

## **Életterünk a légkör: megfigyelés, modellezés, előrejelzés – 48. Meteorológiai Tudományos Napok**

### **Légköri hullámmozgások elmélete és gyakorlati vonatkozásai**

A légköri mozgások elméleti leírására a hidro-termodinamikai egyenletrendszer szolgál. Az egyenletrendszer sokféle hullámmegoldással rendelkezik, amelyek megszabják a meteorológia szempontjából fontos légköri mozgásokat is. Az előadásban az egyenletek linearizált alakját felhasználva áttekintjük a hullámmozgások különböző formáit, a Green által bevezetett módszert alkalmazva egységesen tárgyaljuk a hullámformákat és vizsgáljuk az egyenletek egyszerűsítési lehetőségeit, valamint a szűrési módszereket. Tárgyaljuk a szűrési lehetőségek fizikai hátterét és korlátait, illetve az egyszerűsített megoldások torzításait. Röviden kitérünk arra is, hogy a különböző hullámformák milyen skálán befolyásolják a légkör mozgását.

### **A víz-, szén- és nitrogénforgalom vizsgálata agro-ökoszisztémákban**

Az Agrártudományi Kutatóközpont (ATK) és az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) 2016 decemberében nyert el egy 5 éves futamidejű GINOP pályázatot. A projekt címe „Interdiszciplináris Kutatóműhely Létrehozása a Klímaadaptív és Fenntartható Mezőgazdaságért”, amit röviden AgroMo projekt néven hivatkozunk. A projekt négy alappillére a talaj/növény rendszer üvegházhatású gáz mérlegének mérése és modellezése, illetve az agrártudományokon belül növénytermesztési kísérletek végrehajtása, illetve a termelés számítógépes modellezése. Az AgroMo projekt keretében egy kísérleti platform létrehozása mellett megszületett az AgroMo Integrált Modellrendszer, ami hazánkban előzmény nélküli. Az előadás keretén belül röviden bemutatjuk a projekt főbb eredményeit.

### **A légköri aeroszol hatás evolúciója a közelmúlt éghajlatváltozásában**

A múlt század második felében az üvegházhatású gázok légköri hatásának érvényesülését még a masszív levegőszennyezés révén a légkörbe juttatott aeroszol részecskék akadályozták meg. A globális elhomályosodás (*global dimming*) néven ismert jelenség az 1980-as évek végéig tartott, majd az 1990-es évektől a

levegőminőség látványos javulása már egyre kevésbé tudott az üvegházhatás útjába állni. Ezzel egyidejűleg a légköri aeroszol kémiai összetételében is jelentős változás következett be, ami tovább gyengítette annak kompenzáló hatását. Közben a légköri aeroszol a globális éghajlatváltozás visszacsatolási folyamataiban is megjelent, önálló, immár energiatöbbletet jelentő forrásként. A jövőben a fosszilis energiahordozók tervezett kivezetésének mellékhatásaként a légköri aeroszol, pontosabban annak hiánya további elkerülhetetlen felmelegedést okoz.

### **Nyitott fotoakusztikus kamra alkalmazása vízgőzfluxus mérésére**

A SZTE-n kifejlesztett nyitott kamrás, drónra telepíthető, vízgőzkoncentráció-mérő fotoakusztikus mérőrendszert alkalmazzuk a földfelszín-légkör közötti kicserélődési folyamatok nagy időfelbontású vizsgálatára. A minta repülés közben áramlik át a kamrán, melyet áramlásakusztikai szempontból optimalizáltunk. Standard mérőeszközökkel, modellszámításokkal elvégeztük a rendszer laboratóriumi és terepi tesztelését és a mérések minőségbiztosítását. Összehasonlító méréseket végeztünk különböző időfelbontással (0,01-8 Hz) standard nedvesség- és nedvességfluktuáció-mérő műszerekkel. A fotoakusztikus kamra ultraszónikus szélmérővel történő együttes alkalmazásával vizsgáltuk a turbulens árammérésekre való alkalmazhatóságát is. A későbbiekben a drónra telepített rendszerrel a Balaton felett tervezünk profil és keresztmetszvény-méréseket a felszín közeli rétegben, annak érdekében, hogy elemezzük a nedvesség és a hőmérsékleti rétegződést, az advekciónak hatásait, a termikus és a nedvességi különbségek fejlődését.

### **Csapadékizotópok mérése az Atommagkutató Intézetben**

A trícium és deutérium, oxigén stabil izotópjai régóta hasznos eszközként használják a légköri transzport, a felszíni és a felszínalatti vizek, valamint a globális vízforgalom tanulmányozásához. Ezen kívül ezen izotópok alkalmazása a különböző területeken jelentősen megnövekedett az elmúlt évtizedekben a vízkutatásban, hidrológiában, meteorológiában, oceanográfiában. Az előadás célja, hogy bemutassa ezen izotópok mérési módszereit, valamint ismertesse az alkalmazásait a légkörtudományban. A csapadék mesterséges radioaktivitásának mérését Magyarországon Szalay Sándor

kezdte meg Debrecenben az ötvenes évek elején az Atommagkutató Intézetben. Ezekre a hagyományokra építve a csapadék rendszeres gyűjtése és mérése folytatódott 2001-től, amelynek eredményei rangos nemzetközi folyóiratokban jelentek meg.

### **A globális zivatar-tevékenység monitorozása Schumann-rezonancia-mérések segítségével**

Minden egyes másodpercben körülbelül 50-100 villámlás történik a Földön. A természetes elektromágneses (EM) jeladóként viselkedő villámok extrém alacsony frekvenciás (5–100 Hz) rádiósugárzása a Föld tetszőleges pontján érzékelhető. Az ezeket az EM tereket detektáló ún. Schumann-rezonancia (SR) mérések segítségével a percestől az évtizedes időskáláig vizsgálhatóak a globális zivatar-tevékenységben bekövetkező változások, melyek érzékeny indikátorai a felszíni hőmérsékletben bekövetkező változásoknak. A soproni Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézetben több évtizedes hagyománya van a globális zivatar-tevékenység vizsgálatának. Az előadás bemutatja, hogy milyen SR méréseken alapuló eredmények születtek Sopronban a közelmúltban, valamint hogy mik a terület perspektívái néhány éves távlatban.

### **Magyarország a páneurópai Integrált Szénmegfigyelő Rendszerben**

A globális éghajlatváltozás ütemének mérséklésére kitűzött célok nem érhetők el a légköri folyamatoknak, a légkör-bioszféra-óceán kölcsönhatásoknak, az üvegházhatású gázok légköri mennyiségének, valamint tényleges kibocsátásának pontos ismerete nélkül. Ehhez az egész bolygót lefedő mérőhálózatokra van szükség. Az előadás az Európai Unió kezdeményezésére létrehozott páneurópai mérőhálózat (Integrated Carbon Observation System, ICOS) felépítését, feladatait és céljait mutatja be kitérve Magyarország közreműködésére.

### **Innovatív megoldások a repülések meteorológiai támogatásában**

A nemzetközi és hazai drónrepülések száma az elkövetkező néhány évben robbanásszerűen növekedni fog. A szóban forgó repülések biztonságos

végrehajtásának alapfeltétele egy olyan időjárás-alapú döntési támogatást biztosító rendszer, amely képes követni a drón felhasználók igényeit és igazodik a vonatkozó jogszabályi környezet szabta elvárásokhoz. Ez a meteorológiai támogatás az EASA UTM/U-space rendszer egyik alapvető eleme lesz. Munkánkban bemutatunk egy hazai fejlesztésű meteorológiai támogatást nyújtó rendszert, amelyben alapvető szerepet kapnak az általunk tervezett, fejlesztett és gyártott operatív légköri méréseket végző drónok is. Továbbá bemutatjuk egy olyan alrendszer működését is, amely képes megbecsülni az egyes UAS megoldások rendelkezésre állását az adott repülő eszköz időjárási korlátainak ismeretében.

### **Az AROME modellen alapuló numerikus időjárás-előrejelző rendszer fejlesztései**

Az Országos Meteorológiai Szolgálat az AROME korlátos tartományú modellel 3 óránként készít 2,5 km-es rácsfelbontású előrejelzéseket, melyeket naponta kétszer egészít ki egy 11 tagból álló ensemble előrejelzéssel becslést adva az előrejelzés bizonytalanságára is. Fejlesztés alatt áll egy olyan rendszer, mely finom felbontásával, több (radar és műholdas) mérési adatot felhasználó és óránként frissülő előrejelzéseivel pontosabbá teszi a veszélyes időjárás jelenségek előrejelzését. A meteorológiai alapváltozók verifikációja mellett megkezdtük a további felhasználási területek számára lényeges paraméterek (pl. a globálsugárzás) összehasonlítását mérésekkel, illetve matematikus szakemberekkel együttműködve olyan utófeldolgozási technikák kifejlesztését, melyekkel a nyers modell előrejelzések hatékonyan javíthatók. Az előadásban bemutatjuk a legfontosabb fejlesztéseket.

### **Vegetációs paraméterek prognosztikus számítása az AROME numerikus időjárás-előrejelző modellben**

Napjaink numerikus időjárás-előrejelző (NWP) modelljeiben a levélfelületi indexet (LAI) ún. külső paraméterként kezelik, tehát egy külső (műholdas) adatbázis alapján több év méréseiből számolnak havi átlagokat, amelyeket az NWP modell felhasznál. Ez a módszer a vegetációs anomáliákat (pl. aszály) nem tudja megfelelően leírni. Ezen probléma megoldására a következő eljárást alkalmazzuk: az operatív AROME modellel párhuzamosan futtatjuk a SURFEX felszíni modell offline változatát

prognosztikus vegetációs séma (ISBA-Ags) használatával, amelyet a Sentinel-3 műhold LAI méréseivel pontosítunk Kalman-szűrő adatasszimilációs módszer alkalmazásával és az így kapott LAI értékeket felhasználjuk az operatív AROME modellben. Az előadásban bemutatjuk a fejlesztés előrejelzésekre gyakorolt hatását.

### **Ködök mezoskálájú modellezése egy új WRF mikrofizikai parametrizáció segítségével**

A legelterjedtebben használt mezoskálájú modellekben a kialakuló cseppek koncentrációja a feláramlási sebesség alapján kerül meghatározásra. Azonban ez a megközelítés a ködök esetében fizikailag nem megfelelő, mivel jellemzően a köd kialakulása során nincsen számottevő feláramlás. Ezt a fizikai inkonzisztenciát hivatott kezelni az új, általunk kifejlesztett parametrizáció, amelyben az aktivizálódó aeroszol részecskék koncentrációját a hűlési sebesség és a vízgőz keverési arányának időbeli változása alapján határozzuk meg. Az új parametrizációt a WRF modellbe építettük be, és egy kisugárzási, valamint egy advekción köd eseményt modelleztünk vele. A kapott eredményeket mérési adatokkal hasonlítottuk össze.

### **CNOSSOS-EU új generációs zajterjedési modell felépítése és meteorológiai adatháttere**

A zaj az egészségügyi problémák második leggyakoribb környezeti oka, közvetlenül a légszennyezés után. Európában közel 100 millió embert érint a hosszú távú, egészségre káros zajterhelés. A közös Európai Unió zajterjedési és zajértékelési módszer hazai bevezetése a következő évek feladata. A CNOSSOS-EU modellrendszer a légköri stabilitás függvényében értékeli a különböző forrástípusokból származó zajterhelést. Szükség van a széliránytól, szélesebségtől és a stabilitási viszonyoktól függő hangsebességi profilok relatív gyakoriságainak megadására a terjedési irány és a napszak függvényében sokéves órás állomási és reanalízis (ERA5) adatsorok alapján. A nappali órák ~1/3-ában, az esti és az éjszakai órák ~2/3-ában alakulnak ki a zajterjedés szempontjából kedvező feltételek.

## **Légköri szennyeződések terjedésének vizsgálata sokasági éghajlati szimulációkban változó éghajlat esetén**

A légköri szennyeződések a sodródás kaotikus jellegéből adódóan szálas, fraktál alakzatban terjednek és exponenciális ütemben nyúlnak. A szétterjedés intenzitását, előrejelezhetőségét jól számszerűsíti a nyúlási ütem. Két éghajlati modell sokasági szimulációiban vizsgáltuk a globális skálájú terjedés intenzitásának változásait. A nyúlási ütem 5-10%-os csökkenése várható a globális átlaghőmérséklet 6 °C-os emelkedésével. A nyúlási ütem csökkenése nagyobb szennyező anyag-koncentrációhoz vezethet, növelve a környezeti terhelést. Megmutattuk, hogy a nyúlási ütem erős korrelációban áll a relatív örvényességgel. Ez a kapcsolat segítséget nyújthat abban, hogy a terjedés intenzitásában bekövetkező változások becsülhetők legyenek külön elvégzendő, számításigényes terjedési szimulációk nélkül is.

## **A levegőminőség modellezése: értékelés, előrejelzés, tervezés**

A légkör állapotáról a mérések biztosítják a legpontosabb információt. A monitoringállomások mérései azonban csak adott helyszínrre és időpontra vonatkoznak. Olyan esetben, amikor a mérőállomásoktól távoli területek levegőminőségét kell értékelni, egyedül a modellek jelentik a megoldást. A levegőminőségi modellek olyan számítógépes szoftverek, amelyek a matematika eszköztárát használják azoknak a légkörben zajló fizikai és kémiai folyamatoknak a szimulálásához, amelyek a szennyezőanyagok koncentrációinak kialakulásáért felelnek. A levegőminőségi modelleket használhatjuk az aktuális, vagy egy múltbéli, magas szennyeződéssel járó levegőminőségi helyzet értékelésére, segítségükkel a szennyezőanyagok koncentrációja előre jelezhető, valamint közreműködésükkel a szennyezőanyagok bizonyos mértékű kibocsátását célzó intézkedéseknek a levegőminőség javulására gyakorolt hatását is számszerűsíteni lehet.

## **Adatoktól az előrejelzésig – fejlesztések a katonai meteorológiai prognózisok szolgálatában**

Az MH technikai fejlesztései, eszközbeszerzései újszerű meteorológiai támogatást igényelnek. Az MH GEOSZ tervezi egy olyan regionális modell futtatását, melynek

adaptálása, fejlesztése, és utófeldolgozása során előtérbe kerülnek olyan katonai szempontok, melyek célirányosan elősegítik például a tüzérség, a vegyivédelem, az ejtőernyősök, a különleges műveletek, a vezetés és irányítás feladatait, a forgószárnyak jegesedését, illetve a veszélyes időjárási jelenségek előrejelzését. Emellett szövetségi kötelezettségeink teljesítéséhez is elengedhetetlen a fejlődés, hiszen közvetlenül vagy háttértámogatást nyújtva részt veszünk hadgyakorlatokon, műveletekben. Az előadásban a balti államok légtérvédelmi feladatának meteorológiai támogatásán keresztül mutatjuk be néhány fejlesztésünket; belső honlapon keresztül biztosítjuk a repülések kiszolgálásához szükséges információkat a litvániai Šiauliai repülőbázison.

### **Lejtőviharok modellezése**

Az orográfia egyik legmarkánsabb áramlasmódosító hatásaként jönnek létre a lejtőviharok. A lejtőviharok során a hegy lee oldali lejtőjén a felszín közeli rétegekben nagyon turbulens, a felszínre rásimuló réteg jön létre, ahol extrém erősségű szél fúj. A jelenség kialakulásának speciális dinamikus meteorológiai körülményei vannak, amelyek minden helyen sajátos szinoptikus helyzetekben jönnek létre, amikor a felszín közeli áramlás szuperkritikussá válik. A legismertebb lejtővihar a bóra, azonban Magyarországon, elsősorban a Bakony hatására is kialakul hasonló jelenség. Az előadás során a bóra, illetve a Bakony déli oldalán, illetve a Balaton felvidéken előforduló lejtőviharok jelensége, szerkezeti képe kerül bemutatásra esettanulmányok és numerikus modellszámítások segítségével. A vizsgálatához alkalmazott WRF modell azt is lehetővé teszi, hogy az Adrián előforduló bóra és a bakonyi lejtővihar közös sajátosságai is láthatóvá váljanak. A bakonyi lejtőviharok léte alátámaszthatja azt a geográfiai állítást, miszerint a Balaton kialakulásánál meghatározó szerepet kapott a szél hatása.

### **Látástávolság előrejelzése az OMSZ Repülésmeteorológiai Osztályán**

Bár napjainkban a műszeres leszállási berendezéssel rendelkező repülőtéren, megfelelő műszerezettségű légi járművel és megfelelő képzettségű pilótával gyakorlatilag „vakon” is végrehajtható a landolás, a legtöbb esetben azonban ezen

három tényező együttállása nem valósul meg. A repülési műveleteket legjobban befolyásoló meteorológiai paraméterek egyike a látástávolság, amely mind repülésbiztonsági, mind a rossz látási viszonyok okozta útvonal-módosításból eredő gazdasági szempontokat figyelembe véve kiemelt jelentőségű. Az előrejelzések korlátainak ismeretében, ugyanakkor a repüléssel támasztott szigorú követelmények miatt, a látástávolság minél pontosabb prognosztizálása szükséges, ez továbbra is a repülésmeteorológiai előrejelzés egyik legnagyobb kihívása. Előadásunkban bemutatunk néhány egyszerűbb és bonyolultabb módszert a látástávolság előrejelzésére, illetve ismertetjük az OMSZ Repülésmeteorológiai Osztályán az operatív gyakorlatban alkalmazott, részben adaptált, részben saját fejlesztésű módszereket és a velük kapcsolatos pozitív és negatív tapasztalatainkat.

### **Meteorológia a közösségi médiában – Új szerepkörben a meteorológusok**

A megváltozott tartalomfogyasztási szokásokra a meteorológiának is választ kell adni, így az Országos Meteorológiai Szolgálat egy új munkakört létesített a közösségi médiás felületeken való kommunikációra. Az új munkakör újfajta szemléletmódot követel, így több szinten is szükséges alkalmazkodni, hogy a modern közösségi felületeken mindenkinek eljussanak a hiteles, szakemberek által készített előrejelzések, meteorológiai információk. Az előadás során felvázoljuk ezt az új szemléletmódot, a fejlődés lehetőségeit, illetve bemutatjuk a közösségi médiás meteorológusok feladatait és a kommunikációs felületeit.