

## A meteorológiai tudományterület értékelése

### Agro-, és biometeorológiai kutatások

Az utóbbi évtizedekben számos pozitív fejlemény segíti az agrometeorológiai kutatásokat, például a nemzetközi együttműködések körének kiszélesedése, a kvantitatív mezőgazdasági döntéstámogató, illetve szimulációs agrometeorológiai modellek eredményei iránti igény növekedése, a precíziós technikák rohamos térnyerése a mezőgazdaságban, illetve infrastrukturális fejlesztések (pl.: a kismacsi agrometeorológiai mérőállomás). Az elmúlt évtizedekben agroklimatológiai jellegű, a mezőgazdaság országos vagy regionális éghajlati erőforrásait monitorozó kutatások kezdődtek, ezen kívül (agro)mikrometeorológiai jellegű vizsgálatok folytak a mezőgazdaság, a természetes ökoszisztémák vagy a hidrológiai rendszerek – akár szélsőséges – éghajlati hatásokhoz való jobb alkalmazkodásának elősegítése céljából.

A Balaton vízszintjének alakulása évtizedek óta központi kérdés; nem ismeretlen az antropogén beavatkozás egyoldalúsága, mely a tó vizének leeresztésével csak a mérleg kiadási oldalát érinti a vízbevételi oldal változtathatatlansága mellett. Az elmúlt két évtizedben ehhez kapcsolódóan megtörtént a Kis-Balaton területi párolgásának meghatározása. A fontosabb makrofiták párolgást befolyásoló tulajdonságainak mérése Thornthwaite típusú kompenzációs evapotranspirométerekben történt. A tényleges párolgáshoz a makrofiták párolgatótását és a szabad vízfelszín párolgását kellett meghatározni. A makrofita borítottság megállapításához távérzékelési adatok nyújtottak segítséget.

A szója fontos takarmánynövény, fehérje és olajforrás, mely az emberi táplálkozásban is egyre nagyobb teret hódít. Új kutatási eredmények írják le a trópusokról származó növény evapotranspirációját és a hazánkban nem ritka száraz periódusokra adott válaszreakcióit.

A Délkelet Európai Aszályközpont (DMCSEE) kapcsolódva aszálymonitoringot megalapozó kutatás indult, majd a DriDanube projektben műholdas aszályinformációk sora vált hozzáférhetővé a Duna régióra, valamint OMSZ (Országos Meteorológiai Szolgálat) vezetéssel aszálykockázati térképek készültek kukoricára, árpára, búzára és repcére.

### Klímakutatás

Az elmúlt évtizedekben egyre szélesedő klímakutatások keretében három részterületen történt jelentős előrelépés: reprezentatív éghajlati adatbázisok előállítása, klímamodellezés, városklimatológia.

Statisztikus klimatológiai fejlesztés eredményeképp az 1990-es évek végére az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) előállt egy nemzetközileg is elismert homogenizálási eljárás a változó mérési körülmények okozta inhomogenitások kiszűrésére. A térben is reprezentatív éghajlati adatok előállításához pedig megvalósult a mérések kifejezetten meteorológiai célú interpolációja, amivel becslés adható az éghajlati állapotjelzőkre a méréssel nem rendelkező pontokban is. E két módszeren alapult többek között a CARPATCLIM homogenizált,

harmonizált, rácsponti adatbázis létrehozása 2013-ban, ami lefedi a teljes Kárpát-régiót, így lehetővé teszi az éghajlatváltozás vizsgálatát határainkon túl is, s alapul szolgál a regionális klímamodellek validációjához.

Az 1990-es évek elején indult meg a globális klímamodellek eredményeinek statisztikai leskálázása Magyarország két érzékeny régiójára (Alföld és a Balaton-Sió vízgyűjtő területre). Ezt követően, 2000 után a fizikai alapú dinamikus leskálázás került előtérbe. Nemzetközi és hazai projektek keretében két-két regionális klímamodell adaptálását végezték el az ELTE Meteorológiai Tanszékén (RegCM, PRECIS) és az OMSZ-nál (REMO, ALADIN-Climate) 25 km-es, illetve 10 km-es felbontással. E négytagú modellegyüttes objektív kiindulási alapot szolgáltat a hazai éghajlatváltozás mérséklésével és az alkalmazkodással kapcsolatos döntéshozatalhoz, melyhez a Nemzeti Alkalmazkodási és Térinformatikai Rendszer (NATÉR) nyújt keretet. Kiegészítésként több éve zajlik a globális és európai regionális klímamodell-együttesek vizsgálata a bizonytalanságok számszerűsítése érdekében.

Az ELTE Meteorológiai Tanszék produktuma a szabad hozzáférésű FORESEE adatbázis, amely a Kárpát-medence tágabb régiójára tartalmaz interpolált megfigyelési adatokat a múltból, és ezzel konzisztens, hibakorrigált regionális klímamodell szimulációkat különböző forgatókönyvekre a hatásvizsgálók igényei szerint.

Az elmúlt néhány évtizedben több helyszínen (pl. Budapest, Szeged, Debrecen) folytak a városklíma feltérképezésére irányuló helyszíni mérésorozatok. Elsődlegesen a városi hősziget hatás, s annak szezonális változásai álltak a fókuszban. A helyszíni mérések mellett műholdas adatok felhasználásával a felszínhőmérséklet alapján is végeztek városklíma elemzéseket az ELTE Meteorológiai Tanszékén és az SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszékén. 2010 után egyre inkább előtérbe került a városklíma modellezése 1 km-es rácspontfelbontással, melyhez az ELTE-n és az SZTE-n a WRF mezoskálájú időjárás-előrejelző modellt alkalmazták, az OMSZ-nál pedig a SURFEX felszíni modellt.

### **Számítógépes időjárás-előrejelzések és mérési adathátterük fejlesztése és alkalmazása a társadalmi igények figyelembevételével**

A számítógépes időjárás-előrejelzések terén jelentős fejlődés zajlott le hazánkban az elmúlt 30 évben. E fejlesztések túlnyomórészt az OMSZ-nál történtek, melyek hozzájárulnak a társadalom és gazdaság igényeinek kielégítéséhez. Már az 1980-as évek végén felmerült, hogy a globális légköri modellek előrejelzéseit ún. regionális modellekkel finomítsák. Az első ilyen modell, amelyet az OMSZ-ban adaptáltak, a Svéd Hidrometeorológiai Szolgálat modellje volt. Az itt folyó fejlesztőmunkának is köszönhetően hazánk 1994-ben a – kelet-közép európai országok közül elsőként – társult tagja lett a Középtávú Időjárás Előrejelzések Európai Központjának. Az időjárás-előrejelző modellek szempontjából elsődleges fontosságú a kezdeti feltételek biztosítása, melyre az ALADIN modell fejlesztésében résztvevő tagországok közül elsőként az OMSZ-nál – a francia szolgálatot is megelőzve – bevezették a háromdimenziós variációs adatasszimilációt.

A veszélyjelzéssel kapcsolatos társadalmi igények kiszolgálására az 1990-es évek végén az OMSZ-ban megkezdődött a hazai ultrarövidtávú előrejelző (nowcasting) rendszer, a MEANDER fejlesztése, amely 2000-ben már operatíván működött. Itt került sor elsőként nem-hidrosztatikus modell operatív alkalmazására (MM<sub>5</sub> majd WRF), mely számos kutatás alapját képezi a konvektív folyamatoktól a villámárvizeken át a szennyezőanyagok terjedéséig. A jelen és a jövő fejlesztéseit az OMSZ-ban az AROME modellre alapozzák. 2020 elején megtörtént a nagyfelbontású valószínűségi előrejelző rendszer bevezetése. A közeljövő feladatai között szerepel a távérzékelési adatok (pl. radar) asszimilációja. Több intézmény részvételével folynak repülésmeteorológiai támogatásban alkalmazható, nowcasting jellegű módszerek fejlesztésével kapcsolatos kutatások. A hazai elméleti meteorológiai iskola a modellezés területén nemzetközileg elismert. Jelentős eredmények születtek a numerikus módszerfejlesztésben, a parametrizációs eljárások optimalizálásában és az előrejelzési modellek bemenő adatait biztosító ún. modell-inicializációs módszerek területén.

Az előrejelzők számára igen fontos az aktuális időjárási helyzet ismerete. Ma már 250 automata állomásról érkeznek 10 percenként az adatok, miközben 30 évvel ezelőtt a meglévő 25-30 állomásról csak óránként álltak rendelkezésre az információk. Mindezek következtében az előrejelzések megbízhatósága nagyon sokat javult. Ma már 7-8 napra ugyanolyan jó minőségű előrejelzést tudunk készíteni, mint 25-30 évvel ezelőtt 3-4 napra.

## **Levegőkémiai kutatások**

Az üvegházhatású gázok folyamatainak vizsgálata céljából olyan kutatási infrastruktúrát alakítottunk ki, melynek eredményei lényegében minden regionális és globális üvegházgáz-mérleg számításba beépülnek, és közvetetten megjelennek a nemzetközi szervezetek éghajlatváltozás-elemzéseiben. Az egyik meghatározó monitoring állomás Hegyhátsál, ahol az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának mérése mellett eddy-kovariancia módszerrel a szén-dioxid és a dinitrogén-oxid felszín-légkör kicserélődését is monitorozzák.

A kilencvenes évek elejétől az OMSZ bekapcsolódott az EUREKA-EURTOTRAC tudományos kutatási ún. „ernyő-programba” és kezdetét vette a bioszféra-légkör közti nyomanyag-csere kutatása. A vizsgálatok kitértek az ózon, az üvegház hatású gázok és a nitrogén vegyületek kicserélődésére és körforgalmára.

Magyarországnak az európai légköri kén- és nehézfém-háztartásban játszott jelenlegi és várható szerepének vizsgálata egy nagyléptékű, légköri terjedési modell segítségével történt.

Az MTA-PE Levegőkémiai Kutatócsoportja nemzetközileg elsőként kísérletileg bizonyította, hogy a humuszanyag képződése az addig ismertekkel ellentétben, légköri folyamatokban is lehetséges, valamint meghatározta az ún. légköri humuszszerű anyag az éghajlat módosító hatás szempontjából fontos fényelnyelő tulajdonságait. A kutatócsoport munkásságának nemzetközileg kiemelkedő eredménye továbbá az a felismerés, hogy a globális légkörben a beérkező napsugárzás elnyelésében a koromrészecskék mellett a biomasza égetésből származó szerves aeroszol részecskék egy csoportja (az ún. brown carbon) is fontos szerepet

játszik. A kutatócsoport Európában úttörő szerepet játszott az aeroszol részecskékhez ("szálló por", PM<sub>10</sub>) kötődő levegőszennyezés forrásainak kvantitatív meghatározásában, valamint néhány gyakori részecsketípus keletkezési mechanizmusának feltárásában és egészségkárosító hatásuk jellemzésére szolgáló indikátorok kifejlesztésében.

Az ELTE munkatársai hazai és külföldi szakemberekkel együtt kifejlesztették a Biome-BGCMuSo biogeokémiai modellt. A modell képes számszerűsíteni a bioszféra üvegházhatású gáz mérlegét, a növényi produktót, és más ökoszisztéma szolgáltatásokat.

Felhőfizikai kutatások keretében egy olyan numerikus modell fejlesztése történt meg, ami lehetővé teszi a felhőkben lejátszódó csapadékképződési folyamatok minden eddigénél pontosabb tanulmányozását. A modell alkalmazása lehetővé teszi az időjárás előrejelző modellek fejlesztését, valamint az időjárás-módosítási projektek hatékonyságának pontosabb becslését.

### **Nap- és széleenergia-potenciál felmérése**

A magyarországi nap- és széleenergia potenciál időbeli és térbeli eloszlásának megismerésére a meteorológusok több évtizede folytatnak kutatásokat. Az 1970-es évek végén és a 80-as években számos nemzetközileg is elismert eredmény és rangos hazai szakmai publikáció született a napenergia kutatás területén. 1989-től a tudományos munkák többsége a széleenergiára összpontosult. A vizsgálatok eredményei megerősítették azt a feltételezést, hogy Magyarországon mindkét erőforrás rendelkezik a társadalmilag, gazdaságilag szükséges elektromos áram számottevő hányadának szén-dioxid-mentes előállításához elegendő potenciállal. Hazánkban az első szélerőmű 2000-ben épült fel Inotán. Az azt követő évtizedben országosan 330 MW szélerőmű létesült. Hálózatra termelő fotovillamos parkok telepítése 2003-ban kezdődött, 2019-re a kiépített létesítmények összkapacitása meghaladta az 1000 MW-ot.

A Meteorológiai Tudományos Napok 2001-ben és 2015-ben a megújuló energiaforrások fejlesztéseiről adott áttekintést. A közeljövőben a legfontosabb kutatási irányt az EU által kitűzött hazai energetikai célok szabják meg. Az egyik legnagyobb kihívás a 2030-ig tervezett 3000 MW-ot meghaladó időjárásfüggő napelemekből származó termelés beillesztése az elektromos ellátó rendszerbe. Az elvárások a numerikus előrejelzések jelenleginél még pontosabb és megbízhatóbb továbbfejlesztését kívánják meg.