőzött.

Utólag persze könnyebb volt azonosítani, hogy a hibák egyik fő forrása az előrejelzés értelmezési zavarainak volt köszönhető (Pielke, 1999). A két számot sokan becslési intervallumként értették, azaz a várható maximumot valahol egy köztes szintre várták. Mások a felső értéket abszolút maximumnak gondolták, amelyet lehetetlen felülmúlni. A kevésbé tájékozottabbak a becslést abszolút pontos értéknek vélték, a tájékozottabbak még a számok mellé gondoltak egy átlagos bizonytalansági tényezőt is (a 0,3–1,8 m-es tartományban). Érdekes tény, hogy a katasztrófálisnak bizonyuló előrejelzés a maga 10,2%-os hibájával csak az ötödik legrosszabb volt az 1982–1997-es referenciaidőszakban, melynek átlaga 11,5% (kéthónapos előrejelzésről beszélünk – Pielke, 1999).

Az értelmezési zavarok lényegét még jobban kifejező szám adat az áradást követő egyik közvélemény-kutatás eredménye. Eszerint a lakosok 95%-a tisztában volt azzal a lehetőséggel, hogy a nagyobb helyi társaságok hajlandóak árvízi különbiztosítást kötni. Az előrejelzés után 79,6% gondolta úgy, hogy erre az adott évben biztosan nem lesz szükség, hi-

szen mindenki tudta a városban, hogy a 15 m-es víz-állás leküzdése gyerekjáték (*Pielke, 1999; Shelby, 2003*). Az kétségtelenül az NWS hibája volt, hogy a becsült értékek mellé nem nyújtottak egy bizonytalanságot számszerűsítő adatot is. Igen ám, de az előrejelző szolgálat egyik felelős vezetője valószínűleg joggal „panaszolta” el egy interjú során (*Shelby, 2003*), hogy a döntéshozók mindig konkrét számokat követeltek tőlük: „Simán meg lehet adni, hogy ezt és ezt a szintet a folyó túllépi 90%-os valószínűséggel, ezt pedig 50%-nel, 10% pedig egy rekord-döntés valószínűsége. Erre a válasz mindig az, hogy – no és akkor én mi a frászt kezdjek ezzel – miért nem azt mondja meg, hogy mekkora lesz a víz-állás? Hozzáértők szerint a konkrét számokhoz ragaszkodás egyben a felelősség hátrításának is egyik szokásos eszköze: ha valami balul sül el, lehet mutogatni a rossz becslést produkáló szakértőkre (*Shelby, 2003*).

A katasztrófa szerencsére nem követelt halálos áldozatot, az anyagi kár azonban nagyon magasra, közel 2 milliárd dollárra volt becsülhető. A helyreállítási munkák során az alacsonyan fekvő területeket egyszerűen kiürítették, emellett az új, mintegy 409 millió dollárért kiépített védelmi rendszer 19 m-es vízszintig képes medrében tartani a folyót. Azóta nem történt említésre méltó árvízi esemény. Ennek alapján, mit is tanultak a helyi lakosok a történetekből? Az egyik olvasat szerint (*Sarewitz, 2010*) nem a valószínűségi becslések helyes értelmezését, hanem azt, hogy érdemes az előrejelzésektől függetleníteni magukat. Erre a lényeges pontra kicsit később még visszatérünk.

Mit jósolnak a globális klímamodellek? Ezen fórum tisztelt Olvasóinak nem kell részletezni a választ, mely szerint a modellek becslései alapján 2–3 °C globális átlaghőmérséklet-emelkedést várhatunk a század végére, valamilyen módon változó csapadékoszlással, olvadozó jégtakaróval és emelkedő átlagos tengerszinttel (*IPCC, 2007*). Minthogy a modellek arra utalnak, hogy a klímaváltozás oka az emberiség légkörmódosító tevékenysége, nyilvánvalóan adódik a kérdés: mi lenne a teendő?

Mielőtt erre rátérnénk, mindenképpen érdemes szót ejteni a számítógépes jóslatok megbízhatóságáról. Az időjárás-előrejelző modelleknél viszonylag egyszerű a helyzet, mert a kiszámolt és pár nap múlva mért adatok közvetlen összehasonlítása jó jellemzője a pontosságnak. A klímamodellek esetében az időskálák nagyságrendi eltérése miatt ez nyilván nem járható út, ráadásul ha *precízkedni* akarunk, még a „klíma” definíciója sem teljesen világos: mit jelentenek a sokéves átlagok akkor, ha a peremfeltételek (besugárzás intenzitása, légkör összetétele, talaj borítottsága stb.) folyton változnak az időben?

Egyéb eszközök hiányában a klímamodellek megbízhatóságát „saját magukon” lehet csak tesztelni, a kidolgozott módszer az *ensemble* (sokaság) futtatások kiértékelése. A létező legnagyobb sokaságvizsgálat az Oxfordi



3. ábra. Grand Forks az 1997-es árvíz idején.
<http://nd.water.usgs.gov/photos/1997RedFlood/>

Egyetem fizika tanszékéről indult majd tíz éve (<http://climateprediction.net>), ami a jól ismert SETI projekthez (<http://www.seti.org>) hasonlóan önkéntesek által biztosított futtatási kapacitások felhasználásán alapul. Az érdeklődő résztvevők letölthetik gépükre az angliai *The Met Office Hadley Centre* globális modelljeinek valamelyik variánsát, amely csökkentett térbeli felbontása miatt illeszkedik egy szokásos asztali számítógép lehetőségeihez. (Nehogy azt gondoljuk, hogy ez túlságosan erős korlátozás, pár évvel ezelőtt a hasonló programok csak a legnagyobb szuperszámítógépeken futottak!) Még a legegyszerűbb globális modellek is közel száz empirikus paramétert tartalmaznak (*Jacobson, 2005*), ezért egy átfogó paraméter-tér vizsgálat teljesen elképzelhetetlen. Ezért aztán az ötletgazdák által kidolgozott „szuper-sokaság” eljáráshoz az alap modell mintegy ötszáz variánsát tették letölthetővé, melyek eltértek a paraméterezésükben, de ezek a paraméterek még mind az „elfogadott” tartományba estek. Minden egyes modellverziót több különböző kezdőfeltételtől indították, ami lehetővé tette egyrészt a verziókra, másrészt az egész sokaságra vonatkozó átlagok és szórások meghatározását.

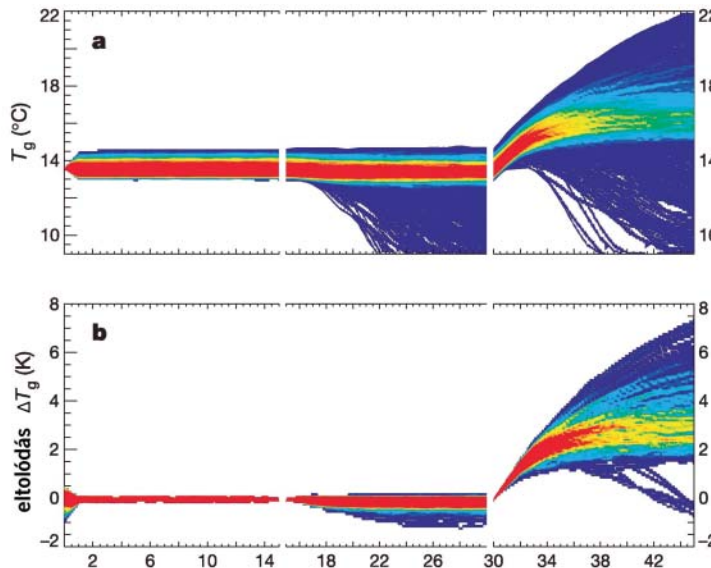
Egy fontos kísérlet eredménye a 4. ábrán látható (*Stainforth et al., 2005*), melynek során a légköri CO₂-koncentráció megkettőzésének hatását vizsgált-

ták a globális átlaghőmérséklet szempontjából. A szimulációk első 15 évet lefedő szakaszában a modelleket inicializálni kellett, mert az óceánok dinamikája nem került beépítésre, viszont szükség volt a tengerfelszíni hőmérséklet és a légköri áramlások csatlósására. Ezután két csoportra osztották a sokaságot. Az egyikben nem történt semmi változás, a modellek „szabadon” futottak, a másikban a CO₂-koncentráció hirtelen duplájára nőtt. Az első csoport a modellek stabilitásáról nyújtott információt (a 4.a ábrán a 15. évtől kezdődően hirtelen lehűléseket produkáló verziókat kivették a későbbi analízisből), a második csoport pedig a szokásos érzékenységvizsgálat alanyaként szolgált (4.a ábra, a 30. évtől kezdve). A 4.b ábra mutatja a különböző verziókra vonatkozó, eltérő kezdőfeltételekből számolt átlagok eloszlását. A 30. évtől kezdődően a modell-variánsok többsége felmelegedést jósolt 2–8 °C tartományban, azt a hat modellváltozatot, amelyik egy átmeneti tranziens után lehűlést jósolt, szintén kiemelték a további elemzésekből.

Joggal merül fel a kérdés: hol van itt a probléma? Ebből több is akad. Először is nyilvánvaló, hogy nincsen tökéletes modell, ilyesmi megalkotására még elvi lehetőség sincsen. Ehhez tartozik, hogy számos fontos légköri-óceáni folyamat fizikai alapjai sincsenek tisztázva (aeroszok hatása, felhőképződés, óceánok CO₂-mérlege stb.), így ezek csak empirikus paraméterezésekkel kerülhetnek be a modellekbe. Másodszor, nagyon sok paraméter értékéről csak durva becslés vagy csak találgatás áll rendelkezésre. Harmadszor, a jelenlegi állapotról (kezdőfeltétel) sincsenek teljesen megbízható információink, alig van mérési adat (a térfogathoz viszonyítva) az óceánok mélyéről, a magas légköri rétegekből, vagy éppen a sarki területekről. Valójában még azt az „egyszerű” kérdést sem tudjuk megválaszolni, hogy hova kerül az a többletenergia, ami a klímaváltozásért felelős

(Trenberth and Fasullo, 2010). Végül a hosszú távú előrejelzésekhez ismerni kellene a jövőt is (hogyan változik majd a légkör összetétele), ez nyilvánvalóan lehetetlen. A modellek kalibrálását általában az előző évszázad mért értékeinek reprodukálásával végzik el (IPCC, 2007), a „jól teljesítők” segítségével készítik azután hosszú távú projekciókat.

A 4. ábra eredményeinek értékelése egy újabb problémára világít rá. Már említettük, hogy a stabilitási teszten „átmenet” modellváltozatok közül hat olyan akadt, amely hosszú távon lehűlést jósolt kétszeres CO₂-koncentráció esetén is. A cikk szerint (Stainforth et al., 2005) ezeknél valami gondot véltek felfedezni az óceánok reprezentációjánál, ezért a további elemzésből kikerültek. Igen ám, de ezekben pontosan ugyanazok az egyenletek szerepeltek, mint az összes többiben, csak néhány paraméternek volt más értéke. Természetesen a modell alaphiányosságai miatt



4. ábra. Globális szimulált átlaghőmérséklet 2x15 év alatt a HadAM3 modell különböző paraméterezési és kezdőfeltételekből indított változatainál. Az első 15 év inicializációs fázisa után a számítások „szabadon” futottak a második, kontroll szakaszban (15 és 30 év között). A másik kísérletben (sajnos a 30. évtől ábrázolva, valójában ez is a legelső periódus folytatása) inicializálás után a CO₂ szintet megkettőzték. (a) 2017 egyedi futás eredménye. (b) 414 modell verzió különböző kezdőfeltételekre vett átlaga. A színek (kék-től a vörös-ig) növekvő statisztikus gyakoriságot jeleznek. (Stainforth et al., 2005 nyomán)

akadhatnak „nem fizikai” megoldások, ezeket jogosan lehet figyelmen kívül hagyni, ám miért maradhat benne például az a tucatnyi változat, ami meg 6 °C-nál nagyobb melegedést vetít előre? Mennyire bízhatunk e számértékekben? Az is könnyen előfordulhat, hogy valójában egyetlen modellmegoldás sem közelíti meg a valóságot, így azután a számszerű becslések bizonytalansága épp a modell alapján végképp nem jellemezhető kielégítően.

Az IPCC jelentés nem titkolja el a gondokat, 54 bizonytalansági tényezőt sorolnak fel az alaproblémák listájában (IPCC, 2007). Az esetleges döntéshozatal szempontjából kiemelten jelentős pontok a regionális előrejelzések globálisnál is nagyobb bizonytalansága és a csapadékkal kapcsolatos projekciók nagy szórása (Schiermeier, 2010). További bonyodalmakat okoz az a tény, hogy néhány évtizedes távlatban a modellprojekciók szórása bőven benne van a természetes ingadozás tartományában, ezért az

esetleges antropogén hatások csak évszázados időskálájú futtatásokban jelentkeznek (Cane, 2010).

Lehetséges, hogy ez a sok bizonytalansági tényező is hozzájárult a koppenhágai klímakonferencia 2009. decemberi nagy visszhangot kapott kudarcához (http://en.wikipedia.org/wiki/2009_United_Nations_Climate_Change_Conference). Igazából semmiben sem sikerült megállapodni, a részt vevő országok többsége önkéntes vállalásokat jelentett be a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésének irányában, ám semmiféle határokra átnyúló ellenőrzési technikát nem vezettek be, nem is beszélve a szankciók teljes hiányáról.

Mire tanít a szeizmológia? Elsősorban arra, hogy a földrengéseket nem lehet megjósolni. Jelenlegi tudásunk és eszközeink nem alkalmasak arra, hogy előre lehessen jelezni egy földrengés helyét, erősségét és várható időpontját, ebben a kérdésben meglehetősen erős a szakmai egyetértés (Sarewitz, 2010). Ez persze nem jelenti azt, hogy ne lenne érdemes fürkészni a földkéreg mélyén vagy éppen a földköpenyben zajló folyamatokat, éppen ellenkezőleg. Az évtizedek alatt kifejlesztett érzékeny mérőhálózat például alkalmas arra, hogy lokalizálja a kritikus földrajzi körzeteket. A 2010. február 27-i, Chile középső részén kirobbant földrengést például már kb. 2000 óta valószínűsítették (Madariaga et al., 2010), ugyanis észlelték az érintkező tektonikus lemezek mozgásának leállását a régióban. Az elképzelés szerint a lemezszélek kölcsönös blokkolódása a mechanikai feszültségek folyamatos növekedését okozta, így várható volt, hogy egyszer ez a felhalmozódott energia robbanásszerűen szabadul fel egy jelentős esemény bekövetkeztével.

Fel lehet-e készülni az *előrejelezhetetlen* földrengésekre? Semmi sem mutatja ezt jobban, mint az év elején történt két katasztrófa összehasonlítása. Haiti szigete szintén egy törésvonal felett fekszik, a geológusok sokat is írtak a magas kockázatokról. Sajnálatos módon a térségben 240 éve nem volt hasonló esemény, ezért az egymást követő generációk emlékezetében egyre jobban elhomályosult a félelemérzet, a szeizmológiai szakirodalmat pedig nem sokan olvassák arrafelé. Így aztán a január 12-én kirobbant, $M = 7,0$ magnitúdójú földrengés több mint 300 000 halálos áldozatot követelt, és az ország infrastruktúrája lényegében összeomlott. Ezzel szemben Chilében évtizedek óta szigorú építési szabványok érvényesek, így az említett, $M = 8,8$ magnitúdójú esemény (ez energia skálán kb. 500-szor nagyobb, mint egy 7-es erősségű) és az ezt követő szökőár kevesebb, mint 500 áldozat halálát okozta.

Jogosan merül fel a kérdés: mi köze ennek a klímamodellekhez? Először is érdemes leszögezni, hogy a klímaváltozással kapcsolatos globális átlag-

értékek a döntéshozatal szempontjából teljesen lényegtelenek (hasonlóan a globális földrengés gyakorisághoz). Hiába számít 2009–2010 téli időszaka a klimatikus átlagnál jóval melegebb évszakok közé globálisan, földrészünkön mégis sokan nyögték a többlet fűtésszámlát az elhúzódó tartós fagyok miatt, akiket kevéssé vigasztalt az Északi sarkvidék szokatlanul meleg időjárása. A döntéshozatal szempontjából fontos információk, mint például a regionális változások iránya és nagysága, a csapadék helyi változása vagy az extrém események gyakorisága azonban nem vagy csak nagyon nagy bizonytalansággal becsülhetők. A regionális modellek évtizedes projekcióknál sokszor rosszabbul teljesítenek, mint az alacsonyabb felbontású globális változatok (Schiermeier, 2010), melynek fő oka, hogy az alaphiányosságok, közelítések, paraméterezési hibák megnövelt felbontás esetén mintegy felerősödnek. Nem hiszem, hogy bármelyik modellező szakember nagy összeget kockáztatna egy olyan fogadásnál, melynek tárgya a 2020 nyarán, a Kárpát-medencében majdan mérendő nyári csapadékösszeg értéke lenne, mondjuk 2%-os pontossággal.

Fel lehet-e készülni a valójában *előrejelezhetetlen* klímaváltozásra, érdemes-e nagy léptékű védelmi projektekbe kezdeni? Véleményem szerint igen, de csak olyan irányba, amely független a modellprojekciók számértékeitől (vö. Grand Forks helyreállítása, vagy az építési szabványok Chilében). Példaként lehet említeni a Vásárhelyi-terv beruházásait, amely attól teljesen függetlenül javítja a szeszélyes Tisza környékének árvízi védelmét és vízellátási viszonyait, hogy a regionális klíma melegebb vagy hidegebb irányba változik. Most úgy tűnik, hogy a szén-dioxid-kérdést a sokat szidott piac rövid távon megoldja, pl. idén az első negyedévben a sorozatos benzináremelések hatására a 98-as oktánszámú üzemanyag fogyasztása 42,3%-kal esett vissza (*GKI Energiakutató Kft.*). Nyilvánvalóan kiemelt fontosságú az alternatív energiaforrások kutatása, de nem amiatt, mert numerikus programok száz év múlva a globális átlaghőmérséklet ilyen-olyan eltolódását jósolják.

Záró gondolatként hangsúlyozni szeretném, hogy természetesen semmi bajom a klímamodellezési erőfeszítésekkel, teljesen nyilvánvaló, hogy ezek hiányában lényegesen kevesebbet tudnánk a földi éghajlatról. Pontosan ezek a modellek mutatták meg, hogy mennyire hiányos ismereteink vannak a légkör és az óceánok pillanatnyi állapotáról, milyen hihetetlenül összetett csatolási mechanizmusok működnek a Napból érkező energia eloszlási folyamatainál, és mennyire nehéz akár közelítő számértékeket is rendelni az egyes részlépéseket leíró fizikai egyenletekhez. Azt viszont nem tartom helyes gyakorlatnak, hogy a „klímánik” gerjesztésében sok esetben ve-

zető tudósok járnak élen túlságosan leegyszerűsített, sommás állításokkal, a szuperszámítógépeken futó programok csalhatatlanságát és minden képzeletet felülmúló pontosságát sugallva.

Irodalom

- Cane, M. A., 2010: Decadal predictions in demand. *Nature Geoscience* 3, 231–232.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007, Working Group I: The Physical Science Basis. (IPCC Fourth Assessment Report). http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html
- <http://en.wikipedia.org>
- <http://nd.water.usgs.gov/photos/1997RedFlood>
- IPCC, 2010: IPCC statement on the melting of Himalayan glaciers. <http://www.ipcc.ch>
- Jacobson, M. Z., 2005: Fundamentals of atmospheric modelling. Cambridge: Cambridge University Press.
- Madariaga, R., Métois, M., Vigny, Ch., Campos, J., 2010: Central Chile finally breaks. *Science* 328, 181–182.
- Nature Editorial, 2010: Climate of fear. *Nature* 464, 141.
- Pielke, R. A. Jr., 1999: Who decides? Forecasts and responsibilities in the 1997 Red River flood. *Applied Behavioral Science Review* 7, 83–101.
- Sarewitz, D., 2010: World view: tomorrow never knows. *Nature* 463, 24.
- Shelby, A., 2003: Red River rising: the anatomy of a flood and the survival of an American city. United States: Borealis Books.
- Schiermeier, Q., 2010: The real holes in climate science. *Nature* 463, 284–287.
- Stainforth, D.A., et al., 2005: Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature* 433, 403–406.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., 2010: Tracking Earth's energy. *Science* 328, 316–317.

HOZZÁSZÓLÁS „JÁNOSI IMRE: ELŐREJELZÉS ÉS DÖNTÉSHOZATAL: MENNYIT SEGÍTENEK A TUDOMÁNYOS MÓDSZEREK?” CÍMŰ CIKKÉHEZ

COMMENT ON THE PAPER 'IMRE JÁNOSI: FORECAST AND DECISION MAKING: HOW HELPFUL ARE THE SCIENTIFIC METHODS?'

Szépszó Gabriella és Horányi András

Országos Meteorológiai Szolgálat, szepszo.g@met.hu, horanyi.a@met.hu

Összefoglalás. A Magyar Meteorológiai Társaság (MMT) Légekördinamikai Szakosztályának 2010. április 19-i az „Éghajlatváltozás fizikus szemmel” című ülésén elhangzott előadása alapján Jánosi Imre cikket írt a LÉGKÖR számára. Az előadás után nem volt lehetőség a kérdések összes aspektusának körbejárására. Ez a rövid írás összegzi azokat a szempontokat, amelyekben a meteorológus szerzők nem teljesen értenek egyet a fizikus kollégákkal.

Abstract. The Atmospheric Dynamics Section of the Hungarian Meteorological Society organised a meeting, entitled 'Climate change from the physicist perspective'. The presentation of Imre Jánosi was submitted for publication at LÉGKÖR. At the meeting due to time constraints there was no possibility to discuss all the related issues and debates. The present short communication aims to summarise those aspects in which there are certain divergence between the opinion of meteorologist authors and physicist colleagues.

Kutatóként mindig örülünk annak, ha alkalmunk nyílik szakterületünk nyitott kérdéseit más tudományágak képviselőivel megvitatni, mert ez lehetőséget ad arra, hogy eltérő szemszögből is megvizsgáljuk azokat a kérdéseket, amelyekkel a munkánk során nap mint nap szembesülünk. Ennek jegyében szerveztük meg az MMT *Légekördinamikai Szakosztályának* égisze alatt 2010. április 19-én az „Éghajlatváltozás fizikus szemmel” című ülést. *Rácz Zoltán* és *Jánosi Imre* fizikus kollégáink előadásai után elhangzott kérdések és válaszok vitát generáltak, mely során azonban idő hiányában távolról sem sikerült minden véleménynek hangot adni, illetve a megvitatott kérdések összes aspektusát sem tudtuk körbejárni. Nem titkoljuk, hogy több kérdésben nem értünk teljesen egyet fizikus kollégáinkkal, ugyanakkor hangsú-

lyozzuk, hogy nincsen semmiféle ellenségeskedés a két társaság között, sőt több témában az együttműködés jellemző. Örömmel vesszük tehát a lehetőséget, hogy a LÉGKÖR hasábjain tovább folytathatjuk ezt a barátságos mérkőzést Jánosi Imre „Előrejelzés és döntéshozatal: mennyit segítenek a tudományos módszerek?” (*Jánosi, 2010*) című cikke kapcsán. A dolgozat sok, számunkra is érdekes kérdést feszeget, mindazonáltal néhány pontban eltér a véleményünk a leírtaktól, s ezek közül a legfontosabbakat szeretnénk jelen hozzászólásunkban kifejteni.

Abban teljes mértékben egyetértünk, hogy a klíma modellek segítenek a földi éghajlati rendszer (a légkör, az óceán és a többi komponens) megismerésében, abban azonban nem, hogy a modellek milyen mértékben használhatók a jövőbeli éghajlat le-