

Meteorológia a társadalom szolgálatában: a kutatástól az alkalmazásig – 50. Meteorológiai Tudományos Napok

Plenáris előadások

Meteorológiai Tudományos Napok 50

Bozó László, az MTA rendes tagja

A Meteorológiai Tudományos Napokat első alkalommal 1975 novemberében rendezték meg a Magyar Tudományos Akadémián. Ebben az évben ünnepelhetjük tehát a MTN 50. születésnapját. Az előadás keretében áttekintjük a MTN létrehozásának körülményeit, a korábbi előadóüléseken tárgyalt legfontosabb tudományterületeket, valamint ezek kapcsolódását az aktuális nemzetközi tudományos kihívásokhoz és tevékenységekhez. Az MTN rendezvényeinek sorozata egyúttal a hazai *légművelődési*, sőt az előadóülések szakmai horizontját tekintve a *környezettudományi* intézményhálózat fejlődésének, mindenkori kutatási és fejlesztési célkitűzéseinek is történeti tükrö. Előadásunkban kitérünk az ebben történt változások hatásainak bemutatására is.

Légköri veszélyek az atlanti viharciklonoktól a balatoni viharokig

Horváth Ákos PhD; Breuer Hajnalka PhD

Az elemi csapások körében az elsők között találhatóak a légköri folyamatok okozta pusztító események. A szélsőséges időjárási jelenségek a meteorológiai cirkulációs rendszerekben létrejövő anomáliákhoz, turbulens folyamatokhoz köthetők. Ezen folyamatok történhetnek mezoskálán, mint a konvektív viharok esetén, vagy szinoptikus skálán, mint a viharciklonok esetén. Szélsőséges időjárásnak tekinthetők az egyre gyakrabban előforduló forró, száraz periódusok, amelyek makroszinoptikus folyamatokkal magyarázhatók.

A veszélyes időjárási helyzetekben legtöbbször fontos szerepet kap a víz. A víz egyrészt mint energiahordozó jelentős energia koncentrációt tesz lehetővé a légkörben azáltal, hogy vízgőz formában a konvergens területekre latens hőt szállít. A kondenzáció során felszabaduló hőenergia fontos energiaforrás a gyorsan fejlődő viharciklonok számára, jelentős adalékot hozva a szinoptikus folyamatokat alakító Lorenz-féle hasznosítható energiához. Az atlanti-viharciklonok, valamint a mediterrán-ciklonok esetén a latens hőfelszabadulás szerepe meghatározó. A veszélyes konvektív folyamatok esetén a víz szerepe ugyancsak nyilvánvaló.

A Kárpát-medencében a leggyakoribb veszélyes jelenségek közé tartoznak a mezoskálájú gyorsan mozgó zivatarrendszerek, amelyek a szél, jégeső és villámlás által okoznak pusztítást. Ugyancsak konvektív rendszerek felelősek a villám árvizekért. Külön kategóriába sorolhatók az egyre gyakrabban előforduló szupercellák. A szinoptikus skálájú folyamatok térségünkben elsősorban a hosszan tartó szélviharokért, illetve regionális árvizekért felelősek.

A magyar meteorológiában különösen a balatoni viharjelzés, a repülésmeteorológia és az országos veszélyjelzés számára jelentenek kihívást a viharok minél pontosabb előrejelzése.

Az egyetemek szerepe a meteorológiai alapkutatásban és a kutatásfejlesztésben

Weidinger Tamás PhD; Geresdi István, az MTA doktora

„Tudjuk mi azt jól, hogy nekünk kötelességünk hallgatóink tudományos szakképzettségét fejleszteni úgy, hogy később gyakorlati életpályájuk folyamán abban hiányt ne szenvedjenek,

de maga a begyakorlás ezekbe a foglalkozásokba nem tartozott soha, és nem tartozik ma sem a mi teendőink közé” (Eötvös Loránd: *Az egyetem feladatairól*).

Nem csak napjainkra igaz, hogy az egyetemeknek széles körű társadalmi elvárások kell megfelelniük. A magas szintű kutatás és oktatás mellett nem feledkezhetünk meg a társadalmi, közösségi és tudományszervezési feladatokról sem. Időről időre változik azonban, hogy az említett területek közül melyik kap nagyobb hangsúlyt. Az alap a versenyképes kutatás-fejlesztés és az erre épülő oktatás.

Bemutatjuk a meteorológiával foglalkozó egyetemi tanszékeket, kutatóhelyeket; ismertetjük főbb kutatási témáikat. A meteorológiai tudományos potenciált az MTMT (Magyar Tudományos Művek Tára) adatbázisa alapján tekintjük át. Kitérünk i) a meteorológusok elhelyezkedési lehetőségeire, ii) bemutatjuk a tudományos fokozattal rendelkezők munkahelyi megoszlását, iii) publikációs és kutatásfejlesztési tevékenységét. Szólunk a hazai és nemzetközi pályázatokról, együttműködési lehetőségekről. Áttekintjük az elmúlt évtized oktatásfejlesztési törekvéseit, az új generációs oktatási tematikákat. A szerteágazó elvárásokhoz megfelelő technikai és humán erőforrások kellene. Elemezzük ezek meglétét, kockázatait.

Kitekintünk i) az egyetemi szféra és a HungaroMet kapcsolatrendszerére, az együttműködések fontosságára, ii) a Magyar Honvédség katona-meteorológusaival kiépített kapcsolatokra, iii) az ipar és a mezőgazdaság meteorológiai információk iránti igényére.

Az új műholdas sugárzásháztartás-mérések

Major György, az MTA rendes tagja

A Föld bolygó sugárzásháztartásának összetevői: a beérkező napsugárzás, a visszavert napsugárzás és a saját hőmérsékleti kisugárzás. Az utóbbi két összetevő mérése a műholdak megjelenésével vált lehetővé. A 2000. év márciusával kezdve a NASA CERES programja folyamatosan szolgáltatja az adatokat, így létrejött a már most is leghosszabb, összefüggő mérési adatsor. Az előadásban a 2001. és 2023. közötti időszaknak a teljes naptári évre és a teljes Földre vonatkozó átlagos értékeiből álló adatsorok néhány jellegzetessége kerül bemutatásra. Legfontosabb az, hogy a bolygó sugárzási energiamérlege minden évben pozitív volt és növekvő trendet mutatott. A bekerült többlet energia éghajlati rendszeren belüli eloszlása az éghajlati paraméterek mérési adatiból ismerhető meg.

Légkörfizika és levegőkémia

Egy elem, három izotóp: szénizotópos vizsgálatok a meteorológia szolgálatában

Varga Tamás PhD; Molnár Mihály PhD; Major István PhD; Haszpra László, az MTA doktora; Baráth Balázs Áron; Bán Sándor

Az emberi élet szempontjából a földi körforgások közül az egyik legjelentősebb a szén globális ciklusa. A szén vándorlását a különböző szférák között nyomon lehet követni a természetes izotópjainak (^{12}C , ^{13}C és ^{14}C) egymáshoz viszonyított arányai mérésével. Mivel ez az elem az atmoszférától kezdve a bioszférán és hidroszférán át egészen a litoszféráig képes vándorolni, így mint egy természetes módon nyomjelzett anyagot követhetjük vándorlása során. A szén stabil izotópjainak (^{12}C és ^{13}C) aránya információt szolgáltat a források arányairól, mint például a különböző növényi források, a radioaktív szén (^{14}C , radiokarbon) arányának vizsgálata a stabil szénizotópokhoz képest pedig alkalmas a fosszilis és modern, biológiai források elkülönítésére egyes közegekben. Ez a nyomjelző képes volt detektálni a múltbéli, jelentős fosszilis CO_2 hozzájárulást a légkörben, pusztán faégyűrű vizsgálatok segítségével.

Mivel a szén nem csak CO₂-ként utazik a környezeti elemek között, így ugyanezen izotópanalitikai módszerek képesek arra, hogy a fatüzelésből eredő aeroszoltöbbséget kimutassák, így biztosítva egy megbízható eszközt a források pontos elkülönítésére. A napjainkban folyó tudományos légköri vizsgálatok egyik fő célpontja a metán (CH₄) is rendkívül jól követhető a különböző izotópjainak vizsgálatával, melyek akár városi, regionális, vagy globális léptékű források elkülönítését is célozhatják. A meredeken emelkedő légköri metánkoncentráció forrásai és eloszlása még nem egyértelműen tisztázottak, így az izotópanalitika lehet az egyik olyan eszköz, amely segítséget nyújthat az üvegházhatású gázok, mint például a CH₄, forrásainak pontos felderítésében. Ezen mérések légköri transzportmodellekkel és más analitikai eszközökkel párosítva hatékony eszközei a klímaváltozás ellen vívott harcnak. Jól mutatja ezt az is, hogy például az ICOS (Integrated Carbon Observation System) európai mérőhálózat is alkalmazza az üvegházhatású gázok szénizotópjainak mérését különböző térbeli és időbeli felbontás mellett. Az előadásban bemutatásra kerülnek a szénizotópos módszerek lehetőségei, különös tekintettel a hazai, Atommagkutató Intézetben végzett munkákat bemutatóva.

Bel- és kültéri levegőminőség-mérések hordozható szenzorokkal

Mészáros Róbert PhD; Vincze Csilla; Varga-Balogh Adrienn; Leelőssy Ádám PhD; Tordai Ágoston

A levegő minősége jelentősen befolyásolja egészségünket és a környezetünkre is hatással van, ezért pontos ismerete a tudományos kutatások és légszennyezettség csökkentését célzó döntéshozói tevékenységek mellett egyre nagyobb hangsúlyt kap a közéletben is. A legfontosabb légszennyező anyagok változásait nagy pontosságú műszerekkel végzett mérések és egyre fejlettebb levegőkémiai modellek eredményei írják le. A helyi, különösen a beltéri levegőminőséget befolyásoló tényezők összetett hatásaként ugyanakkor a referenciamérések, valamint a lokális hatásokat kevésbé, vagy egyáltalán nem kezelő modellszimulációk mellett egyre jobban elterjednek az egyszerűbb, de akár mobil mérésekre is alkalmas levegőminőségi szenzorok. Ugyanakkor ezeknek a low-cost eszközöknek számos hátránya is van, többek között kevésbé pontosak, megbízhatóságuk idővel csökkenhet, gyakran érzékenyen reagálnak egyes időjárási helyzetre (pl. magas páratartalom). Mindezen hátrányok mellett, a mérési adatokat megfelelően értelmezve (pl. műszerkalibráció alapján utólagos korrekciók) ezek a kisméretű szenzorok költséghatékony módon hozzájárulhatnak a levegőminőség finom tér- és időbeli mintázatának megismeréséhez, ami – a tudományos eredmények mellett – rendkívül fontos szemléletformáló hatású is lehet, és elősegítheti a környezettudatosabb attitűd kialakulását. Kutatásaink során különböző levegőminőségi szenzorokkal végeztük elsősorban a kisméretű aeroszol részecskék mérését beltérekben, illetve előre meghatározott útvonalakon, nagy időbeli felbontásban. A több éve folyó folyamatos és eseti levegőminőség mérések – amit meteorológiai mérésekkel is kiegészítettünk – számos ismerettel szolgáltak az alacsony költségvetésű eszközök alkalmazhatóságáról, azok korlátairól és előnyeiről. A mérési tapasztalatok alapján világosan látszik, hogy a low-cost szenzorok hatékony kiegészítői lehetnek a referenciaméréseknek a települési és a beltéri levegőminőség folyamatainak jobb megismerése és megértése terén.

A kutatás az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt keretében valósult meg.

A vízcseppkeletkezés újszerű parametrizációja nem konvektív felhőkben és ködben

Peterka András; Geresdi István, az MTA doktora

Egy új, a ködcseppek kialakulását leíró aeroszol aktivációs parametrizációt fejlesztettünk ki, melyet a WRF Thompson Eidhammer mikrofizikai sémába implementáltunk. A módszer a hűlési sebesség és a vízgőz keverési arányának időbeli változásán alapszik. Egy kisugárzási ködeseményt modellezve azt találtuk, hogy az új parametrizáció hatására: (i) a ködök mikrofizika struktúrája inhomogénebbé vált; (ii) a köd tetején megnövekedett a cseppszám koncentráció és ennek következtében az albedó értéke is; (iii) a köd élettartama 30–60 perccel növekedett.

Az új parametrizáció további tesztelésére 10 különböző ködeseményt (7 kisugárzási, 2 felhő alap süllyedéses,

1 advekción) választottunk és az azokról készült modell eredményeket mérési adatokkal vetettük össze. Továbbá az új parametrizáció a ködön kívül alkalmas lehet egyes nem konvektív felhőkben történő cseppképződés leírására is. Ennek tesztelésére egy kiválasztott nem konvektív felhő eseményt modelleztünk.

Űridőjárás és a kapcsolódó légköri folyamatok

Bór József PhD; Heilig Balázs; Barta Veronika; Lemperger István

Az űridőjárás (*space weather*) a bolygóközi térben és a földközeli térségnek már a világűr részének tekinthető tartományában a fizikai tulajdonságok és az anyagtartalom viszonylag rövid, legfeljebb a földi időjárásával összemérhető időskálán bekövetkező változékonysága. Elsősorban a Nap felszínén és a napkoronában végbemenő dinamikus fizikai folyamatoknak tulajdoníthatók a bolygóközi környezetben tapasztalható változások. Miközben bolygónk a Nap körül kering, ezekhez a változásokhoz a Föld környezetében a magnetoszférával és az ionoszférával való kölcsönhatás következményei is hozzáadódnak. Ezeknek a tartományoknak a kvázi-stacionárius állapotát és a hosszabb időskálájú változásait az űrghajlat (*space climate*) foglalja össze. Az űridőjárás a plazma és különösen a napszél fizikai állapotának és áramlási tulajdonságainak a módosulásaiban, valamint a mágneses és sugárzási terek változásaiban nyilvánul meg. Miután a földi időjárást alapvetően a Naptól származó energia határozza meg, kézenfekvő a kérdés, hogy az űridőjárás mekkora és milyen szerepet játszik a földi időjárás, illetve általában a légkör fizikai folyamatainak az alakításában. Az előadás röviden összefoglalja az űridőjárás jelenségek forrásfolyamatait és áttekinti az űridőjárás és a földi környezet kölcsönhatásairól rendelkezésre álló ismereteket. Tárgyaljuk az űridőjárás eseményeknek a Föld-rendszerben okozott hatásait különös tekintettel a légkör fizikai folyamataira, és kitérünk a troposzférikus időjárás űridőjárásban megnyilvánuló hatásaira is.

Víz a légkörben: sötét ló a PM10/2,5 határérték-túllépésekben

Gelencsér András, az MTA levelező tagja; Molnár Ágnes; Imre Kornélia; Kiss Gyula

A légkörben található víz a Föld, a bioszféra és az emberiség létében közismerten óriási jelentőségű. A légkör egyik legfontosabb összetevőjeként közvetlenül részt vesz a légkör fizikai és kémiai folyamataiban. Kölcsönhatása a légköri aeroszol részecskékkel számos közismert és kevésbé ismert jelenség okozója. A felhő- és csapadékképződésben játszott szerepe mellett a részecskék vízmegkötő képessége miatt a légkör optikai tulajdonságainak pl. a látótávolság szabályozásának is kulcsszereplője, de a légszennyeződés súlyosbodásában is nagyon lényeges szerepet játszik.

Előadásunkban a légköri víz és a légköri aeroszol részecskék kölcsönhatását, a részecskék vízmegkötő képességéhez kapcsolódó folyamatokat, ezek hatásait és következményeit foglaljuk össze:

1. Hogyan kerül víz az aeroszol részecskébe, részecskékre? Milyen következményekkel jár ez a vízfelvétel?

Közismert, hogy a felhőcseppek a vízgőz aeroszol részecskéken történő kondenzációjával jönnek létre. Ugyanakkor a részecskék kémiai összetételük függvényében jóval 100% relatív nedvességtartalom (RH) alatt is képesek a légköri vízgőzt megkötni. E vízfelvételnek köszönhetően alakul ki a „páráság”, a látótávolságra és általában a légköri extinkcióra jelentős hatást gyakorolva.

2. Milyen kapcsolat van az aeroszol részecskében megkötött víz és a légszennyezettség között?

A vízgőz jelenléte – a légkör optikai tulajdonságára gyakorolt hatása miatt – sok esetben felelőssé tehető a felszínközeli levegőszennyezés mértékének növekedéséért. Emellett, mivel a részecskék víztartalma a relatív nedvesség függvényében változik, ha nő az RH, egyre több víz kötődik meg a részecskéken. Ugyanakkor az RH csökkenésével a felvett vízmennyiség csak egy része távozik (ún. hiszterézis), ami kihat az európai mérőhálózatban szabványos aeroszol száraz tömegkoncentráció mérés pontosságára: a maradó víztartalom a „száraz” PM10 – PM2,5 légszennyezettség határérték-túllépések egyik nem elhanyagolható oka is. Természetesen a légkörben a részecskék folyékony víz tartalma ún. heterogén fotokémiai reakciók terepe is, melynek aeroszol fázisban maradó reakciótermékei ténylegesen is hozzájárulnak a részecskék „száraz” tömegének növekedéséhez.

Légkördinamika és szinoptikus meteorológia

A balatoni viharjelzés első 90 éve

Szilágyi Eszter; Zsikla Ágota; Kurcsics Máté; Horváth Ákos PhD

A balatoni viharok okozta sorozatos szerencsétlenségek miatt a magyar kormány szorgalmazására 1934-ben elindult a Balatoni Viharjelző Szolgálat. Mivel az akkori meteorológiai intézet szakmai nehézségekre hivatkozva kitért a feladat elől, így végül a Légügyi Hivatal munkatársa, Hille Alfréd vállalta a viharjelzés megszervezését. A II. Világháborút követően tovább nőtt a társadalmi igény a megbízható balatoni viharjelzésre. 1957-ben Zách Alfréd, a Meteorológiai Intézet igazgatóhelyettesének kezdeményezésére felépült a Siófoki Observatórium. A modern dinamikus és szinoptikus meteorológiai alapok lerakása Götz Gusztáv nevéhez fűződik.

A Balatonnál jelentkező szélerősödések, illetve szélviharok jelentős része közvetlenül a szinoptikus skálájú folyamatokhoz kötődik: hidegfrontokhoz, ciklonok és anticiklonok nyomásgradienseihez, illetve azokon jelentkező peremháborgásokhoz. A szélerősödés másik fő kiváltó oka a légköri konvekció, elsősorban a zivatarok, amelyek nem függetlenek a szinoptikus skálájú folyamatoktól, azokat jelentősen módosíthatják, bonyolíthatják. Végül a Balaton és a Bakony hatásai még összetettebbé teszik a helyi időjárási folyamatokat, a tavi cirkuláció, illetve az orografikus hatások által. Az első fokú viharjelzés alsó küszöbértéke mindössze 12 m/s, így az előrejelzéshez a mezoskálájú folyamatok teljes spektrumát figyelembe kell venni.

Orografikus szélviharok a Balatonnál: a bakonyi „főszél”

Kurcsics Máté; Geresdi István, az MTA doktora; Horváth Ákos PhD

Orografikus szélviharok a hegláncok lee oldalán, szinoptikus skálájú folyamatok eredményeként alakulhatnak ki. Magyarországon az egyik leggyakoribb előfordulási helyük a Balaton, ahol a tavi viharjelző rendszer miatt különös figyelmet kapnak. A Balatontól északra

húzódó Bakony ugyan gyengébb formában, de hasonló tulajdonságokkal bíró lejtővihart tud kialakítani, mint amilyen a bóra az Adrián, nem véletlenül nevezték régen ezt a szelet a Balaton bórájának. A helyiek által már több, mint egy évszázada ismert, „bakonyi főszelelnek” is nevezett bukószelet elsősorban az időben és térbeli lefedettség szempontjából is igen sűrűnek számító szélmérések alapján, illetve a Siófoki Viharjelző Observatóriumban futtatott WRF modellel vizsgáltuk. Ezek kiegészültek még műholdas és radarmérésekkel, a felszíni mérőhálózat további méréseivel, illetve felhőfilmekkel is.

Az elvégzett vizsgálatok azt igazolták, hogy egy alacsonynak számító, pár száz méteres karakterisztikus magasságú hegy is képes lejtővihar kialakítására. Ehhez azonban több időjárási körülmény együttes előfordulása kell. A ciklonok hátoldalán jellemző, közel geosztrofikus északnyugati, északi alapszél szükséges a bakonyi lejtőviharok kialakulásához. Ez azonban önmagában nem elegendő, a légkör alsó részének hőmérsékleti rétegződése, illetve a szél sebessége és magasság szerinti változása is nagyban befolyásolja a kialakulási esélyeket. A bakonyi lejtőviharokat még komplexebbé teszi, hogy az esetek jelentős részében a felszín közelében csak a Balaton felett jelennek meg, másutt a szélgyorsulás nem éri el a felszínt. A Balatonnál a lejtővihar megjelenését a vízfelszín kisebb érdessége és eltérő hőmérséklete is szignifikánsan befolyásolja.

A 90 éves balatoni viharjelzés felé napjainkban már egyértelmű elvárás, hogy a viharjelzések állapota dinamikusan, három medencére bontva, óráról órára lekövesse az időjárás várható alakulását. Ehhez pedig a bakonyi lejtőviharok tulajdonságainak megismerése elengedhetetlenül szükséges, így az eredmények operatív gyakorlatba történő beépítése már folyamatban van.

Első tapasztalatok a mesterséges intelligencián alapuló GraphCast időjárás-előrejelző modellel

Leelőssy Ádám PhD; Varga-Balogh Adrienn; Varga László

A mesterséges intelligencia fejlődése a tudomány számos területét forradalmasítja. 2022–2023-ban jelentek meg a gépi tanuláson alapuló rácsponti időjárás-előrejelző modellek (MLWP, machine learning weather prediction), amelyek közül az ECMWF kísérleti jelleggel már többet is operatíván futtat. Az MLWP technika a hagyományos fizikai modellekkel összemérhető pontosságot kínál azok számítási költségének töredékéért.

Az előadásban a Google által fejlesztett GraphCast időjárás-előrejelző modell első magyarországi futtatásának tapasztalatairól számolunk be. A GraphCast segítségével 6 órás időbeli és 1° térbeli felbontással állítottunk elő 10 napos időjárás-előrejelzéseket a 2020–2022 időszakra. Elsősorban a modell fizikai értelmezhetőségét és szinoptikus alkalmazhatóságát vizsgáltuk. Az alapvető dinamikus-szinoptikus meteorológiai összefüggések, mint például a geosztrofikus egyensúly, a ciklonok és frontok struktúrája jól elemezhető a modelleredményekben. Klimatólógiai időskálájú futtatásokban azonban a modell elveszti konzisztenciáját. Magyarországi állomási mérésekkel összevetve az előrejelzések minősége összemérhető a GFS időjárás-előrejelző modell azonos felbontású előrejelzésével. A modell képességeit a 2023. március 15-i hidegfront példáján illusztráljuk. A GraphCast eredményeinek pontossága valóban versenyképes alternatívát jelent a sokkal költségesebb fizikai modellekkel szemben. A gyakorlati felhasználás lehetőségeit elsősorban a tér- és időbeli felbontás korlátozza.

A kutatás az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt keretében valósult meg.

Az AROME modellen alapuló előrejelzések fejlesztése a felhasználói alkalmazások támogatására

Szépszó Gabriella PhD; Tóth Boglárka

A meteorológiai szolgálat rövid és középtávú operatív időjárás előrejelzései a klasszikus modellezési eszköztáron alapulnak: az alkalmazott modellek a légköri mozgásokat leíró hidrodinamikai egyenletrendszerrel oldják meg tér- és időbeli diszkretizáció bevezetésével, a differenciálhányadosok közelítő kiszámításával, a rácsávolságnál kisebb skálájú folyamatok parametrizációjával; az egyenletek kezdeti feltételeinek meghatározására mérési információkat asszimilálnak; s a légköri folyamatokon kívül figyelembe veszik pl. a felszíni kölcsönhatásokat is. Az előre jelző szakember a modelleredmények áttekintésével végig tudja követni a légkörben zajló folyamatot az előrejelzési időtáv során, s így egy fizikai alapokon nyugvó prognózis készül.

A meteorológiai előrejelzések számos további szakterület és szektor számára szolgálnak kiindulási információval. Ezekben az esetekben gyakran csak kisszámú meteorológiai változót használnak, néhány kiválasztott földrajzi pontra. Nem igénylik, hogy a felhasznált meteorológiai paraméterek fizikai folyamat által meghatározott szigorú konzisztenciában legyenek egymással, lényegesebb elvárás a pontos előrejelzések korai elérhetősége. Térbeli felbontásánál és számításigényénél fogva egy fizikai modell korlátozottan tud kiválasztott helyszínre, 1-2 órára pontos valós idejű előrejelzést nyújtani. A már elkészült nyers előrejelzések statisztikai módszerek alkalmazásával viszont sikeresen kalibrálhatók számos paraméterre és pontra. A következő percek-órák időtartamára pedig – gyakran frissülő mérési információkra támaszkodva – a gépi tanulásos technikák adhatnak előrejelzéseket.

Az előadásban áttekintjük az AROME előre jelző modellel kapcsolatos fejlesztési irányokat. A térbeli felbontás folyamatban lévő növelése, a kiindulási állapot óránkénti frissítése és több mérési adat felhasználása pontosabb előrejelzéseket tesz majd lehetővé, melyek valós időben akár már 1 óra elteltével rendelkezésre állhatnak. A nyers modelleredményeket utófeldolgozással tovább javítjuk célzottan a megújuló energia szektor meteorológiai támogatására, illetve folyamatban van a gépi tanulásos technikák alkalmazása az ultra-rövid távú előrejelzések területén is.

2024. november 15.

Éghajlat

A Copernicus éghajlati szolgáltatásainak felhasználása a klímaváltozás hidrológiai hatásának elemzéséhez

Kis Anna PhD; Pongrácz Rita PhD

A klímaváltozás számos természeti és környezeti tényezőt befolyásol, köztük a folyók vízhozam értékeit és az árvizek előfordulási gyakoriságát. A vízzel kapcsolatos veszélyek megnövekedtek az elmúlt évtizedekben: az 1971–2019-es időszakban az árvizek és az aszályok voltak felelősek az időjáráshoz, vízhez és éghajlathoz köthető katasztrófák 41%-áért Európában. Kutatásunkban a Copernicus program éghajlati szolgáltatásainak felhasználásával elemezzük az átlagos és a maximális vízhozam értékeket, továbbá a 10 és 50 éves visszatérési idejű árvizek előfordulási gyakoriságát öt, különböző éghajlatú (boreális, kontinentális, óceáni, mediterrán, hegyvidéki) európai vízgyűjtőre vonatkozóan. A vizsgálatban a 2071–2100-ra becsült változásokat tekintjük (referencia-időszak: 1971–2000) két hidrológiai modell és nyolc

regionális klímamodell szimulációja alapján, három különböző RCP scenárió (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) esetén. Az eredmények szerint az éves átlagos vízhozam legnagyobb növekedése Skandináviában várható, ami összhangban van a térségben várható általános csapadéknövekedéssel. Ugyanakkor Dél-Európában a változás iránya az alkalmazott forgatókönyvtől függ. A maximális vízhozam általánosságban növekedni fog, de meglehetősen nagy a bizonytalanság, ha az RCP2.6-ot vesszük figyelembe. A 10, illetve 50 éves visszatérési idejű árvizek vízhozama esetén is általánosságban növekedés valószínűsíthető a kiválasztott európai vízgyűjtőkön, a skandináv terület kivételével. Mindezen eredmények egyértelműen a szélsőségek erősödését jelzik Európa-szerte, ami a felkészülési stratégiák kidolgozását teszi szükségessé a potenciális károk mérséklése érdekében.

Megbízható éghajlati adatbázisok előállításához kapcsolódó fejlesztések a HungaroMetnél

Szentes Olivér; Izsák Beatrix PhD; Lakatos Mónika PhD; Bihari Zita; Pongrácz Rita PhD

Az éghajlat és az éghajlatváltozás pontosabb megismeréséhez nélkülözhetetlenek a méréseken alapuló jó minőségű, és hosszú időtávra kiterjedő éghajlati adatbázisok. A mérési körülményeket azonban számos hatás befolyásolja. Többek között az állomáshelyezések, a mérési időpontok és a környezet beépítettségének változása mind töréseket, ún. inhomogenitásokat okoznak az adatsorokban, amik hosszabb időtávot vizsgálva egyre nagyobb számban fordulhatnak elő. Ezek olyan változásokat eredményeznek a nyers mérési adatsorokban, amik nem az éghajlat változásához köthetők. Ezért a tényleges, az éghajlatváltozásnak tulajdonítható változások detektálásához homogenizálásra van szükség. Emellett a folyamatosan változó állomássűrűség, egyenetlen térbeli lefedettség miatt interpolációra is szükség van, hogy egységes képet kapjunk Magyarország éghajlatáról.

A HungaroMet Nonprofit Zrt. (HungaroMet) Éghajlatkutatási Osztálya Magyarországra egyedülállóan hiteles, reprezentatív, méréseken alapuló éghajlati adatbázist állít elő az ott (korábban Országos Meteorológiai Szolgálat) kifejlesztett MASH homogenizálási, adatellenőrzése, adatpótlási és MISH interpolálási eljárásokkal, ami a HUCLIM adatbázis.

Az elmúlt néhány évben több meteorológiai elem esetén is megújítottuk az éghajlati adatbázisainkat. A korábbinál általában sokkal több adatsor került felhasználásra, ami az interpolációhoz szükséges éghajlati statisztikai paraméterek újra modellezését is szükségessé tette. Az előadásban az éghajlati adatbázisok megújításával kapcsolatos fejlesztések kerülnek bemutatásra.

A kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium projekt támogatásával valósult meg.

A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Szokatlan Időjárás Adatvizualizáció – egy interaktív tudománykommunikációs eszköz fejlesztése

Mikes Márk Zoltán; Hollós Roland PhD; Dezső Zsuzsanna PhD; Pongrácz Rita PhD

Napjainkban különösen fontos, hogy a társadalom valós képet kapjon a meteorológiai eseményekről, ám jelenleg sajnos ez nem mindig valósul meg (sokszor csak a rekorddöntésekről számolnak be, illetve kattintásvadász címek uralják a médiát). Ennek ellensúlyozására célunk, hogy létrehozzunk egy olyan felhasználóbarát felületet, ahol a

meteorológiai információ folyamatosan releváns, és szakmai szemmel is korrektnek tekinthető. Módszerünk szemléletmódjának fókuszában a szokásostól eltérő időjárású napok felhalmozódása áll, ahol nagyobb figyelmet kapnak azok az időszakok, amelyek az év adott időszakában szokatlanok, de nem feltétlenül minősülnek extrémnek. A vizualizáció során a felhasználók előre meghatározott, speciális kategóriákkal találkozhatnak, és ezen egyszerűsítés során értékes információ keletkezik a szokatlan időszakok egymáshoz képesti viszonyáról. Felületünk szerves részét képezi például az áttekintés és összehasonlítás meteorológiai állomásokon, a térképes megjelenítés, illetve a tájékoztató jellegű ábrák a meteorológiai napi adatok elérhetőségéről. Ezen felül az aktuális naptári év folyamatosan frissülő áttekintése is elérhető, amely összhangban van a felhasználói igényekkel. A fejlesztés későbbi szakaszában a felhasználók visszajelzéseire támaszkodva szeretnénk továbbfejleszteni a platformot. Reményeink szerint vizualizációnk hasznos tudománykommunikációs eszköz lesz mind a meteorológusok, mind a meteorológia iránt érdeklődő laikusok számára.

Éghajlatváltozással kapcsolatos hatásvizsgálatok támogatása és városi alkalmazkodási lehetőségek felmérése

Schuchné Bán Beatrix; Duics-Korosecz Lilla; Megyeri-Korotaj Otília; Bordi Sára; Szépszó Gabriella PhD

A jövőben várható éghajlati változások feltérképezése elengedhetetlen része a megfelelő alkalmazkodási és mitigációs stratégiák megalkotásának. Ezek a változások az éghajlati modellezés eszköztárával vizsgálhatók, melyek eredményei számszerű információkkal szolgálnak.

Az előadásban bemutatjuk a HungaroMetnél használt regionális éghajlati és felszíni modelleket, áttekintjük a rendelkezésre álló adatbázist, majd az ezekre támaszkodó néhány példán keresztül ismertetjük, hogy a modelleredményekkel milyen módon támogatjuk a felhasználókat. A budapesti XII. kerület önkormányzatával és a főváros több szervezetével együttműködésben megvalósult kutatás keretében megvizsgáltuk Budapest éghajlatváltozással szembeni kitettséget éghajlati indikátorok alapján, majd különböző érzékenység-vizsgálatokat végeztünk, melyek a városi hőtöbblet mérséklésének lehetőségeire mutattak rá. Ennek során megvizsgáltuk, hogy az utak és tetők albedójának növelése, a zöldterület arányának és összetételének megváltoztatása, illetve az öntözés és locsolás optimális időpontjának meghatározása milyen hatásokat fejtett ki különböző hőmérsékleti értékekre, azokon alapuló éghajlati indexekre és egy humánkomfort indexre. Terveink között szerepel a Közigazgatási és Területfejlesztési Minisztériummal, a Lechner Tudásközpont Nonprofit Kft.-vel, valamint a debreceni és nagyváradai önkormányzatokkal kooperálva egy olyan projektben való részvétel, melynek célja a városi hőszigetelés és a hóhullámok negatív hatásainak enyhítése integrált, természet alapú, a funkcionális városi térségek szintjén megvalósuló megoldásokkal. A sérülékenység-vizsgálat lefolytatásához a jövőre vonatkozó meteorológiai adatokat a kiválasztott településekre a SURFEX felszíni modell eredményei fogják szolgáltatni. A modell a felszín és a vele közvetlen kapcsolatban lévő néhány 10 méteres légréteg között zajló fizikai folyamatokra és kölcsönhatásokra koncentrál, nem tartalmazza közvetlenül a teljes légkört és annak dinamikáját, mely a csapadékképződés leírásához elengedhetetlen. Olyan felhasználói igények kielégítésére, mint a rövid idő alatt lehulló nagy mennyiségű csapadék, mely pl. a települési közlekedési infrastruktúra-fejlesztés vagy a vízgazdálkodás számára mérvadó paraméter, adaptáltuk a HARMONIE-Climate klímamodellt, mellyel km-es skálájú szimulációk is végezhetők.

Az adatszolgáltatás mellett többféle módon is támogatjuk a felhasználókat, pl. segédletek, workshopok formájában, melyekre szintén mutatunk példát az előadásban.

Az éghajlatváltozás hatásának vizsgálata a hazai turisztikai szektorra

Kovács Attila PhD; Megyeri-Korotaj Otília; Szépszó Gabriella PhD

Az éghajlatváltozás rendkívül érzékenyen érinti a turisztikai szektort, korlátozhatja, ugyanakkor kedvezhet is a turisztikai tevékenységek alakulásának egy adott területen. Kutatásunk során arra keressük a választ, hogy az éghajlati viszonyok megváltozása hogyan érintheti a turizmus klimatikus feltételeinek alakulását hazánkban. Az éghajlat turizmusra gyakorolt hatását többféle indikátorral lehet számszerűsíteni, melyek a releváns klimatikus állapotjelzőket általában egy mérőszámba integrálják. Két ilyen mutatót (Holiday Climate Index, valamint módosított Tourism Climate Index) alkalmaztunk a jelenlegi és a jövőben várható turisztikai klimatikus viszonyok jellemzésére. A jelenlegi feltételek vizsgálatára a CarpatClim-HU megfigyelési adatbázist használtuk az 1971–2000 időszakra. A jövőben várható viszonyok elemzése a 2041–2070 és a 2071–2100 időszakokra történt, melyhez két regionális klímamodell (ALADIN5.2 és REMO2015) szolgáltatott adatokat az RCP4.5 és RCP8.5 éghajlati forgatókönyveket alkalmazva. A modelleredményeket a megfigyelési adatbázis felhasználásával, a delta módszer segítségével korrigáltuk. A két index térbeli eloszlását térképes formában, havi bontásban és járási léptékben szemléltetjük hazánk területére. A bizonytalanságok interpretálása céljából az összesített modelleredmények minimumát, maximumát és mediánját tekintjük. Eredményeink alapján a két vizsgált mutató hasonló sajátosságokat mutat. Mind a jelenlegi, mind a jövőbeli időszakokban a tavaszi és az őszi időszak mutatkozik kedvezőbbnek, míg nyáron kedvezőtlenebbek a körülmények. A 21. század második felében várható változásokat tekintve pedig ősszel, télen és tavasszal jellemzően javulás valószínűsíthető, míg nyáron az éghajlati potenciál visszaesésére számíthatunk. Eredményeink egyértelműen azt jelzik, hogy a hazai turisztikai stratégiaalkotásnak figyelembe kell vennie azokat a hatásokat, melyeket az éghajlatváltozás a területre gyakorolhat.

A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a PD_22 pályázati program finanszírozásában (142335 számú projekt) valósult meg.

Agrometeorológia

A keszthelyi homogenizált hőmérsékleti adatok elemzése különös tekintettel az ETCW (20. század eleji felmelegedés) jeleire

Jakuschné Kocsis Timea PhD; Pongrácz Rita PhD; Hatvani István Gábor PhD; Magyar Norbert PhD; Anda Angéla, az MTA doktora; Kovácsné Székely Ilona PhD

Az előadás célja, hogy bemutassa, felfedezhető-e objektíven detektálható és statisztikai szempontból szignifikáns változások Kelet-Közép-Európa egyik leghosszabb homogenizált hőmérsékleti adatsorában. A globális tendenciához hasonlóan a keszthelyi éves középhőmérsékleti idősorban is azonosítható a huszadik század eleji felmelegedés (a továbbiakban ETCW) időszaka 1931 és 1951 között. A Mann-Kendall-féle trend teszttel kimutatásra került az 1925 és 1951 közötti évek tavaszi felmelegedési időszakában egy szignifikáns emelkedő tendencia. A nyár és az ősz ezekben az években nem jellemezhető szignifikáns trenddel, az átlag emelkedése azonban felismerhető. Összességében a globális ETCW sajátos regionális megnyilvánulása jól szemléltethető a keszthelyi hőmérsékleti idősor részletes statisztikai elemzésén keresztül. Más, Magyarországot körülvevő régiók is hasonló éghajlati tendenciákat mutatnak, ezáltal hangsúlyozva azt a tényt, hogy az itt bemutatott

jellegzetesség nem csak Közép- és Kelet-Európára jellemző. Közép-Európában ennek az időszaknak a jellemzői némileg eltérnek a tágabb környező régióra vonatkozó szakirodalomban találhatóaktól. Sajnos a Kárpát-medence területére vonatkozóan, az ETCW-re összpontosító kutatások szinte alig állnak rendelkezésre, így nem lehetett az eredményeket azokkal összehasonlítani. Jelen elemzés kiegészíti a korábbi eredményeket a 20. század elején megfigyelt melegedési időszakhoz (ETCW) kapcsolódóan.

Őszi búza fuzáriumfertőzésének modellezése meteorológiai adatok alapján

Anda Angéla, az MTA doktora

A szélsőséges időjárási események egyre gyakoribbá válásával megnő az egyszerre a felszínre lehulló csapadék mennyisége, ami jelentős lefolyási veszteséget okoz. Mindeközben az utóbbi években leginkább az aszály sújtja az országot és egész Európát, ez pedig növekvő öntözési igényekhez vezet és károkat okoz a mezőgazdaságban. Egyre inkább előtérbe kerül tehát az igény az alkalmazkodásra és a szélsőségek kiegyenlítésére. Erre kínál lehetőséget a felszínalatti térrész, ami számottevő víztárolási kapacitással rendelkezik. Az előadásban bemutatásra kerülő megközelítés természet alapú felszínalatti víztározáson alapul, melynek kidolgozása Magyarország egyik leginkább aszály sújtotta területén, a Duna-Tisza közti hátságon történt meg.

A területen elvégzett numerikus szimuláció alapján a felszínalatti vízszint az éghajlatváltozás hatására a kiemelt hátsági és a folyóvölgyi területeken eltérő mértékben csökken, az előbbinél a csökkenés jóval jelentősebb. Ennek oka a felszínalatti vizek lassú mozgása, ami a magasabb domborzati helyzetű területek felől a mélyfekvésű folyóvölgyek felé tart. Az alapvetően a kiemelt területektől a folyóvölgyek felé tartó felszínalatti vízmozgás mellett sok kisebb, a helyi domborzati magaslatok és mélypontok közötti lokális áramlási rendszer táplálta egykor a hátsági területek vizes élőhelyeit. Mivel az időjárási szélsőségek miatt bekövetkező beszívargás csökkenés jobban hat a kiemelt területekre, így a lokális rendszerek fokozatosan eltűntek a területről, a vizek több méter mélységben a hátságtól a folyóvölgyek felé tartanak és fokozatosan elveszítik kapcsolatukat a felszíni víztestekkel. A numerikus szimulációval vizsgált innovatív alkalmazkodási megoldás lényege, hogy a hátsági magas fekvésű települések tető és lefolyó esővizének felszín alá juttatásával nem csak a település alatt növelhetjük meg a vízszintet, de a lokális felszínalatti vízáramlások rehabilitálásával a vízáramlás irányába eső közeli mély domborzati fekvésű területeken is.

A kutatás az Éghajlatváltozási Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt keretében valósul meg.

Agrometeorológiai fejlesztések a HungaroMetnél

Kovács Attila; Molnár Zsófia

2016-ban vettük át az agrometeorológia témakörének operatív feladatait. Az aktuális agrometeorológiai helyzetképet összefoglaló szöveges elemzések elkészítése mellett folyamatosan fejlesztjük a honlapunkon ingyenesen elérhető információk körét. Mindezt azzal a szemlélettel, hogy a mezőgazdaságban érintettek, legyen az gazdálkodó, döntéshozó, de akár a témában érdeklődő széles közvélemény is, hasznos, egyszerű, könnyen érthető és a gyakorlatban használható információkhoz jusson.

Kiemelt szerepet kap az információk között a csapadék, a felszíni mérések mellett valószínűségi előrejelzési térképek segítik a mezőgazdasági munkák mindennapi tervezését. Az elmúlt években többször előfordult mezőgazdasági aszály területi kiterjedését és mértékét térképek

mutatják, melyet egy egyszerű algoritmussal a talajnedvességből számítunk külön őszi vetésekre és nyári kapásnövényekre.

A növényvédő szerek permetezés jogszabályban előírt határértékeit meghaladó várható szélsőségekről előrejelzési térképen lehet tájékozódni. A növényvédelmi munkákat egy egyszerű modellel számított levélnedvesség tartam térképek segítik.

A talajnedvességnél a pontszerű adatokból interpolált térképekről egy 5×5 km-es rácson, radaros információkat is figyelembe vevő számításra tértünk át.

Egyre fontosabb szerepet játszanak a műholdas információk: CM SAF adatok alapján műholdas napfénytartam adatokat teszünk közzé. A vegetáció állapotáról az NDVI index aktuális értékei és anomáliái adnak információt. Az index növény-specifikus éves menetét a Sentinel-2 műholdak adatainak felhasználásával az ország különböző termőterületeire naprakészen állítjuk elő a várható termés mennyiségének becsléséhez a tenyészidőszakban.

Elsősorban a kukorica időbeli fejlődésének átlagtól való eltéréseit mutatják a hőösszeg térképek.

Az agrogramok az őszi vetések és a nyári kapásnövények tenyészidőszakában bekövetkezett időjárásnak a gyors áttekintését szolgálják az ország hat térségére vonatkozóan.

A havi nemzetközi elemzésünkben a nagyobb termőterületeken bekövetkezett jelentősebb időjárási folyamatokat és azok mezőgazdaságra gyakorolt hatását foglaljuk össze.

Gombák és meteorológia: a mesterséges neurális háló egy gyakorlati alkalmazása

Somfalvi-Tóth Katalin PhD; Pál-Fám Ferenc PhD; Jócsák Ildikó PhD

A nagygombák megjelenése és az időjárási tényezők közötti kapcsolatot már népi megfigyelések és tudományos vizsgálatok is bizonyították. A különböző gombafajok termőtesteinek megjelenése számos környezeti tényező együttes hatásának eredménye. A megfelelő talaj- és légnedvesség, léghőmérséklet, talajtípus, szerves anyagok jelenléte és az adott terület ökológiai viszonyai mind hozzájárulnak a termőtestek fejlődéséhez.

Vizsgálatunk során egyedülálló módon, mesterséges neurális háló segítségével vizsgáltuk meg a gomba-termőtestek megjelenésének előrejelezhetőségét meteorológiai tényezők segítségével, a Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer elvei alapján létrehozott gombaadatbázisra alapozva. A vizsgált területek a nyugat-magyarországi régióban, Vendvidéken és a Vétyemi Erdőrezervátumban találhatóak. A terepi felvételezés és adatgyűjtés 2015 és 2020 között, a tavaszi és őszi időszakra koncentrálnak történt, amikor a hazai gombafajok többségének termőteste megjelenik. Több mint száz megfigyelt és feljegyzett gombafaj közül a *Russula* (galambgomba) és *Amanita* (galóca) genusokból összesen 14 fajt válogattunk ki. A HungaroMet Zrt. Meteorológiai Adattárát használtuk fel a meteorológiai információk forrásaként. A mesterséges neurális háló bemenő paraméterei a meteorológiai változók voltak, míg a kimeneti adat adott gombatest egzisztenciájának (igen/nem) becslése.

Eredményeink alapján bizonyítottuk, hogy a mesterséges neurális hálóval átlagosan 60-80% bizonyossággal, de egyes fajok esetében ennél még pontosabb beválással becsülhető meg a termőtestek megjelenése. Új tudományos eredménynek számít, hogy nem elegendő nemzetségenként, hanem fajokra szűkítve kell meghatározni a termőtest megjelenését befolyásoló környezeti tényezők körét. Továbbá rávilágítottunk egy lehetséges új alkalmazási területre is, miszerint a meteorológiai adatok alapján, mesterséges neurális háló alkalmazásával akár még a máig tisztázatlan taxonómiai kérdések, rendszertani besorolások eldöntésében is segítséget nyújthat a tanuló algoritmus.