



Emlékezés Götz Gusztáv születésének 90. évfordulójára

Szépszó Gabriella, Haszpra Tímea, Horányi András, Kalmár Tímea, Kristóf Erzsébet, Szintai Balázs, Tóth Helga

HungaroMet Nonprofit Zrt., szépszo.g@met.hu

DOI: 10.56474/legkor.2024.1.1

Götz Gusztáv születésének 90. évfordulójára a Magyar Meteorológiai Társaság (MMT) Légkör-dinamikai Szakosztálya 2023. november 6-án egy emlékülést szervezett. Elsőként olyan kollégák osztották meg emlékeiket, akik személyesen ismerték őt, majd ezt néhány fiatal kolléga előadása követte, akik az elmúlt években elnyerték az MMT Götz Gusztávról elnevezett publikációs díját. Az emlékév alkalmából egy szakmai kvíz is összeállításra került, melyet nagyrészt a Káosz és prognosztika című könyv ihletett.

Symposium in memory of Gusztáv Götz for his 90th birthday anniversary

A symposium was organized by the Hungarian Meteorological Society in November 2023 to pay tribute to Gusztáv Götz. After some memories shared by contemporary colleagues and friends, presentations were given by a few young colleagues whose publications were honoured with the award of the Society named after Gusztáv Götz. For the event, a scientific quiz was also compiled which was inspired by his widely known book entitled Chaos and Prognostics.

Bevezetés

A Magyar Meteorológiai Társaság 2023. november 6-án emlékezett meg Götz Gusztáv születésének 90. évfordulójáról. A rendezvény első részében pályatársak, barátok és tanítványok idézték fel emlékeiket, tapasztalataikat. Ezt követően a hallgatóság néhány olyan szakterület friss kutatásaiba nyert betekintést, amelyeken Götz Gusztáv is aktív volt. Az esemény az emlékév alkalmából összeállított kvíz megoldásainak bemutatásával és díjátadóval zárult. A cikkben áttekintjük a rendezvényen történeteket.

Megemlékezések

A megemlékezések sorát *Bozó László* nyitotta meg, aki előadásában áttekintette Götz Gusztáv pályájának legfontosabb állomásait. Gusztáv az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) meteorológus diplomájának megszerzése után 1957-től több, mint 10 éven keresztül folytatott operatív munkát a balatoni viharjelző obszervatóriumban (melynek tevékenységét 1962-ben egy fotóriport örökítette meg; *1. fotó*). A légköri konvekció mechanizmusát vizsgáló kutatásait az ELTE doktori címmel ismerte el. 1969–1970-ben egy ENSZ ösztöndíj keretében 1 évet töltött az Egyesült



1. fotó. Endrődi Gabriella és Götz Gusztáv a síófoki észlelőállomás műszereit ellenőrzik 1962-ben (Fényes Tamás, MTI Nemzeti Fotótár).

Államokban és Svédországban, s itt került kapcsolatba operatív előrejelzési gyakorlatban is használható számítógépes modellekkel. 1971-től a Központi Meteorológiai Intézet (KMI) Időjárás Kutató Osztályát vezette, ahol *Ambrózy Pállal* és *Tánczer Tiborral* dolgozott együtt. A 80-as évektől havi és évszakos előrejelzésekkel is foglalkozott, majd 1984-től kinevezték a Központi Léggörfizikai Intézet (KLFI) igazgatóhelyettesének, ahol többek között az éghajlatváltozás dinamikai alapon történő leírásában mélyedt el munkatársaival egy energiaegyensúlyi modell alkalmazásával. (Mind a KMI, mind a KLFI részei voltak nemcsak az Országos Meteorológiai Szolgálatnak, de annak elődjének is.) Szerteágazó nemzetközi kapcsolatrendszerrel bírt, pl. aktívan részt vett a Meteorológiai Világszervezet Globális Léggörfizikai Kutatási Programjában (GARP). A rendszerváltás után, 1991-től az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Központi Hivatalának elnökhelyetteseként Magyarország számos fontos nemzetközi szakmai szervezethez való csatlakozását készítette elő, pl. az Európai Középtávú Előrejelző Központ-hoz, azaz az ECMWF-hez, majd a Meteorológiai

Műholdak Hasznosításának Európai Szervezetéhez, azaz a EUMETSAT-hoz, vagy az Európai Nemzeti Meteorológiai Szolgálatok Hálózatához, azaz a EUMETNET-hez. 1976-ban kandidátusi, 1991-ben pedig akadémiai doktori fokozatot szerzett. Munkáját számtalan díjjal ismerték el, köztük a tudományos élet kiemelkedő képviselőinek adható legmagasabb állami kitüntetéssel, a Széchenyi-díjjal. Annak ellenére, hogy Gusztit nem vonzotta az egyetemi katedra, nagyon jó előadó volt és sok máig használatos egyetemi jegyzet, könyv és monográfia készítése köthető a nevéhez.

Mészáros Ernő visszatekintésében elmondta, hogy számára nagyon fontos volt Götz Gusztávvá való barátsága. Azokban az években, amikor Ernő a KLFI igazgatója, Guszti pedig annak igazgatóhelyettese volt, inspiráló szakmai eszmecseréket folytattak a légköri feláramlások és a felhőcseppek képződésének kapcsolatáról. Beszélgetéseikben később egyre nagyobb teret kapott az aeroszolrészecskék éghajlatra gyakorolt hatása, ami közös könyvüknek (*Götz et al., 1991*) is fontos fejezete lett. Az évek múlásával mindkettőjük érdeklődése az általánosabb kérdések felé fordult, s különösen foglalkoztatta őket a természetben tapasztalható véletlenszerűség, valamint annak kérdésköre, hogy a determinisztikus egyenleteket kissé megváltoztatott bemenő adatokkal megoldva véletlenszerű eredményeket kaphatunk komplex rendszerekben is. Guszti belevetette magát a témába, aminek következménye a *Káosz és prognosztika* című könyv (*Götz, 2001*) lett. Ernő szavait idézve a kötet a „magyar meteorológiai irodalom ékköve”, ami, ha angol nyelven íródott volna, világviszonylatban is a legjobb mű lenne a témában. Az angol nyelv kapcsán Ernő felidézte a *Meteorology in English* című közös egyetemi tantárgyukat, melynek keretében ő levegőkémiai és léggörfizikai, Guszti pedig légkördinamikai témákról tartott előadást a hallgatóknak. Elmondása szerint nemcsak Guszti angol kiejtése volt csodálatos (abban az időben, amikor kevés lehetőség volt arra, hogy ezt nyugati tanulmányutak során fejlesszék), de az előadásmódja is bámulatos volt, ahogyan bonyolult témákat érthetően el tudott magyarázni.

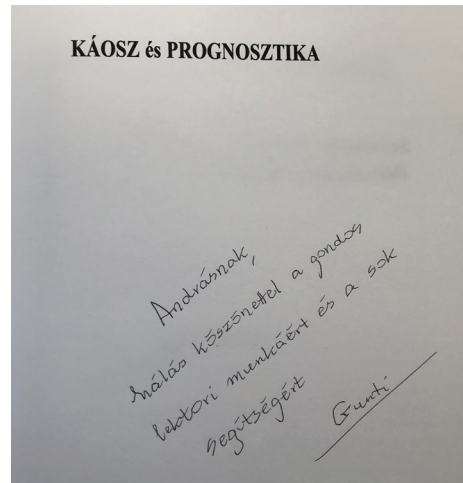
Iványi Zsuzsanna felelevenítette, amikor az 1980-as évek elején a Götz Gusztáv által vezetett főosztály keretében működő Légszennyeződés Meteorológia Osztályon dolgozott. Zsuzsa részt vett a *Bevezetés a meteorológiába* című egyetemi tankönyvsorozat második, a mozgó légkörrel és óceánnal foglalkozó részének (*Czelnai et al., 1982*) megírásában társszerzőként *Czelnai Rudolffal*, az OMSZ akkori elnökével és Götz Gusztávvá. Fialat szakemberként felejthetetlen élmény volt számára ilyen illusztris szerzőtársaságban

dolgozni. Széles látókörű, mély és alapos tudása, szakmai igényessége mellett megemlítette Guszti társasági oldalát is: humorát, műveltségét, páratlan intelligenciáját és eleganciáját.

Ihász István megemlékezését egyetemi éveitől kezdte. Elmondta, hogy meghatározónak tartja, hogy hallgatóként olyan nagyformátumú kollégáktól volt alkalma elsajátítani a szakma alapjait, akikre ma is tisztelettel és hálával tekint: a bevezetés a meteorológiába című tantárgyat például *Czelnai Rudolfnál* hallgatta, a matematikai statisztikát *Gulyás Ottó* tanította (aki matematikusként foglalkozott meteorológiai problémákkal a Szolgálatnál), Gusztival pedig az ELTE nyári iskolájában ismerkedett meg. Kiemelte, hogy napjaink operatív előrejelzési gyakorlatában is nagy jelentősége van annak, hogy *Mersich Iván*, *Dévényi Dezső* és *Götz Gusztáv* 3 évtizeddel ezelőtt elindította Magyarországot csatlakozását az ECMWF-hez. Guszti előadásmódját, mellyel a nehéz témákat is humorral tárgyalta, szakmai hivatástudatát és emberi korrektségét példaként állította a hallgatóság elé. Néhány személyes emléket is megosztott: szeretettel emlékezett vissza arra, amikor Guszti és felesége, *Kaba Magdolna* meglátogatták Tapolcán katonáskodása alatt, valamint évekkel később szabadsága idején szülővárosában, Szentesen is.

Horváth Ákos előadásában egy több, mint fél évszázaddal ezelőtti időjárási esemény jelentőségét emelte ki a mai balatoni viharjelzés szempontjából. 1961. július 13-án, az estére várt északnyugati hidegfrontot megelőzően délnyugatról váratlan zivatarláng (az akkor még ismeretlen délnyugati instabilitási vonal) csapott le a Balatonra. A tragikus következményekkel járó vihar meghatározó volt az abban az időben a siófoki obszervatóriumban dolgozó *Götz Gusztáv* további szakmai munkásságára. A meteorológiai intézet akkori igazgatója, *Dési Frigyes* megbízásából *Götz Gusztáv*, *Bodolai István*, *Ambrózy Pál*, *Tánczer Tibor* és még néhány kiváló szakember objektív alapokra helyezte a balatoni viharjelzés módszertanát, amit *Götz Gusztáv* által szerkesztett könyvben foglaltak össze (*Götz*, 1966). A tavi viharjelzés az általuk lerakott alapokon fejlődött (*Bartha*, 2006), az objektív szinoptikus helyzetfelismerő eljárásokon át a napjainkban az obszervatórium szerverén futó numerikus modellig.

Horányi András elmondta, hogy először talán egy doktori ösztöndíjas vizsgán találkozott Gusztival személyesen valamikor 1990 táján, habár a nevét már ismerte a *Götz–Rákóczi: A dinamikus meteorológia alapjai* című könyve (*Götz és Rákóczi*, 1981) alapján. Később szorosabbra fűzték a kapcsolatukat, aminek a szakmai kicsúcsosodása az volt, amikor Andrást érte



2. fotó. *Götz Gusztáv* dedikálása *Horányi András* *Káosz és prognosztika* példányában.

az a megtiszteltetés, hogy *Gusztai Káosz és prognosztika* című könyvét (*Götz*, 2001) lektorálhatta. A szakmai megbecsülés talán ekkor mélyült el bennük (2. fotó), ami később tovább erősödött a különböző szakmai fórumokon és eseményeken való részvételek és személyes találkozások során. *András* külön hangsúlyozta *Gusztai* emberi nagyságát: közvetlenségét, szerénységét és fanyar humorát. Előadását azzal zárta, hogy *Gusztira* nemcsak úgy emlékezhetünk, mint egy kiváló tudósra, hanem mint egy nagyszerű emberre is, akire mindig tisztelettel és szeretettel fog emlékezni.

Szépszó Gabriella előadása előkészítette a második szekció szakmai előadásait. Ő a 2000-es évek elején, pályakezdőként ismerkedett meg Gusztival, amikor elsőként a korlátos tartományú ensemble előrejelzések, majd néhány évvel később a regionális éghajlati modellezés területén kezdett el dolgozni. Mindkét kutatási téma ezekben az években indult Magyarországon. Előadásában *Gabriella* áttekintette a valószínűségi előrejelzések történetét az operatív ensemble előrejelzések 1992-es indulásától kezdve a napjainkban elterjedt mezo-skálájú ensemble rendszerekig. Felelevenítette, hogy kezdetben elsősorban a kiindulási feltételekben lévő bizonytalanságot számszerűsítették az előrejelzésekben, majd ez fokozatosan egészült ki a modellhiba minél teljesebb reprezentációjával. A valószínűségi produktumok gyakorlati felhasználása korántsem terjedt ilyen gyors iramban. Ezt az sem támogatta, hogy a rendkívüli számítási kapacitás miatt, amit egy ilyen rendszer futtatása igényel, az ensemble tagokat évtizedekig alacsonyabb felbontáson futtatták, mint a perturbálatlan kezdeti feltételtől indított, sokáig determinisztikusnak, majd később nagyfelbontásúnak

nevezett előrejelzést. Egy ilyen konstrukció lehetőséget adott az előrejelző számára, hogy az utóbbi előrejelzést nagyobb figyelemmel tüntesse ki, mint a teljes együtttest. Az ECMWF 2023-tól az ensemble előrejelzéseit egységes felbontáson futtatja; az angol és a svájci meteorológiai szolgálat pedig nem kisebb célt tűzött ki, mint hogy előrejelzéseit és szolgáltatásait néhány éven belül teljes mértékben valószínűségi alapokra helyezi (jelenleg produktumaik kb. 5%-a alapul ensemble előrejelzéseken). A gépi tanulós módszerek az időjárás-előrejelzések területén is megjelentek: ezekre a terjedelmes adathalmazokon tanuló statisztikai módszerekre napjainkban a hatékonyságuk okán van nagy érdeklődés; ugyanakkor kérdéses, hogy mennyiben fogják háttérbe szorítani a fizikai folyamatok és összefüggések megértésén alapuló modellezési szemléletet.

A sokasági megközelítés a jövőbeli éghajlatváltozás vizsgálatában is elengedhetetlen. A földi általános cirkulációt modellező első szimulációkat a 60-as években készítették, s ma ezen a területen is elterjedtek a regionális modellvizsgálatok. A klímaprojekciók bizonytalansága elsősorban a fizikai és az emberi tevékenységgel kapcsolatos folyamatok leírásának közelítő jellegéből ered. A regionális éghajlati modell futtatások eredményeinek felhasználása hazánkban a 2010-es évek második felében indult meg, s a felhasználók sokkal tudatosabban használják a valószínűségi jellegű éghajlati információkat, mint az időjárás-előrejelzések esetében. Götz Gusztáv mindkét szakterület indulását olyan kéziratokkal támogatta (pl. Götz, 2003; 2004; 2005), melyeket több száz, a témával foglalkozó elméleti és gyakorlati publikáció tanulmányozásával és szintetizálásával készített. Ezeket az értékes, a magyar szakmai nyelv fejlődését is támogató írásokat nemcsak az oktatásban használják, de a szakemberek is gyakran lapozgatják őket a mai napig. Gabriella fontos mérföldkőként említette még az MMT Légekördinamikai Szakosztályának 2008-as megalakulását, melynek nyitó előadása a klíma-modellezési kutatásokról szólt, demonstrálva, hogy a jövőbeli éghajlatváltozás kutatása az időjárás számszerű előjelzésével közös dinamikai és modellezési eszköztáron alapul.

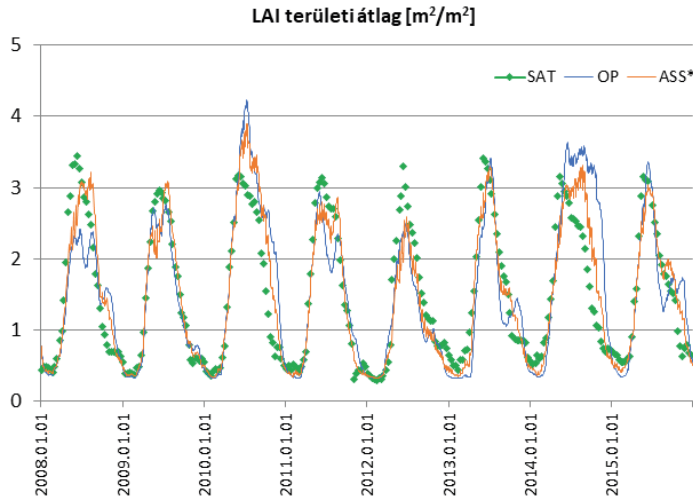
Válogatás a Götz Gusztáv publikációs díjjal jutalmazott munkákból

Az ülés második szekciójának előadásai azokba a munkákba engedtek betekintést, amelyek elnyerték az MMT Götz Gusztávról elnevezett díját. A díjat 2021-ben alapította a Társaság, azzal a céllal, hogy támogassa az alap- és alkalmazott kutatási eredmények,

továbbá az új innovációs ötletek rangos nemzetközi folyóiratokban történő megjelenését. Az elismeréssel ösztönözni kívánják a hazai kutatói utánpótlás-nevelést, szakmánk nemzetközi elismertségének növelését, valamint a magyarországi publikációs aktivitást.

Kolláthné Tóth Helga előadásában egy talaj-felszín adatasszimilációs rendszert mutatott be, amit azért adaptáltak az Országos Meteorológiai Szolgálatnál, hogy valós időben monitorozzák a felszín feletti biomaszsa fejlődését, a felszíni szén- és vízgőz-fluxusok, valamint a gyökérszóna talajnedvességének alakulását egy 8 km felbontású magyarországi területen (*Tóth és Szintai, 2021*). A rendszerben a SURFEX talajmodellt használták, melyben az ún. ISBA-A-gs fotoszintézis eljárás írja le a vegetáció időbeli fejlődését. A SURFEX modell futtatásához szükséges meteorológiai bemenő adatok közül a felszínközeli hőmérsékletet, a relatív nedvességet, a szelet és a csapadékot az ALADIN numerikus előrejelző modell szolgáltatta, a sugárzás adatokat pedig a LandSAF műholdas produktumból vették. A SURFEX modellt először adatasszimiláció nélkül futtatták 2008–2015-re. Ezt követően került sor az adatasszimilációs futásra, melyben a levélfelületi indexre (LAI) és talajnedvesség indexre (SWI) vonatkozó műholdas méréseket vettek figyelembe az ún. *kiterjesztett Kálmán-szűrő eljárással*. A LAI adatokat (2014 májusáig) a Spot/Vegetation és (2014 júniusától) PROBA-V műholdak, míg az SWI méréseket az ASCAT/Metop műhold szolgáltatták. Az adatasszimilációval és anélkül készített futtatás eredményeit egymással, illetve a műholdas adatokkal, valamint az ELTE hegyhátsági in-situ (LAI, talajnedvesség, vízgőz- és szén-dioxid-fluxus) méréseivel hasonlították össze. Az eredményeik alapján mindkét szimuláció visszaadja a biomaszsa és a talajnedvesség évek közötti változékonyságát, de adatasszimilációval pontosabb, realisztikusabb biomaszsa- és talajnedvesség analízis és előrejelzés érhető el, mint anélkül (*I. ábra*). Az eredmények jól hasznosíthatók az aszály-monitorozásban és a termésbecslésben is.

A számszerű éghajlati becslések készítésének fontos eszközei az általános cirkulációs modellek (general circulation model, GCM). A GCM-ek validálásakor a szimulációs eredményeiket mérésekkel, megfigyelésekkel, azaz egy referencia adatbázissal vetik össze. *Kristóf Erzsébet* egy olyan újszerű, a légköri távkapcsolati mintázatokra vonatkozó GCM validációs módszert mutatott be előadásában, amely közismert statisztikai eljárásokból épül fel és automatizáltan végrehajtható. A validációt az északi félgömbön, az 1951–2005 időszak téli hónapjaiban, hat 30-éves és tíz 10-éves időszak

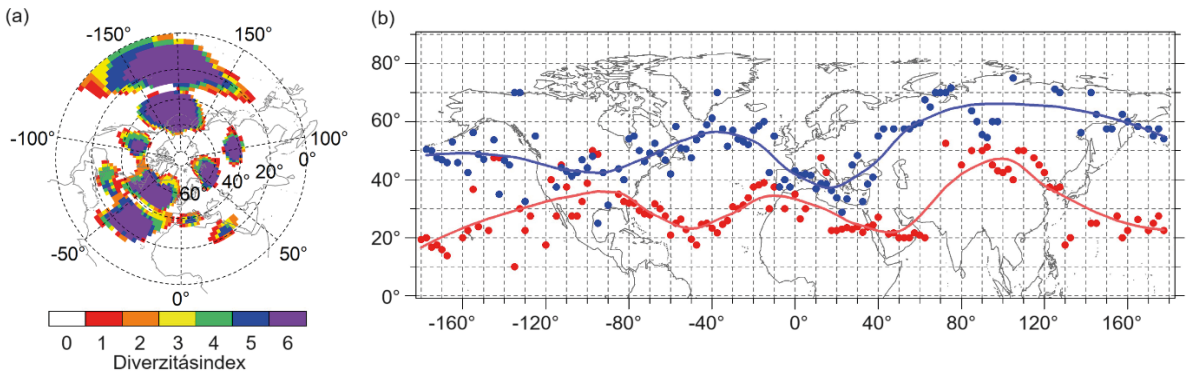


1. ábra. A levélfelületi index területi átlaga 2008 és 2015 között a teljes magyarországi tartományra műholdas mérések (zöld), valamint az adatasszimilációval (narancs) és az anélkül (kék) készített modell-előrejelzések alapján.

alapján végezték el (Kristóf et al., 2020). A módszer kulcsfontosságú lépése a távkapcsolatok azonosítása. Ehhez Wallace és Gutzler (1981) távkapcsolati módszerével – az 500 hPa-os geopotenciális magasságmező rácsponti idősorai közötti lineáris korrelációk kiszámításával – előállított legerősebb negatív korrelációk hemiszférikus mezőit használták fel. A távkapcsolatok legintenzívebben együtt változó területeinek meghatározásához potenciális akciócentrumpárokat azonosítottak, azaz olyan rácspontpárokat, amelyek egymással állnak a legerősebb negatív korrelációban. A GCM-ek

validálása, majd teljesítményük szerinti rangsorolásuk a legerősebb negatív korrelációk mezőire meghatározott népszerű statisztikai mérőszámok – például az átlagos négyzetes hiba négyzetgyöke – alapján sikertelennek bizonyult. Annak érdekében, hogy a validáció eredménye kevésbé legyen érzékeny a vizsgált időszakára és térségére, a legerősebb negatív korrelációmezőkön dimenzioredukciós eljárásokat alkalmaztak, vagyis az eredeti, sokdimenziós adatstruktúrából könnyebben áttekinthető mintázatokat állítottak elő. A 30-éves időszakok esetén diverzitásindexet számítva létrehozták a távkapcsolati mintázatok stabilitástérképeit (2.a. ábra) a következőképpen: rácspontként meghatározták azoknak az időszakoknak a számát, amelyekben a legerősebb negatív korreláció értéke alacsonyabb, mint az adott időszakhoz tartozó legerősebb negatív korrelációk hemiszférikus mezőjének alsó kvartilise. Utóbbit a távkapcsolatok előfordulásának küszöbértékeként határozták meg. A 10-éves időszakok esetén regressziós görbéket illesztettek a potenciális akciócentrumpárok északi és déli pólusaira, amelyek két sávban övezik az északi félgömböt (2.b. ábra). Majd a GCM-ek validációját a referencia adatbázis és a GCM-ek stabilitástérképei, illetve regressziós görbéi összehasonlításával végezték el.

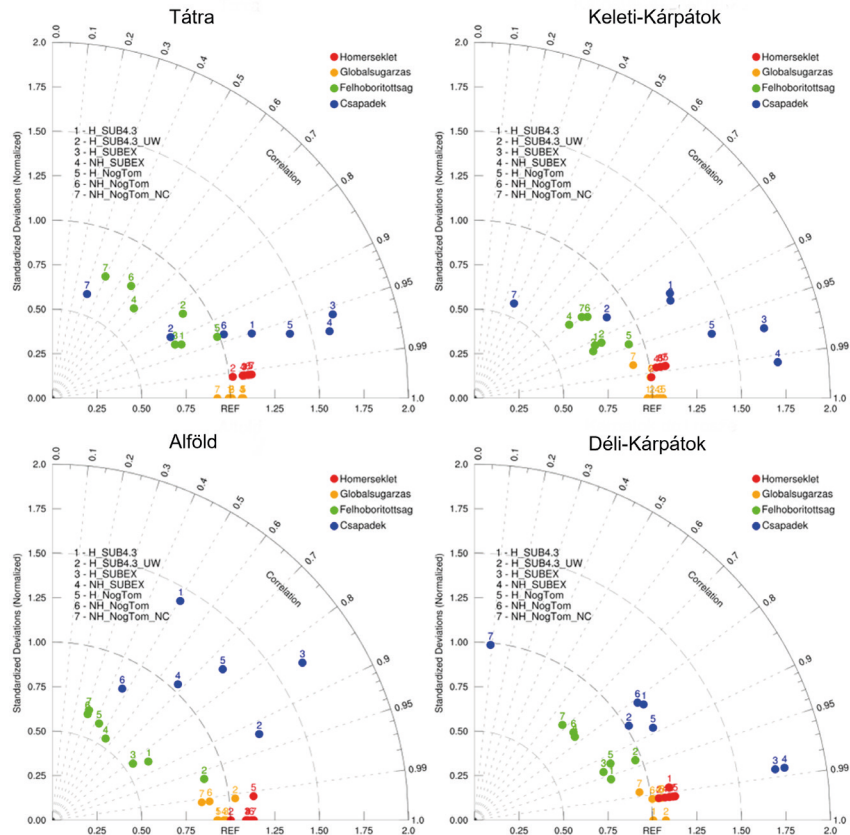
A jövőben várható éghajlatváltozás helyi jellemzőinek feltárására a regionális klímamodellek szolgálnak, melyek segítségével a globális klímamodellek eredményeiből kiindulva napjainkban jellemzően 10-25 km-es felbontású szimulációkat készítenek a kiválasztott földrajzi területre. Kalmár Tímea és munkatársai elvégezték a triezsti ICTP (International Centre for Theoretical Physics) által fejlesztett RegCM regionális



2. ábra. (a) A referencia adatbázisként használt ERA-20C reanalízis legerősebb negatív korrelációmezőiből képzett stabilitástérképe a hat 30-éves vizsgált időszak alapján. A diverzitásindex értéke 0, ha az adott rácspontban a hat vizsgált időszakban egyszer sem detektálható távkapcsolat, míg a diverzitásindex értéke 6, ha az adott rácspontban az összes vizsgált időszakban azonosítható távkapcsolat. (b) A potenciális akciócentrumpárok északi és déli pólusaira illesztett regressziós görbék atlanti-óceáni nézetű térképen, a tíz 10-éves vizsgált időszak esetén. A déli (északi) pólusokat és regressziós görbéket pirossal (kékkel) jelöltük.

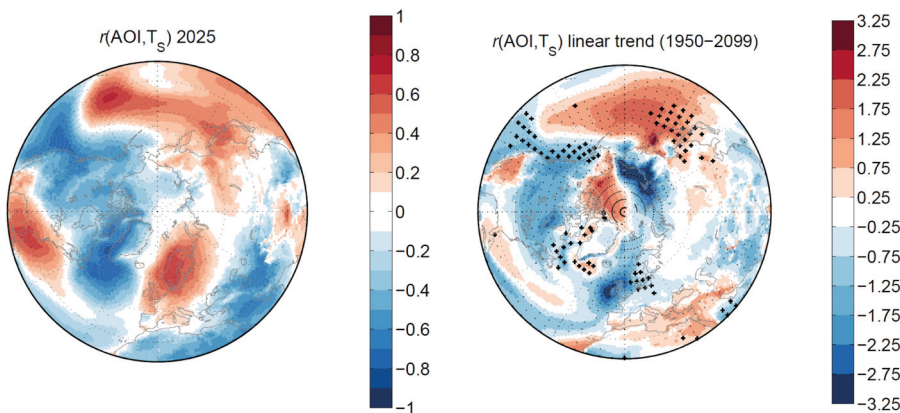
klimamodell 4.5-ös verziójának átfogó tesztelését a Kárpát-medence térségére (Kalmár *et al.*, 2021), s Tímea ennek eredményeiről nyújtott áttekintést előadásában. A RegCM4.5 már nem-hidrosztatikus dinamikával is rendelkezik, illetve a korábbi verzióhoz képest a másik lényeges fejlesztés, hogy egy új mikrofizikai sémát építettek a modellbe: a NogTom séma a nagytérségű felhő- és csapadékképződés realizisztikusabb leírására szolgál a korábbi SUBEX sémához képest. A tanulmány során a SUBEX séma módosított változatát is alkalmazták, amelyet kifejezetten a Kárpát-régióra optimalizáltak; továbbá a modell két planetáris határréteg (PHR) sémáját is tesztelték: a nem-lokális Holtslag és a lokális UW sémát. A modell-futtatásokat 10 km-es horizontális felbontás mellett az 1981–1990 időszakra készítették el, amihez a kezdeti- és peremfeltételeket az ERA-Interim reanalízis szolgáltatta. A validáció során a CarpatClim rácsponti mérési adatbázis adataival vetették össze a szimulációs eredményeket, s nemcsak a csapadék és hőmérsékleti értékeket, hanem a globálsugárzást, illetve a felhőborítottságot is vizsgálták. A tesztelés során megállapították, hogy a NogTom mikrofizikai séma javítja az eredményeket a SUBEX sémához képest a Kárpát-medence térségében, de összességében a módosított SUBEX (SUB4.3) séma teljesít a legjobban (3. ábra). A SUB4.3 csökkenti a csapadék és a felhőzet hibákat, azonban a hőmérsékleti értékekre kevésbé van hatással. A PHR sémák közül az újabb UW séma a felhőzeti, illetve a hőmérsékleti hibákat jelentősen csökkenti a síkvidéki területeken a Holtslag sémához képest. A nem-hidrosztatikus dinamika szerepe egyértelműen felismerhető a csapadéknál, különösen a Kárpátok vonulatainál, ahol a csapadék felülbecslése 10–15%-kal magasabb a hidrosztatikus dinamikát alkalmazó szimulációkhoz képest. A legjobb teljesítményt a hidrosztatikus dinamikával, SUBEX és UW sémákkal készített szimuláció nyújtotta a Kárpát-régióra. A kapott eredmények segítséget nyújtanak a modelltől származó bizonytalanságok csökkentésében, illetve hasznos információt szolgáltatnak mind a modellfejlesztők, mind a felhasználók számára.

Az utóbbi években egyre szélesebb körben alkalmaznak az ún. sokasági éghajlati szimulációkat az éghajlatváltozás és az éghajlat belső változékonyságának



3. ábra. A 10 km-es felbontású RegCM-szimulációk Taylor-diagramjai különböző régiókban a havi átlaghőmérsékletre, a globálsugárzásra, a felhőborítottságra és a csapadékösszegre vonatkozóan a 1981–1990 időszakban a CarpatClim mérési adatokhoz viszonyítva. A Taylor-diagram 3 mérőszámot mutat egyszerre: a korrelációt, a szórást és a centralizált átlagos négyzetes hibát. A függőleges tengellyel bezárt szög, valamint az origó körüli koncentrikus körök a referenciát és szimulált havi átlagértékek korrelációját, valamint szórásukat mutatják. A referenciát reprezentáló (REF) ponttól vett távolság mutatja az adott RegCM-szimuláció CarpatClimhez képest számított négyzetes középérték hibáját. Az adatok normáltak, így a négyzetes hiba értékek a megfigyeléstől vett relatív eltérést jelentik. Optimális esetben a modell-szimulációkat jelölő szimbólumok REF pont közelében helyezkednek el.

vizsgálatára. Ezek olyan szimulációk összességét foglalják magukba, melyben a sokaság tagjai kissé különböző kezdeti feltételekből indulnak ki, azonban ugyanazon fizikai törvényeknek és kényszereknek engedelmeskednek (valamint azonos éghajlati modellel készültek). Haszpra Tímea előadásában azt mutatta be, hogyan lehet a legjobban kiaknázni ezen szimulációkat, és miért célszerűbb ezek felhasználásával, az ún. snapshot-megközelítésben elemezni az éghajlatváltozás hatásait. A snapshot-attraktorok elméletével igazolható, hogy tetszőleges kezdeti feltételekből induló szimulációk sokasága az adott kényszerek között lehetséges időjárási állapotok összességéhez konvergál. Azaz a sokaság



4. ábra. (a) Az r sokaságalapú snapshot korrelációs együttható az AOI arktikus oszcillációs index és a T_s felszínhőmérséklet között 2025-re a Community Earth System Model Large Ensemble (CESMI-LE) szimulációiban az RCP8.5 forgatókönyv mellett. (b) Lineáris trend (10^{-3} év^{-1}) az r -ben az 1950-2099 időszakra a CESMI-Le esetén 2005-ig a megfigyelt légköri üvegházgáz- és aeroszol-koncentráció értékek, majd az RCP8.5 forgatókönyv figyelembevételével. A pontok olyan rácspontokat jelölnek, ahol a trend 95%-os szinten szignifikáns. Keresztek jelzik, ahol ezen kívül az r -ek 95%-os szinten szignifikánsak az 1950-2099 időszakban, azaz ahol végig „erős is a kapcsolat” a két változó között.

A megoldandó feladatsor két részből állt. A 20 feleltválasztós kérdésből álló kvíz a dinamikus meteorológia és a numerikus prognosztika 1-2 állomását elevenítette fel, valamint néhány jellemző, aktuális kérdést vetett fel az ensemble előrejelzések, a dinamikai rendszerek, illetve a klímadinamika területéről. A kérdések többségét Götz Gusztáv Káosz és prognosztika című könyve ihlette. A bátor jelentkezőknek két bónusz kérdéssel is meg kellett birkóznuk, melyek közül az egyik egy valószínűségi számítási feladat volt,

tagjai egy olyan időfüggő eloszlást definiálnak, mely a karakterisztikus konvergenciaidő után minden időpillanatban statisztikailag jól jellemzi a lehetséges állapotok tárházát, azok előfordulási valószínűségét: vagyis a sokaság kirajzolja az időben változó snapshot-atraktort. Az éghajlat pillanatnyi belső változékonyságát ennek (véges) kiterjedése határozza meg. Mivel a sokasági tulajdonságok, így a meteorológiai változók valószínűségi eloszlása is előrejelezhető statisztikai értelemben minden pillanatban, így az egyedi idősoroknál jellemzően alkalmazott szubjektív időbeli statisztikák (pl. mozgóátlag esetén rögzített hosszúságú időablakok) használata elkerülhető, valamint bármelyik mennyiség kényszerekre adott változása is elemezhető a snapshot értékek (pl. sokasági átlag, sokasági szórás) idősor-analízisével (pl. 4. ábra). Az előadó bemutatta, hogy a snapshot-szemléletben elért eredményeket hogyan lehet használni a légköri távkapcsolatok (El Niño–déli oszcilláció; észak-atlanti oszcilláció; arktikus oszcilláció) terén (Haszpra et al., 2020), valamint a légköri szennyeződések szétterjedésének intenzitása és a hógolyó-Föld (teljes mértékben jég- és hóborította Föld) kialakulásának témájában.

Az emlékvíz tapasztalatai

A tudományos előadások után a rendezvénynt egy könnyedebb programpont zárta: Radnóti Gábor az emlékvíz alkalmából összeállított szakmai feladvány megoldásait, tapasztalatait összegyezte.

a másik pedig a híres pillangó-effektusra vonatkozott. A feladványok megoldására 12 meteorológus kolléga vállalkozott, s ha hinni lehet a szóbeszédnek, akkor eközben az OMSZ könyvtárában megnőtt a kereslet a Káosz és prognosztika című könyv iránt. Gábor az előadásában bemutatta a megoldásokat és kiemelte azokat a kérdéseket, melyekre több kitöltő is rossz választ adott (ilyen volt például a különös attraktor névadójára vonatkozó kérdés – nem Edward Lorenz keresztelte el így). Kedvenc, de egyáltalán nem könnyű valószínűségi számítási példájára két teljes megoldás is érkezett (Haszpra Timeától és Salavec Pétertől), s néhányan a probléma számítógépes beprogramozásával is megörvendeztették őt. A kvíz és a bónusz



3. foto. Lakatos Mónika, az MMT elnöke átadja Salavec Péternek a Götz Gusztáv emlékére meghirdetett kvíz legjobb kitöltőjének járó nyerezményt.

kérdések megoldásában az első helyet végül Salavec Péter szerezte meg, akinek teljesítményét egy féléves Természet Világa magazin előfizetéssel ismerte el a Meteorológiai Társaság (3. fotó), a második helyen pedig *Bölöni Gergely* és *Szintai Balázs* osztozott.

Irodalom

- Bartha I.*, 2006: A Balatoni viharjelzés. OMSZ Kiadvány.
- Czelnai R., Götz G., Iványi Zs.*, 1982: Bevezetés a meteorológiába II. – A mozgó légkör és óceán. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Götz, G.* (szerk.), 1966: Sturmwarnung am Balatonsee. OMSZ Hivatalos Kiadványok 30, Budapest.
- Götz G., Rákóczi F.*, 1981: A dinamikus meteorológia alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Götz, G., Mészáros, E., Vali, G.*, 1991: Atmospheric Particles and Nuclei. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Götz G.*, 2001: Káosz és Prognosztika. Országos Meteorológiai Szolgálat.
- Götz G.*, 2003: Ensemble előrejelzések. Kézirat, a 28. Meteorológiai Tudományos Napokon elhangzott előadás bővített változata, 43 pp.
- Götz G.*, 2004: A klímadinamika alapjai. Kézirat, Meteorológiai Tudományos Bizottság, Léggördinamikai Munkabizottság, 41 pp.
- Götz G.*, 2005: Az éghajlat dinamikájának néhány nyitott kérdéséről. 31. Meteorológiai Tudományos Napok beszámolókötet, OMSZ, 10–61.
- Haszpra, T., Topál, D., Herein, M.*, 2020: On the Time Evolution of the Arctic Oscillation and Related Wintertime Phenomena under Different Forcing Scenarios in an Ensemble Approach. *Journal of Climate* 33, 3107–3124. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0004.1>
- Kalmár, T., Pieczka, I., Pongrácz, R.*, 2021: A sensitivity analysis of the different setups of the RegCM4.5 model for the Carpathian region. *International Journal of Climatology* 41, S1, E1180–E1201. <https://doi.org/10.1002/joc.6761>
- Kristóf, E., Barcza, Z., Hollós, R., Bartholy, J., Pongrácz, R.*, 2020: Evaluation of Historical CMIP5 GCM Simulation Results Based on Detected Atmospheric Teleconnections. *Atmosphere* 11, 723. <https://doi.org/10.3390/atmos11070723>
- Tóth, H., Szintai, B.*, 2021: Assimilation of Leaf Area Index and Soil Water Index from Satellite Observations in a Land Surface Model in Hungary. *Atmosphere* 12, 944. <https://doi.org/10.3390/atmos12080944>
- Wallace, J.M., Gutzler, D.S.*, 1981: Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. *Monthly Weather Review* 109, 784–812. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2)

Götz Gusztáv emlékkvív

Összeállította:

Radnóti Gábor, Ihász István, Szépszó Gabriella

1. Kinek a nevéhez fűződik a felismerés, hogy az időjárás előrejelzésének tudományos problémája tekinthető a hidro-termodinamikai egyenletrendszer megoldási problémájaként?

- Lewis Fry Richardson
- Carl-Gustaf Rossby
- Vilhelm Bjerknes
- Jule Charney
- Hermann von Helmholtz

2. Adott egy „primitív”, elegendően nagy méretű ensemble rendszer, amelynek minden tagja egy a klímaeloszlásból véletlenszerűen generált állapot. Legyen X egy ebből véletlenszerűen kiválasztott tag, Y pedig az ensemble átlaga. Mi igaz X és Y várható négyzetes hibájára, azaz MSE(X) és MSE(Y) viszonyára?

- $MSE(X)=2*MSE(Y)$
- $MSE(Y)=2*MSE(X)$
- $MSE(X)=MSE(Y)$
- $MSE(X)=4*MSE(Y)$
- $MSE(Y)=4*MSE(X)$

3. Az alábbiak közül melyik állítás hamis a 3-változós Lorenz rendszerrel kapcsolatban?

- A Rayleigh-Bénard konvekció egy egyszerűsített modellje.
- Megoldása a benne szereplő paraméterek minden értékére kaotikus.
- A rendszert bizonyos paraméter tartományban különös attraktor jellemzi.
- Bizonyos paraméter értékek mellett fraktál jelleg mutat, a Ljapunov exponensekből származtatott fraktál dimenzió 2 és 3 között van.

4. Ki az a numerikus prognosztikát sikeresen megalapozó tudós, aki a nagyságrendi analízis módszerének bevezetésével elsőként hozott létre a gyakorlati numerikus prognosztikai céljára alkalmas egyszerűsített egyenleteket, a kvázi-geosztrofikus közelítés formájában?

- Lewis Fry Richardson
- Carl-Gustaf Rossby
- Vilhelm Bjerknes
- Jule Charney
- Hermann von Helmholtz

5. Egy dinamikai rendszer viselkedésében a kontroll paraméter módosítására fellépő kvalitatív változás melyik alábbi fogalomhoz kapcsolódik?

- a) Bijekció
- b) Bilinearitás
- c) Birkhoff ergodikus tétel
- d) Bifurkáció

6. Mikor készült az első kísérleti jellegű szinoptikus térkép egy (a krími hadiflotta nagy részét elpusztító) fekete-tengeri vihar utólagos elemzése céljából?

- a) 1822. március 6-án
- b) 1855. február 19-én
- c) 1894. január 16-án
- d) 1914. szeptember 30-án

7. Edward Lorenz az 50-es években bevezetett egy fogalmat, mely nagy szerepet játszik az általános cirkuláció fennmaradásában. Mi ez a mennyiség?

- a) Potenciális örvényesség
- b) Hasznosítható potenciális energia
- c) Ekvivalens potenciális hőmérséklet
- d) Sebességpotenciál

8. Az abszolút örvényesség megmaradását hidrosztatikus, adiabatikus légkörben, súrlódás- és divergenciamentes áramlás esetén leíró egyenlet rendelkezik egy partikuláris hullám-megoldással. Hogy nevezik ezt a hullámot?

- a) Hanghullám
- b) Gravitációs hullám
- c) Rossby hullám
- d) Kelvin hullám
- e) Eady hullám

9. Kinek a nevéhez fűződik a különös attraktor elnevezés?

- a) Edward Lorenz adta ezt a nevet a 3-változós Lorenz-rendszer aszimptotikus megoldás trajektóriájára.
- b) Floris Takens és David Ruelle a Turbulencia Természetéről címmel írt tanulmányában adta ezt a nevet a turbulencia kaotikus jellegének bemutatásakor.
- c) Mikhail Rabinovich adta ezt a nevet a Rabinovich-Fabrikant attraktor felfedezésékor.
- d) Aleksandr Ljapunov vezette be a fogalmat a Markus-Ljapunov bifurkációs fraktálok jellemzésékor.

10. Ki az a tudós, aki a statisztikai előrejelzések korlátainak tanulmányozása közben, egy számítógépes kísérlet során felfedezte a napjainkban káosznak

nevezett jelenséget, azaz bizonyos nemlineáris differenciálegyenletekkel leírható determinisztikus rendszerek aperiodikusságát és a kezdeti feltételekre mutatott végtelen érzékenységet?

- a) Edward Lorenz
- b) Benoit Mandelbrot
- c) Arnt Eliassen
- d) Neumann János

11. Mikor végezte el Richardson a híres előrejelzési kísérletét, amely úttörő jelentőségű a numerikus prognosztika kialakulásában, még ha eredményesség szempontjából teljes kudarcba is fulladt?

- a) 1912
- b) 1922
- c) 1932
- d) 1942

12. Dinamikailag modellezhető-e az ENSO (El Nino – Déli Oszcilláció) jelenség?

- a) Eddig még nem sikerült.
- b) Elméletileg nem lehetséges.
- c) Igen.
- d) Nem.

13. Az északi félgömb évszakai szerint az El Nino jelenség mikor alakul ki leggyakrabban?

- a) Tavasszal
- b) Nyáron
- c) Ősszel
- d) Télen

14. Hány alapító tagállama volt az ECMWF-nek?

- a) 10
- b) 15
- c) 20
- d) 25

15. Hol született 1986-ban a következő, sokat idézett megállapítás: „Egyetlen prognózis sem teljes a prognózis bevalási valószínűségének a prognosztizálása nélkül”?

- a) Bracknellben
- b) Readingben
- c) Toulouse-ban
- d) Washingtonban

16. Melyik perturbációs módszer nem szerepel a Káosz és prognosztika című könyvben?

- a) Monte Carlo módszer
- b) Breeding módszer

- c) Szinguláris vektorok módszere
- d) Ensemble adatasszimiláció

17. Mikor készült az első operatív ensemble előrejelzés az NCEP-ben és az ECMWF-ben?

- a) 1982-ben
- b) 1987-ben
- c) 1992-ben
- d) 1997-ben

18. Mire nem használják a meteorológiában az adjungált módszert?

- a) A néhány nappal korábbra szóló előrejelzések készítésére.
- b) A variációs adatasszimilációs technikában a kezdeti feltétel optimális becslésénél.
- c) Az előrejelzés javítását segítő célzott megfigyelési kampányok megtervezésére.
- d) Az ensemble előrejelzéseknél a kezdeti feltételek optimális perturbációjának megkeresésére.

19. Mi nem a tökéletes meteorológiai modell-előrejelzések akadályai?

- a) A légkör kaotikus jellege.
- b) A kiindulási (vagy jelen) állapot pontatlan leírása.
- c) A számszerű modellekben alkalmazott közelítések.
- d) Az előrejelzések hibás kommunikációja.

20. Mit jelent, hogy a világoceán termohalin cirkulációja pszeudo-intranzitív viselkedésű?

- a) Egyetlen elméletileg lehetséges stabil elrendeződése van, de azt a gyakorlatban sosem veszi fel.
- b) Elméletileg több lehetséges stabil elrendeződése van, de a gyakorlatban csak az egyiket veszi fel.
- c) Egyetlen stabil elrendeződése létezik.
- d) Több kvázi-stacionárius állapotot is felvehet, és ezek között lehetséges átmenet (általában egy állapotváltozó kritikus küszöböt meghaladó értéke esetén).

1. bónusz kérdés

A Legyen Ön is milliomos vetélkedőn a játékos eljut egy kérdésig (a, b, c és d lehetőség közül választhat), amire egyáltalán nem tudja a választ. Két segítség még rendelkezésére áll: a véletlen felezés (amikor a számítógép véletlenszerűen elvet két rossz választ) és a közönség megkérdezése (amikor a közönség mind a 20 tagja szavaz a jó válaszra). A közönségről annyit tudni, hogy minden tagja 10 százalékos valószínűséggel tudja a helyes választ, és amennyiben nem tudja azt, véletlenszerűen választ. A játékos maximalizálni akarja

a nyerési esélyeket. Így egymás után mindkét segítséget igénybe veszi és azt a választ fogadja el, amelyikre több szavazat érkezik, döntetlen esetén véletlenszerűen választ. Milyen sorrendben kérje a két segítséget és miért? Melyik esetben mennyi az apriori valószínűsége, hogy nyer?

2. bónusz kérdés

A kaosz-elmélet egyik „szimbolikus fogalma” a pillangó-effektus. Mi az a kettősség, ami a pillangó-effektust a kaosz-elmülethez köti, azaz mi maga az effektus és miért pont a pillangóval hozhatták kapcsolatba?

A Götz Gusztáv emlékviz megoldásai

1. c; 2.a; 3.b; 4.d; 5.d; 6.b; 7.b; 8.c; 9.b; 10.a; 11.b; 12.c; 13.d; 14.b; 15.b; 16.d; 17.c; 18.a; 19.d; 20.d.

1. bónusz kérdés: 1-tagú közönség és 10 százalékos tudási valószínűség esetén a nyerési valószínűség 5% függetlenül attól, hogy előbb a közönséget kérdezi meg a játékos vagy a felezést választja. Ha a közönség mérte tart a végtelenhez, a nyerési valószínűség mindkét esetben növekszik és tart a 100%-hoz, de gyorsabban nő abban az esetben, amikor a játékos először a közönséget kérdezi. (A részletes levezetés megtalálható Radnóti Gábor előadásában.)

2. bónusz kérdés: A kaotikus rendszerek viselkedésének 1. bónusz kérdés: A kaotikus rendszerek viselkedésének egyik jellemzője a kezdeti feltételekre való érzékenység, aminek következtében két egymáshoz tisztolag közeli lévő pontból indított fázistérbeli trajektória távolsága egy ideig exponenciálisan nő, majd a két állapot egymástól független, látszólag véletlenszerű helyen jelenik meg. Edward N. Lorenz egy 1972-ben tartott előadásának című az „Okozhat-e egy brizíliai pillangó szárnycsapása Texásban tornadót?” címet adta, s azzal szemléltette a hatást, hogy az említt pillangó szárnycsapása, illetve annak elmaradása által reprezentált két egymáshoz nagyon közeli kezdeti állapotból indulva a kaosz következményeként előfordulhat, hogy az egyik állapottól Texásban kialakul egy tornádó, míg a másikból nem; és ugyanezen effektus következménye ezért az is, hogy az időjárás előrejelzelhetőség korlátos, azaz a beválás adott küszöb fölé csak véges ideig maradhat. A szemléltető magyarázathoz a pillangót az ihletelhet, hogy a kaosz fedezéséhez vezető 1961-es, a Rayleigh-Bénard-konvekciót szimuláló numerikus kísérlethez felállított modell kaotikus attraktora az általa alkalmazott paraméter-értékek esetén éppen egy pillangó két szárnycsúcsához hasonlít.