

**43. METEOROLÓGIAI TUDOMÁNYOS NAPOK  
2017. NOVEMBER 23-24.**

**Mikro- és mezoskálájú légköri folyamatok modellezése**

**AZ ELŐADÁSOK ÖSSZEFOGLALÓI**



doi: 10.21404/43.MTN.2017

**43. METEOROLÓGIAI TUDOMÁNYOS NAPOK  
2017. NOVEMBER 23-24.**

**Mikro- és mezoskálájú légköri folyamatok modellezése**

**AZ ELŐADÁSOK ÖSSZEFOGLALÓI**

## **PRESENT STATUS ABOUT MICROMETEOROLOGY**

**Thomas Foken**

*University of Bayreuth, Bayreuth Center of Ecology and Environmental Research (BayCEER)*

Micrometeorology is a part of Meteorology that deals with observations and processes in the smaller scales of time and space, approximately smaller than 1 km and one day. Micrometeorological processes are limited to shallow layers with frictional influence. Well-known is the fundamental theory for the atmospheric surface layer published by Monin and Obukhov in 1954. During the last 40 years, significant progress has been made in the theoretical understanding of surface-layer processes and in the development of precision instruments. As a result, the number of available data sets has increased significantly, but scientific breakthroughs for a more realistic treatment of phenomena such as heterogeneous surfaces or stable boundary layers are still missing.

There has recently been a tendency in ecological and other research to unify flux measurements through the use of nearly identical instrumentation and data calculations, as in the ICOS project. This is contrary to new findings about the complicated exchange processes in and above tall vegetation and in peat-land and for chamber measurements. Data under stable stratification and low wind conditions in particular are eliminated. New software tools used to investigate and analyze these complicated structures. Non-standard calculation methods like the wavelet analysis are able to determine accurate fluxes even under non-steady state conditions.

For tall vegetation, the coupling between the atmosphere, the crown and the trunk space is important for studying the sources of the fluxes. This coupling has a daily and annual cycle and can be used to understand complicated exchange conditions, mainly for trace gases. But the heterogeneity of the vegetation and of the surrounding area can also have a significant influence on the measured fluxes. This may be a reason for the worldwide findings of an increased carbon uptake of ecosystems. Ongoing research issues are the phenomena like the not fulfilled energy balance closure at the earth surface and the calculation of footprints of a non-homogeneous area.

Air pollution modelling and the support of emergency cases require meteorological information of some typical meteorological parameters such as wind velocities, air temperature, humidity, atmospheric stability, etc., which show temporal and spatial variations over heterogeneous surfaces. Micrometeorology is the science which provides the basic information for this applied fields of meteorology.

## RÉSZLETES MIKROFIZIKAI MODELL: ÚJ LEHETŐSÉGEK A FELHŐKBEN LEJÁTSZÓDÓ FOLYAMATOK TANULMÁNYOZÁSÁRA

**Geresdi István**

*Pécsi Tudományegyetem, Földrajzi Intézet*

A csapadékképződés numerikus modellezésével az elmúlt század 60-as éveinek elején kezdtek el foglalkozni. Ezek a kutatások szorosan kapcsolódtak azokhoz a tudományos projektekhez, amelyek időjárás módosítást tűzték ki célul. Noha ezek a projektek sok szempontból nem voltak sikeresek, a kutatások eredményeinek köszönhető, hogy a 90-es évektől már a mezo-skálájú időjárás előrejelző modellekben is figyelembe tudták venni a felhőkben lejátszódó folyamatokat. Ezek a felhőfizikai modellek, habár a részleteket tekintve nagyon sokat fejlődtek az elmúlt ötven évben, még mindig a 60-as években kidolgozott, ún. „bulk” parametrizációs elven alapulnak. A 80-as években, többek között a számítástechnika gyors fejlődésének is köszönhetően, merült fel a lehetősége annak, hogy kidolgozzák a felhőfizikai modellek új generációját. Noha ezek a modellek mind a program kódot, mind az alkalmazott numerikus eljárást tekintve jóval bonyolultabbak a „bulk” parametrizációs modelleknél, nagy előnyük, hogy jóval kevesebb önkényes, ad hoc feltételezést tartalmaznak. Napjainkban még nincs lehetőség arra, hogy a részletes mikrofizikai modelleket közvetlenül alkalmazzassuk az operatív időjárás előrejelzésben, de alapkutatási céllal már nagyon sok területen használják azokat. Ilyen területek pl. az intenzív zivatarfelhőkben lejátszódó mikrofizika – dinamika közötti kölcsönhatás vizsgálata; a klímaváltozás jobb megértése szempontjából fontos aeroszol – felhő, valamint a sugárzás – felhő kölcsönhatás tanulmányozása; a felhőkben lejátszódó kémiai folyamatok vizsgálata; továbbá az időjárás módosítás hatékonyságának becslése.

A részletes mikrofizikai modellek – az előnyöket és hátrányokat is figyelembe véve – az alapkutatás mellett az operatív, ultrarövid távú előrejelzésben juthatnak szerephez a közeli jövőben.

## MEZOMETEOROLÓGIA: CIRKULÁCIÓS RENDSZEREK, JELENSÉGEK, ELŐREJELZÉSEK

**Horváth Ákos, Nagy Attila és Németh Péter**

*Országos Meteorológiai Szolgálat, Siófoki Viharjelző Observatórium*

A meteorológiai jelenségek osztályozása során a mezometeorológia fogalomkörébe kerültek besorolásra azok a légköri képződmények, amelyek horizontális és vertikális karakterisztikus méretei nagyságrendjüket tekintve közel azonosak. Dinamikai szempontból úgy is definiálható a mezo-skála, hogy ott a nem-hidrosztatikus jellegű kényszererők és a szinoptikus skálájú mozgások során fellépő erők (Coriolis-erő illetve a nyomás-gradiens okozta hatások) azonos nagyságrendűek. További, még egzaktabb meghatározások mellett egyszerűbben elmondható, hogy a mezo-skálájú légköri objektumok jobbra az emberi szem számára is felismerhető és belátható jelenségek, úgy mint a cumulus felhők, vagy a zivatarok, a felhőutak, vagy a tavak, tengerek partvidékein kialakuló szélrendszerek.

A mezo-skálájú folyamatok kialakulása nem választható el a szinoptikus skálán létrejövő időjárási jelenségektől, mivel sokszor azoknak egyfajta perturbációja, az ott fellépő „zavarok” teremtik meg a mezometeorológiai rendszerek kialakulási feltételeit. Ugyanakkor a mezo-skálájú folyamatok vissza is hatnak a szinoptikus skálára: egy ciklonban kialakuló zivatarlánc jelentősen módosíthatja a ciklon szerkezetét, áthelyeződését. A mérsékelt égöv viszonyai között az energia átadás meghatározóan a szinoptikus skáláról történik a mezo-skála irányába, vagyis a mezometeorológiai rendszerek a szinoptikus rendszerektől kapják az energiájukat. Így például a lejtő viharban kialakuló extrém erősségű szél a ciklon energiájára épül, hasonlóan egy labilis meleg szektorban kialakuló zivatarlánchoz, ahol a hasznosítható konvektív energia forrása a szinoptikus skálájú ciklon sajátos termikus struktúrája. A mezo-skálájú folyamatok tovább adják energiájukat a turbulens mikro-skála irányába.

A mezometeorológia legfőbb feladatai az ultrarövidtávú előrejelzés, a viharjelzés, a nowcasting, amelyekhez az előrejelzésben alkalmazott módszertan nem mindig megfelelő, egyedi eljárások kifejlesztésére van szükség.

## SKÁLAFÜGGŐ NYOMANYAG-TERJEDÉSI FOLYAMATOK

**Bozó László**

*Országos Meteorológiai Szolgálat*

A természetes és antropogén kibocsátás során a légkörbe kerülő nyomanyagok forrásaiktól akár jelentős távolságra is eljuthatnak, mielőtt az ülepedési folyamatokon keresztül elhagyják a légkört. A kibocsátási, terjedési, kémiai átalakulási és ülepedési mechanizmusok modellezése lehetőséget nyújt arra, hogy pontosabb képet nyerjünk a nyomanyagok földrajzi eredetéről, valamint légköri koncentrációjuk, illetve ülepedésük mértékének tér- és időbeli eloszlásáról. Ezek ismerete nélkülözhetetlen az emberi egészséget és az ökoszisztémák állapotát érintő levegőkörnyezeti terhelés vizsgálatánál. Az előadásban bemutatjuk a Magyarországra vonatkozó számítások eredményeit, az elmúlt évtizedekben bekövetkezett változások tendenciáit, különös tekintettel a 10 mikrométer alatti aeroszol részecskékre (PM10), illetve az ezekben található toxikus nyomelemekre. Ismertetjük a legfontosabb nyomanyagok kontinensek közötti terjedésével kapcsolatos modellszámítások eredményeit, ezen belül az európai kontinens szerepét a nagytávolságú levegőszennyeződési folyamatokban. Értékeljük a legfontosabb környezeti kockázatokat, illetve ezek mértékének várható alakulását.

## SZENNYEZŐANYAG- ÉS IMPULZUS-TRANSZPORT VÁROSI HATÁRRÉTEGBEN

**Kristóf Gergely és Füle Péter**

*BME Áramlástan Tanszék*

Az épületek és más tereptárgyak alakja és elrendezése jelentősen befolyásolja a városi határréteg impulzus- és anyagtranszport folyamatait. Modellünkben a városi beépítést kétirányú (gömbi) periodicitással rendelkező geometriai struktúrának tekintjük, melyben a nyomási gradiens előírásával a szélirány és szélereősség megválasztható. Alkalmasan megválasztott intenzitás-eloszlású térfogati nyelő segítségével a szennyező koncentráció is periodikussá alakítható, melynek révén a felszíni légszennyezés terjedése periodikus modellben vizsgálható. A modellben alkalmazott súrlódási sebesség, valamint az eredményül kapott koncentráció különbség és szennyezőanyag emisszió értékei alapján meghatározható egy dimenzió nélküli anyagátadási tényező (turbulens anyagátadási Stanton-szám), mely az adott geometriai kialakítást jellemzi az átszellőzés hatásossága szempontjából. Az így definiált átszellőzési tényező a városi érdekesség anyagátadási tényezőjét, mint „hasznot” és a felszín ellenállását, mint „költséget” veszi figyelembe.

Periodikus modellünk alapján megvizsgálható például, hogy miként célszerű elhelyezni adott hasznos épülettérfogatot megadott beépítési rászterben a leghatékonyabb átszellőzés érdekében. Az optimalási eljárást egyszerű példán keresztül demonstráljuk, négyzögrácsban elrendezett, négyzet alapú hasáb alakú épületek ideális magasságának meghatározásával.

Hogyan befolyásolja az átszellőzést például az épületmagasság és annak változékonysága, a tetők alakja, hirdetőfelületek jelenléte, vagy az utcák szélirányhoz képesti orientációja? Hogyan lehet megfelelően telepített városi növényzettel javítani a város átszellőzést? A periodikus modellt a továbbiakban elsősorban az átszellőzés szempontjából kedvező beépítési és várostervezési módok keresésére tervezzük fölhasználni. Ezen túlmenően, a modell fölhasználható a nagyobb léptékű modellekben alkalmazott felszín paraméterezés továbbfejlesztésére is.

## A VÁROSI HŐSZIGET JELENSÉGKÖRE ÉS MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI

**Unger János és Gál Tamás**

*SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék*

A városi és a természetes felszínek eltérő energiagazdálkodása miatt gyakran hőmérsékleti többlet – városi hősziget – alakul ki a város légterében, illetve a felszínén, valamint az alatta lévő rétegekben is néhány méteres mélységig. A felszín alatti hősziget detektálása elsősorban talajvízkutak vízhőmérséklet-mérésével történik. A felszíni hősziget vagy inkább hőmérsékleti mező meghatározása távérzékeléssel történik, de az eredmény nem mindig egyértelmű maga a felszín, azaz a város/légkör közötti határfelület összetett geometriája miatt. A levegőben megjelenő hőszigetnek két fajtája különböztethető meg a városi légtér rétegzettségének megfelelően. Ezen belül, ha a városi tetőszint réteg hőmérsékleti eloszlásának megfelelő részletességű feltárása érdekében lehetőség van egy mérőhálózat telepítésére, akkor a probléma a városon belüli felszintípusok és a hálózat állomásainak egymáshoz való viszonyával kapcsolatos. Erre a Local Climate Zones (LCZ) rendszer nyújt egy megoldási lehetőséget, melynek elemei olyan néhány száz métertől néhány kilométerig terjedő területek, amelyek többé-kevésbé egységes felszínborítással, szerkezettel, anyag típusokkal és antropogén hő kibocsátással jellemezhetők. Mindegyik típus jellegzetes hőmérsékleti menettel rendelkezik, ami legegyszerűbben a viszonylag sík és száraz felszín felett, nyugodt és tiszta éjszakákon nyilvánul meg.

Napjainkban a fókusz az időjárás előrejelző és klímamodellek városi környezethez történő adaptálására irányul. Számos megközelítés létezik ezekre a lokális léptékű szimulációkra, többségük a városi kanyon koncepción alapul. Ilyen elven működik a globális léptékű Community Climate System Model városi parametrizációja, a Town Energy Balance séma, amely a SURFEX rendszerén keresztül alkalmazható, valamint a WRF különféle városi parametrizációi is. Egy másik megközelítésben a városi felszíngeometriát mintegy porózus térfogatot vesznek számításba, így a nem jellegzetesen utcakanyonokból álló területeken is lehetővé válik a légköri folyamatok kellő pontosságú leírása (pl. a MUKLIMO).

A tetőszinti réteg légköri folyamatainak leírásában alkalmazott metodika mellett kulcskérdés a felszín reprezentációja a szimulációs rendszerekben. A modellek általában valamely globálisan vagy regionálisan elérhető adatbázisra építenek (pl. USGS, CORINE, urban street map). Azonban ezek a felszínosztályozások nem a termikus különbségek térképezésén alapulnak, így az egyes osztályok városklimatológiai szempontból alapvetően különböző felszíneket is tartalmazhatnak. Emiatt jelenleg az LCZ rendszer az, ami megfelelő alapot nyújt a városi felszín modellekben történő reprezentálására.



## A VÁROSI TÉR SZERKEZETE ÉS HATÁSA A MIKROKLÍMÁRA

**Gál Csilla Viktória**

*Dalarna University, Svédország*

A városok sajátos éghajlata, a városklíma, a természetes környezethez képest módosult éghajlattal jellemezhető. A klímáparaméterek városi módosulásának hátterében a beépített felszínek megváltozott energiaháztartása áll. Míg a városok éghajlata markánsan elkülönül a környező természetes területek éghajlatától, a városokon belül is jelentős klimatikus különbségek alakulnak ki. Ezen különbségek kialakulására alapvető hatással van a beépítettség foka, valamint a zöld területek részaránya. A városokon belüli éghajlati különbségek tanulmányozása mérések és numerikus szimulációk révén lehetséges. Utóbbiak segítségével széleskörűen tanulmányozható a beépítettség, a városokra jellemző mesterséges anyagok, valamint a városon belül alkalmazott zöld- és kék infrastruktúra elemeinek hatása a kialakuló mikro- és lokális éghajlatra, illetve mindezek hatása a lakosok komfortérzetére. Eme ismeretanyagra alapozva megfogalmazhatók olyan várostervezési irányelvek, melyekkel az éghajlatváltozással kombinálódó városklíma negatív hatásai mérsékelhetőek, s a városlakók számára klimatikus szempontból élhetőbb környezet teremthető.

Tanulmányomban Budapest jellemző városi beépítési formáit, s a köztük lévő mikroklimatikus különbségeket vizsgálom numerikus szimulációk útján, különös tekintettel a nyári hőterhelés mérséklésére irányuló várostervezési beavatkozások eredményességére az egyes beépítési formák esetén. Az egyik ilyen beavatkozás az épülethomlokzatok albedójának növelése nagyobb sugárzás-visszaverő képességű anyagok, illetve festékek alkalmazása révén. Egy másik jellemző beavatkozás a zöldterületek részarányának növelése, melyet tanulmányomban a lombkorona borítás értékének változtatásával vizsgálom. A különféle beépítési formák, homlokzat albedók és korona borítottság értékek komplex hatásának feltárására az ENVI-met szimulációs software-t alkalmaztam. Az eredmények alapján elmondható, hogy a megnövekedett albedó következtében a napsugárzásnak kitett homlokzatok hőmérséklete – s ez által az épületek hőterhelése is – csökken. A visszavert sugárzási hányad megnövekedése azonban az épületek között sugárzás többletként jelenik meg, mely többlet a nem módosított albedójú felületek (utak, terek) nagyobb sugárzási terheléséhez és ezáltal a városi határréteg felmelegedéséhez vezet. Ezzel ellentétben, a korona borítottság növelése a városi határrétegben a rövidhullámú sugárzás és a léghőmérséklet csökkenését eredményezi. Mivel ezen tényezők hatása a lakosok komfortérzetét és az épületeket érő hőterhelést is előnyösen befolyásolja, a közterületek fásítása a nyári hőterhelés mérséklésére irányuló várostervezési beavatkozás egyik hatásos eszköze lehet.

## A MIKROSKÁLÁJÚ MODELLEK TURBULENCIA PEREMFELTÉTELEIRŐL

**Balogh Miklós**

*BME Áramlástan Tanszék*

Az általános mérnöki gyakorlatban egyre nagyobb igény jelentkezik a kis léptékű légköri jelenségek pontos leírására, hiszen a fenntartható fejlődés érdekében a mérnöki alkotásoknak környezetvédelmi és energetikai szempontból is egyre szigorúbb követelményeknek kell megfelelniük. Számos mérnöki feladat kapcsolódik szorosan a légköri folyamatokhoz, amelyek közül a szélfarmok optimális telepítését, a városi átszellőzést, az épületekre és mérnöki műtárgyakra ható szélterhelés, valamint a szennyezőanyag terjedés vizsgálatát emelhetjük ki. Mivel az alkalmazott modellek térbeli felbontása az egyre kisebb léptékek felé közelít, egyre több részletet kell figyelembe vennünk az áramlási mezőre gyakorolt hatásaiknak megfelelően. Ezek a részletek, mint az ember alkotta építmények és szerkezetek geometriája turbulenciát keltenek, és módosítják az áramlás mintázatát a kisebb léptékeken. Az általános célú áramlástan megoldók megfelelően kezelhetik a geometriai kényszerek hatásait, de a légköri áramlások fizikai sajátosságainak reprezentációja továbbra is nagy kihívást jelent.

Mivel a légkört alulról a földfelszín határolja, a tartomány alsó határfelületét érdesnek tekinthetjük. A mérnöki gyakorlatban alkalmazott ún. falfüggvények a homok-érdességgel és az érdességi konstanssal jellemezik a felület minőségét. Ezzel szemben a légköri határreteg leírásánál az alsó határfelületet az érdességi magassággal jellemezzük, a meteorológiai terminológiának megfelelően. Ennek okán, az alsó és oldalsó peremfeltételek megadása az általános célú megoldókban rendelkezésünkre álló érdes felszínekre jellemző alsó peremfeltételek és az oldalsó peremfeltételként megadott légkörre jellemző profilok együttes alkalmazása vitatható. Ez érthető, hiszen a teljesen kifejlett határreteget jellemző profilok elfajulnak a tartomány hossza mentén, még a tökéletesen sík, homogén érdességű felszínek esetén is.

A felmerülő problémák megoldására olyan peremfeltétel készletet és turbulencia-modellt fejlesztettünk ki, amely alkalmas a homogén neutrális határreteg akkurátus modellezésére. Mivel ez nem ad megfelelően pontos eredményt a komplex domborzat felett kialakuló inhomogén határretegek modellezése során, kidolgoztuk a modell általánosított verzióját, amely a mérnöki gyakorlatban szükséges pontosság mellett képes modellezni a változatos, inhomogén felszínek felett kialakuló határretegeket is. A kidolgozott modellt egy nyílt forráskódú, általános célú áramlástan megoldóban implementáltuk, ellenőrzését pedig kisminta kísérletek, illetve terepi mérések felhasználásával végeztük.

## ÚJ TURBULENCIA PARAMETRIZÁCIÓS ELJÁRÁSOK AZ AROME MODELLBEN

**Lancz Dávid és Szintai Balázs**  
*Országos Meteorológiai Szolgálat*

A mezo-skálájú időjárás előrejelző modellek a rövidtávú előrejelzések elkészítésében segítik a szakembereket. Fontos szerepük van a veszélyes időjárási helyzetek felismerésében és kialakulási feltételeik előrejelzésében, ezáltal részt vesznek a kármegelőzésben és az emberi életre veszélyes körülmények elkerülésében is. A mezo-skálájú modellek fejlesztése azért fontos, hogy ezeket minél pontosabban tehessék meg.

A modelleredmények pontosításának egyik módja, ha magasabb felbontáson futtatjuk őket. Ez viszont nagyobb számítógépes kapacitást igényel, továbbá szükséges a modell parametrizációs csomagját az új felbontáshoz igazítani. Az egyik ilyen igazítás a sekély konvekció turbulenciájának szürke zónáját érinti.

A jelenlegi operatív mezo-skálájú meteorológiai modellek horizontális felbontása 2–3 km körül mozog a nemzeti szolgálatoknál (az AROME modell az Országos Meteorológiai Szolgálatnál „2,5 km-en fut”). Ezen a felbontáson a sekély konvekció mozgásrendszere nem jelenik meg a modell dinamikájában, így azt mindenképpen parametrizálni kell. A nagy felbontású LES (Large-Eddy Simulation) kísérleteknél viszont már nem szükséges a sekély konvekció keltette mozgásokat parametrizálni, azt már a dinamika kezeli. Ezek a kutatási célzatú szimulációk 10–100 méteres horizontális felbontáson készülnek. A két érték között elhelyezkedő felbontások alkotják a szürke zónát.

A sekély konvekció szürke zónájában azok a felbontások szerepelnek, amelyeket egyszerre kezel a modell dinamikai magja és parametrizációja. Ezt a problémát hivatott kezelni egy új megközelítés, melyben a parametrizáció a horizontális felbontás alapján van mérsékelve. Ez az új lezárás LES eredmények alapján készült el és az AROME modellben teszteltük idealizált és valós eseteken. A számításokat egy 15 napos időszakon validáltuk és egy erősen konvektív esettanulmányon részletesebben is megvizsgáltuk.

## A RICHARDSON-EXTRAPOLÁCIÓ ÉS ALKALMAZÁSA A DÁNIAI EULERI MODELLBEN

Faragó István<sup>1</sup>, Havasi Ágnes<sup>1</sup> és Zahari Zlatev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ELTE Matematikai Intézet, MTA-ELTE NumNet Kutatócsoport;

<sup>2</sup>Aarhus University, Department of Environmental Sciences – Atmospheric modeling, Denmark

A Richardson-extrapoláció egy olyan numerikus eljárás, amelynek segítségével igen egyszerűen és hatékonyan tudjuk megnövelni bármilyen konvergens numerikus módszer pontosságát. Legfontosabb alkalmazási területe a közönséges differenciálegyenletek numerikus megoldása. Ekkor ugyanazon módszerrel, de különböző időbeli lépésközökkel előállított numerikus megoldások súlyozott átlagát képezzük időlépésenként. Ilyen módon egy  $p$ -ed rendben konvergens időintegrálási módszer rendjét  $(p + 1)$ -re növelhetjük. A módszer parciális differenciálegyenletek numerikus megoldására is használható vagy csak az időbeli, vagy együttesen az idő- és térbeli diszkretizáció rendjének a növelésére. Az utóbbi módszert teljes Richardson-extrapolációnak nevezzük.

Az előadásban bemutatjuk a Richardson-extrapoláció elméleti háttérét. Ha egy kiválasztott időintegrálási módszert Richardson-extrapolációval kombinálunk, új numerikus módszert kapunk. Ezen új numerikus módszerrel szembeni legalapvetőbb elvárásunk az, hogy a lépésköz nullához tartásával a numerikus megoldás konvergáljon a pontoshoz. Ezért először a kombinált módszer konvergenciájának a kérdésével foglalkozunk.

Egy numerikus módszer konvergenciája még nagy pontossági rend esetén sem feltétlenül elegendő ahhoz, hogy az adott módszert konkrét feladatok megoldása során sikerrel alkalmazhassuk. A módszertől különféle kvalitatív tulajdonságok megőrzését is elvárjuk. Stiff-feladatoknál (mint amilyenek pl. a légköri kémiai átalakulásokat leíró modellek) fontos, hogy a módszer legalább A-stabil legyen, mert ez biztosítja, hogy a stabilitás nem ró túlságosan erős kikötést a megválasztható lépésközre. Mint látni fogjuk, a Richardson-extrapoláció alkalmazása javíthat is és ronthat is a mögöttes módszer stabilitásán.

A módszer alkalmazhatóságát egy nagytávolságú légszennyeződés-terjedési modellen, a Dániai Euleri Modellen (DEM) demonstráljuk. Megmutatjuk, hogy az advekción feladatban a Crank–Nicolson-módszert teljes Richardson-extrapolációval kombinálva nem egy, hanem két renddel nő a pontosság. Modelleredményekkel illusztráljuk, hogy a Richardson-extrapolációs módszer operátorszeleteléssel kombinálva is megbízhatóan működik.

## **A FELSZÍN SZEREPE A PANNON-MEDENCE TÉRSÉGÉBEN A KEVEREDÉSI RÉTEGVASTAGSÁG NAPI MENETÉNEK ALAKULÁSÁBAN**

**Ács Ferenc<sup>1</sup>, Mona Tamás<sup>2</sup>, Salavecz Péter<sup>3</sup> és Weidinger Tamás<sup>1</sup>,**

*<sup>1</sup>ELTE Meteorológiai Tanszék; <sup>2</sup>MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet; <sup>3</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat*

Köppen szerint Magyarország éghajlata sok év átlagában Cfb (meleg mérsékelt, száraz időszak nélküli és meleg nyárral rendelkező). Vannak olyan évek, amikor a júliusi középhőmérséklet az Alföldön meghaladja a 22 °C-ot. Ez már Cfa éghajlat, amit Köppen „kukorica-éghajlatnak” nevezett el. Ennek egyik fontos jellemzője a nyári anticiklonális időjárási helyzetekhez kapcsolódó hőségnapok megjelenése. Ilyenkor a keveredési rétegvastagságra gyakorolt felszíni hatás a legerősebb. E napokon a keveredési rétegvastagság napi menetének tipikus formája az ún. „trapéz-forma”, azaz, egy megközelítően derékszögű trapéz alakjához hasonlítható. Ez az alak a kora délelőtti gyors felmelegedés és a naplemente időszakában bekövetkező gyors lehűlés következménye. A napi menet forma a modellezés és a mérés eszközeivel vizsgálható. E tanulmány célja a modellezés és a mérés eszközeivel szerzett, a Pannon-medence térségére vonatkozó hazai tapasztalatok summázása, valamint a legfontosabb külföldi eredmények bemutatása.

A felszínközeli réteg energiaháztartási komponenseit a szegedi repülőtéren végzett mikrometeorológiai mérések (2015) alapján mutatjuk be. A határréteg fejlődését, jellegzetes meneteit a WRF modellfuttatások statisztikai feldolgozásával elemezzük.

## MIKROFIZIKAI FOLYAMATOK ZIVATAROKBAN, ZIVATARLÁNCOKBAN

**Sarkadi Noémi és Geresdi István**

*Pécsi Tudományegyetem, Földrajzi Intézet*

A zivatarokban, zivatarláncokban azok mozgását meghatározó dinamikai folyamatok és a csapadék kialakulása szempontjából jelentős mikrofizikai folyamatok között igen jelentős kölcsönhatás van. Megfigyelések alapján kimutatták, hogy ilyen felhőzet esetében azok konvektív, valamint réteges szerkezetű tartományaiban a vízcseppek méret szerinti eloszlása igen jelentősen eltér egymástól. A csapadékelemek mérete alapvetően befolyásolja a cseppek esési sebességét, ezáltal a felszint elérő csapadék mennyiségét. A csapadékelemek méretének és mérettől függő tulajdonságainak pontos előrejelzése nélkülözhetetlen a felszíni csapadék előrejelzése szempontjából. Napjaink numerikus időjárás előrejelző modelljeiben a nagy számítási kapacitás miatt még nincs lehetőség olyan részletes mikrofizikai sémák operatív alkalmazására, amelyek segítségével ezek a paraméterek megfelelően pontosan modellezhetők. Azonban kutatási célból egyre szélesebb körben használják ezeket a modelleket a felhőkben lejátszódó csapadékképződési folyamatok vizsgálatában.

Az előadásban esettanulmányokon keresztül szeretnénk bemutatni a részletes mikrofizikai séma alkalmazásának lehetőségét zivatarokban, illetve zivatarláncokban lejátszódó csapadékképződési folyamatok vizsgálatában. A részben idealizált, részben valós esetek tanulmányozása során mérési eredményekkel való összevetésre is lehetőség nyílik.

## A HOSSZÚHULLÁMÚ SUGÁRZÁS STRATOCUMULUS FELHŐBEN TÖRTÉNŐ TERJEDÉSÉNEK NUMERIKUS MODELLEZÉSE

Lábó Eszter<sup>1</sup> és Geresdi István<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat; <sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem, Földrajzi Intézet*

A felhőzet földi sugárzásegyenlegre gyakorolt hatásának elemzése, valamint a stratocumulus felhők tetején erőteljes hűlést eredményező hosszúhullámú sugárzással való kölcsönhatásuk modellezése megkívánja a fejlettebb mikrofizikai sémák alkalmazását. A folyamatok pontosabb fizikai leírását teszi lehetővé a részletes (bin) mikrofizika séma, amelyben a felhőket alkotó részecskéket méretük alapján intervallumokba (bin-ekbe) sorolják. Kutatásaink során egy elterjedten alkalmazott bin mikrofizikai sémára épülő, ún. bin sugárzási sémát fejlesztettünk ki a MADT elektromágneses sugárzás gyengülésének leírásán alapuló közelítés alkalmazásával, és az új sémát beépítettük az RRTMG LW hosszúhullámú sugárzás-átviteli modellbe.

Az új bin sugárzási módszer hosszúhullámú gyengülési együtthatók értékére vonatkozó eredményei összhangban vannak egy, a jelenlegi numerikus modellekben alkalmazott egyszerűsített ún. bulk sugárzási sémával. Azonban a kétdimenziós modellel szimulált stratocumulus felhőben a kialakuló sugárzási profilok és így a hosszúhullámú felhőtető hűlési sebességek között jelentős eltéréseket tapasztaltunk, ami főként a gyengülési együtthatók kiszámításának módja közötti különbségekre vezethető vissza. Az új bin sugárzási séma eredményei a tenger feletti felhők esetében a szakirodalomban közölt adatokkal jól egyeztek, mivel a felhőalap-melegedés mértékét, és a felhőtetőn található hűlési réteg vastagságát a bulk módszerrel összevetve jobban közelítették.

A kidolgozott séma újszerűnek tekinthető, mivel részletes mikrofizikai modell által meghatározott vízcsepp-méret szerinti eloszlásból számítja ki a gyengülési együtthatókat a bulk sugárzási sémák esetében feltételezett gamma-eloszlással szemben. A numerikus modellek kutatási verziói jelenleg is tartalmazzak hasonló részletes mikrofizikai sémákat. Kutatási eredményeink tehát a hosszúhullámú sugárzási profilok pontosabb meghatározását, és az általuk befolyásolt dinamikai és termodinamikai folyamatok jobb előrejelzését teszik lehetővé (pl. stratocumulus felhők életciklusa, köd kialakulása, csapadékképződés).

## **A DOMBORZATÉS A RÁCSFELBONTÁS HATÁSA A LEGKORSZERŰBB REGIONÁLIS KLÍMAMODELLEK CSAPADÉKBECSLÉSÉRE: EURÓPAI ESETTANULMÁNYOK**

**Torma Csaba Zsolt**

*ELTE Meteorológiai Tanszék; MTA Prémium Posztdoktori Kutatói Program*

A klímakutatásban fontos szerepet töltenek be a klímát globálisan leíró, úgynevezett globális klímamodellek. A nagy tér- és időbeli változékonyságot mutató csapadék globális klímamodellekkel való modellezési lehetőségei – a modellek viszonylag durva felbontásából (100–300 km) adódóan – regionális szinten (kontinentális, vagy szubkontinentális) igen korlátozottak. A csapadék regionális léptékű előrejelzésében, illetve modellezésében mutatkozó bizonytalanságok mérséklésében többek között a regionális klímamodellek lehetnek segítségünkre. A bizonytalanságok további mérséklése, illetve a megfelelő következtetések levonásának érdekében a szimulációk csoportos kiértékelése (ensembles) a jelenleg elfogadott nemzetközi gyakorlat.

A nemzetközileg koordinált globális klímadinamikai kutatások eredményei a CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) keretében hozzáférhetőek. A globális kutatásokhoz hasonlóan a regionális klímamodell futásokat is nemzetközileg irányítják és rendszerezik, mely munkát a CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) fogja össze.

Európa két komplex domborzattal jellemzett régiója alkotta vizsgálataink céltartományát: az Alpok, valamint a Kárpát-medence és térsége. A kutatásokhoz a globális modelleket a CMIP5 (Phase 5), míg a regionális modelleket az EURO- és Med-CORDEX adatbázisaiból választottuk ki. Az Alpok térségére a kiválasztott klímamodellek csapadék eredményeit együttesen értékeltük ki a regionális klímamodellek 0,44° és 0,11° horizontális rácsfelbontása mellett a globális klímamodellek átlagos felbontásának vett 1,32° rácshálózatán. A finomabb térbeli felbontásból származó előnyök egyértelműen megmutatkoztak a megfigyelésekhez viszonyított eredményekben (átlagos csapadék térbeli eloszlás, napi csapadékintenzitás eloszlás, csapadék extrémum). Az Alpok területén a globális klímamodellek által előre jelzett csapadékváltozást (2070–2099 időszak átlagát a referencia időszaknak tekintett 1976–2005 közötti átlagértékével összevetve) nagymértékben módosították az 1500 méter feletti területeken a regionális klímamodellek. A Kárpát-medence térségére még több regionális klímamodell bevonásával elvégzett hasonló vizsgálatok az Alpok és környezetére kapott eredményeket látszanak helyenként alátámasztani.



## A FELSZÍNI ADATBÁZISOK JELENTŐSÉGE BUDAPEST HŐSZIGETÉNEK NUMERIKUS MODELLEZÉSÉBEN

**Breuer Hajnalka, Göndöcs Júlia, Pongrácz Rita és Bartholy Judit**

*ELTE Meteorológiai Tanszék*

Napjainkban a numerikus modelleket nemcsak előrejelzési feladatokra használják, hanem különböző specifikus célú kutatások fontos eszköze is. A legújabb légekori modellekben a városi felszín hatásának fizikai leírására több lehetőség nyílik: az egyszerű energiaháztartási modelltől a komplex városi geometriát figyelembe vevő részletesebb parametrizációkig többféle megtalálható. Ugyanakkor az egyes városok kiterjedése, szerkezeti felépítése rendkívül pontatlan és sokszor elavult a modellekben. Budapest esetén a város kb. 25 km-es környezetében a mesterséges felszínnek aránya, adatbázistól függően 10–30% között változik. A mesterséges felszínnek aránya csupán egyetlen információ a városi modellbe bemenő paraméterek közül. Ezen kívül szükséges még legalább a különböző városrészek albedója és emisszivitása, valamint az épületek magasságának eloszlása és az utcák szélessége. Amíg például az albedó vagy az emisszivitás közvetlenül befolyásolja a sugárzási egyenleget, addig a városi geometria hatással van a turbulens átkeveredésre és az árnyékoláson keresztül közvetetten a sugárzási egyenlegre is.

Vizsgálatainkat Budapest és környezetére végeztük, a WRF modell segítségével, 1 km-es horizontális felbontást használva, melyben a szükséges felszíni információt tartalmazó adatbázist frissítettük, illetve kiegészítettük. A felszínhasználatot, a környező városok területét friss térkép adatbázis felhasználásával pontosítottuk. Ugyanezen adatbázis segítségével meghatároztuk az utak szélességét is. Budapest sugaras szerkezetét figyelembe véve a várost felosztottuk belvárosi, városi, zöldövezeti, ipari és repülőtéri területekre, melyekhez műholdas mérések alapján rendeltük hozzá a sugárzási paramétereket. Továbbá műholdfelvételek segítségével elkülönítettük azon városrészeket, ahol 7–15 emelet magas épületek találhatók. Az adatbázist közel 100 m-es horizontális felbontással építettük fel, hogy finomfelbontású szimulációk is készíthetők legyenek. Elemzéseink azt mutatják, hogy a helytelen felszíni információkból eredő, téves fizikai közelítések miatt bekövetkező hősziget-intenzitás hibák, összemérhetők a különböző nem-városi parametrizációk megválasztásából eredő hibákkal.

## ÚJ CSALÁDTAG A KLÍMAMODELLEZÉSBN: A FELSZÍNI MODELLEK, MINT A VÁROSI ÉGHAJLATI HATÁSVIZSGÁLATOK ESZKÖZEI

Zsebeházi Gabriella<sup>1</sup> és Szépszó Gabriella<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat; <sup>2</sup>Európai Középtávú Előrejelző Központ, Reading, Egyesült Királyság

A városok fizikai és morfológiai tulajdonságai (pl. épületek nagy hőkapacitása, sűrű beépítettség) következtében sajátos – a természetes felszínekétől jelentősen eltérő – energiaháztartással rendelkeznek, melynek eredményeképpen lokális skálán módosítják az éghajlatot. A városklíma egyik leginkább szembevető jellemvonása a városi hősziget-jelenség, azaz a város légterének a környező vidéki területektől eltérő hőmérséklete. A városi éghajlati jellemzők a klímaváltozás egyes aspektusaival kölcsönhatnak, azokat akár felerősíthetik, növelve a városok kitettségét, sérülékenységét. Annak érdekében, hogy a várható változásokra megfelelően felkészüljünk és azok hatását lehetőleg mérsékeljük, számszerű hatásvizsgálatok eredményein alapuló stratégiai tervek kialakítására van szükség.

A regionális éghajlati modellek – nagy rácsfelbontásuk és a fizikai folyamatok pontos leírása révén – részletes információval szolgálnak egy ország vagy egy kisebb térség éghajlati jellemzőiről. Megbízható helyi adaptációs vizsgálatok ezeket az információkat közvetlenül felhasználó hatásvizsgálati modellek és módszerek alkalmazásával végezhetők. A városi éghajlatváltozás vizsgálatára megfelelő eszközt nyújtanak az ún. *felszíni modellek*, melyek a regionális éghajlati modellek eredményeire támaszkodva nagy pontossággal írják le a lokális (1–2 km-es) skálán zajló városi folyamatokat, ugyanakkor alacsony számítási kapacitásigényük révén alkalmasak több évtizedes szimulációk készítésére is.

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál néhány éve foglalkozunk városklíma modellezéssel, amihez a SURFEX/TEB felszíni modellt használjuk. Előadásunkban bemutatjuk a SURFEX/TEB alkalmazhatóságát a városi éghajlat és lehetséges változásainak vizsgálatára, rávilágítunk a modell által nyújtott lehetőségekre és korlátokra, valamint összevetjük a tudományterületen alkalmazott egyéb hatásvizsgálati eszközökkel (pl. statisztikus módszerekkel vagy mikroskálájú modellekkel) is.

## AZ AROME MODELL OPTIMALIZÁLÁSA VESZÉLYES IDŐJÁRÁSI HELYZETEK ELŐREJELZÉSÉHEZ

**Szintai Balázs, Homonnai Viktória, Szűcs Mihály**  
*Országos Meteorológiai Szolgálat*

Az előadásban bemutatjuk az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) alkalmazott AROME számszerű időjárási modell alkalmazhatóságát veszélyes időjárási helyzetek előrejelzésében, előtérbe helyezve a modell mikrofizikai parametrizációinak az előrejelzésekre gyakorolt hatását. Az AROME modellt az ALADIN nemzetközi modellező konzorcium fejleszti és 2011 óta alkalmazzuk az OMSZ operatív előrejelzési gyakorlatában. A modell fejlett fizikai parametrizációs csomagot alkalmaz, amely kiterjed a turbulencia, a mikrofizikai és felszíni folyamatok leírására.

Az előadás második részében egy a Kárpát-medencére jellemző és veszélyeket is hordozó időjárási jelenségre, az ún. hidegpárnás helyzetekre koncentrálunk. Ezt a jelenséget anticiklonális helyzetekben figyelhetjük meg, amikor a talajközeli hideg levegő megreked a Kárpát-medencében. Mivel a napsugárzás ebben az évszakban igen gyenge ezért a reggeli köd nem oszlik fel, hanem megemelkedik, és mintegy 300–500 m magasságban egy stratus réteg képződik, amely egész nap során megmarad. Általánosságban elmondható, hogy az AROME modell – az OMSZ-nál használt többi modellhez hasonlóan – problémákkal küzd az ilyen időjárási helyzetek előrejelzésekor, ugyanis a modellben a stratus réteg – a valósággal ellentétben – koradélutánra feloszlik. Vizsgálataink arra az eredményre jutottak, hogy azokban a hidegpárnás helyzetekben, amikor a felszín közelében fagypont alatt van a léghőmérséklet, az AROME modell eltúlozza a csapadékmennyiséget (hószítalást), emiatt az alacsonyszintű felhőzet kihullik. Ha az autokonverzió (felhőjég hulló hóvá alakulása) kritikus keverési arányát megnöveljük, akkor a kihullás mértéke csökken, az alacsonyszintű felhőzet jobban megmarad. Az előadásban bemutatunk további, a mikrofizikai parametrizációval kapcsolatos, aktuális fejlesztéseket is, amelyek elsősorban egy új kétmomentumos séma alkalmazására és az aeroszol részecskék hatásainak jobb leírására irányulnak.

Az AROME modell felhasználási lehetőségeit is áttekintjük a szennyezőanyag-terjedés modellezésében, elsősorban arra koncentrálva, hogy a különböző terjedési modellek milyen bemeneti változókat igényelnek az időjárási modellből. Az egyik legfontosabb ilyen változó a keveredési rétegvastagság, amelynek meghatározására számos módszer létezik. Az előadás végén összehasonlítunk néhány ilyen módszert, mérési eredmények felhasználásával.

## A WRF MODELL OPERATÍV ALKALMAZÁSA VESZÉLYES KONVEKTÍV FOLYAMATOK ELŐREJELZÉSÉHEZ

**Nagy Attila**

*Országos Meteorológiai Szolgálat, Siófoki Viharjelző Obszervatórium*

Jelenleg az a meteorológiai tér- és időskála, amely operatív körülmények között numerikusan modellezhető, folyamatai pedig explicit módon előrejelezhetőek, a mezo-skála alsó tartománya. Ide tartozik a rövid távon veszélyes légköri jelenségek zöme, többek között a konvektív folyamatok, melyeknek az előrejelzése nagyfokú bizonytalansággal terhelt a nemhidrosztatikus, nagy felbontású modellfuttatásokban. A modell felpörgési ideje – amely esetenként több óra is lehet – eleve ellehetetleníti a nowcasting időtartamában a konvekció helyes előrejelzését. A probléma enyhítésére egy ígéretes eredményekkel járó út a kezdeti feltételek pontatlanságának javítása speciálisan a konvektív folyamatokra vonatkoztatva. A szokványosnak tűnő pontonkénti adatasszimilációs technikák vizsgálata helyett objektumorientált szemlélettel tekintünk a problémára, kiindulva abból, hogy egy nowcasting időtávú előrejelzéstől azt várjuk elsősorban, hogy a veszélyes időjárási folyamatok ott és akkor jelenjenek meg az előrejelzésekben, ahol és amikor a valóságban vannak. Erre a célja egy speciális nudging módszert alkalmazunk, amelyben a kényszertag a látens hő-felszabadulás és néhány hidrometeor-fajta háromdimenziós mezeje. A valós radarmérések alapján azonosított zivatarok így elméletben az első időlépcsőtől kezdve követhetők a modellben, másrészt a nudging periódus lezárása után várható, hogy a valóságot jobban megközelítő modellbeni légállapot jön létre az időjárási helyzet későbbi előrejelzéséhez. A módszer egyéb alkalmazások fejlesztését is magával hozza, például lehetőség nyílik valós, illetve modellezett zivatarok léggöyjűtőjének vizsgálatára is, amelynek az első eredményeit az előadás során is érintjük.

## KÜLÖNBÖZŐ MODELL MEGKÖZELÍTÉSEK ÉS UAS MÉRÉSEK A REPÜLÉSEK KORSZERŰ METEOROLÓGIAI TÁMOGATÁSÁHOZ

**Bottyán Zsolt<sup>1</sup>, Wantuch Ferenc<sup>2</sup>, Gyöngyösi András Zénó<sup>3</sup>, Kardos Péter<sup>4</sup> és Tuba Zoltán<sup>1,5</sup>**

*<sup>1</sup>Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Repülő Intézet; <sup>2</sup>Nemzeti Közlekedési Hatóság,*

*Légiközlekedési Igazgatóság; <sup>3</sup>SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék;*

*<sup>4</sup>HungaroControl Zrt; <sup>5</sup>Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály*

A korszerű repülésmeteorológiai támogatás alapfeladata azoknak a légköri állapotoknak, jelenségeknek az előrejelzése, amelyek tér- és időskálája összemérhető a repülési feladatok hasonló dimenziójával. Ebből adódóan, az említett támogatás gerincét olyan rövid- és ultrarövidtávú meteorológiai előrejelzések képezik, melyek képesek az adott időjárási szituációban előforduló mezoskálájú folyamatok elfogadható pontosságú prognózisára. A feladat nem más, mint a repülésre veszélyes időjárási állapotok (látástávolság, felhőalap) és jelenségek (széllökés, szélnyírás, turbulencia, felületi és hajtómű jegesedés, stb.) megfelelő pontosságú előrejelzése, különböző modell-megközelítések segítségével.

A meteorológiai látástávolság mindenkor értékének ismerete és prognózisa egy adott repülőtéren kulcsfontosságú kérdés. Az általunk fejlesztés alatt álló repülésmeteorológiai támogató rendszerben már működik a látástávolság kombinált módon történő becslése, mely analóg (statisztikus) és numerikus (WRF) alapú outputok speciális kombinációjával, hibrid előrejelzési technikán alapul. Az említett módszer alkalmazhatóságát, a széleskörben végzett verifikáció eredményei is alátámasztják.

A planetáris határreteg állapotának ismerete és előrejelzése szintén alapvető fontosságú a fent említett légköri folyamatok prognosztikájához. A mezo-léptékű numerikus időjárás előrejelzések pontosabbá tételének egyik lehetősége, hogy az adatasszimiláció során több, pontosabb meteorológiai információ kerüljön be a prognosztikai folyamatba, különös tekintettel a határretegére vonatkozóan. Ezt az elvárást jelentősen elősegítheti a speciális meteorológiai szenzorrendszerrel felszerelt pilóta nélküli légi jármű rendszerek (UAS), adott módszertan alapján történő alkalmazása; miközben légi időjárás felderítési feladatokat is elláthatnak. Éppen ezért, a hazai komplex repülésmeteorológiai támogatásban fontos szerepet szánunk az említett meteorológiai célú UAS rendszereknek. Bemutatjuk a fejlesztések eddig eredményeit és áttekintjük az előttünk álló feladatokat.

## LEVEGŐKÉMIAI MÉRÉSEK ÉS MODELLEZÉS LOKÁLISTÓL REGIONÁLIS SKÁLÁIG

Mészáros Róbert<sup>1</sup>, Leelőssy Ádám<sup>1</sup>, Lagzi István László<sup>2</sup>, Kovács Attila<sup>1</sup> és Csapó Péter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ELTE Meteorológiai Tanszék; <sup>2</sup>BME Fizika Intézet

A különböző forrásokból származó szennyezőanyagok (pl. baleseti kibocsátások, szmoghelyzetek) által okozott levegőminőség-romlás korunk egyik legsúlyosabb környezeti problémája. A légköri szennyezőanyagok terjedésének és térbeli eloszlásának minél pontosabb meghatározása ezért kiemelt jelentőségű feladat. A számítástechnikai háttér fejlődése, a részletes meteorológiai adatbázisok és előrejelzések megteremtették a lehetőséget, hogy egyre finomabb tér- és időbeli felbontásban tudjuk szimulálni a légköri diszperziót. Ugyanakkor, bizonyos esetekben az időjárási helyzet összetettsége, továbbá a domborzat, vagy a beépített környezet áramlást befolyásoló hatása nagymértékben megnehezíti a légszennyezettségi viszonyok pontos leírását.

Az elmúlt időszakban több, különböző típusú modellel végeztünk terjedés szimulációt különböző skálán. A WRF-ARW (The Weather Research & Forecasting Model – Advanced Research WRF) és annak levegőkémiai kiegészítésével (WRF-Chem) létrehozott integrált modell-rendszerrel szennyezőanyagok emissziós, transzport, keveredési és kémiai átalakulási folyamatait szimuláltuk egy Közép-Európát lefedő tartományra, illetve Budapest térségére. Regionális skálán a saját fejlesztésű RAPTOR Lagrange-féle részecskemodellt is alkalmaztuk, így lehetőségünk nyílt a különböző szemléletű modellekkel nyert eredmények összehasonlítására.

Összetett, városi környezetben a város áramlási viszonyainak bonyolult szerkezete, valamint a szennyezőanyag-emisszió lokális jellege miatt az aeroszol részecskék koncentrációjában finom térbeli skálán akár többszörös különbségek alakulhatnak ki, amit a modell szimulációkkal nehéz kimutatni. A modellezési feladatokat ezért mobil mérésekkel egészítettük ki. Budapest belvárosának forgalmas útvonalain egy kerékpárra szerelt TSI DustTrakII Aerosol monitor 8532 segítségével vizsgáltuk a PM<sub>2,5</sub> mérettartományú aeroszolok koncentrációját. Ezáltal lehetőségünk nyílt a közlekedési útvonalakon kialakuló szennyezettség közvetlen megfigyelésére.

## A LEVEGŐMINŐSÉG ELŐREJELZÉS MODELLEZÉSÉNEK HÁTTERE ÉS GYAKORLATA AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLATNÁL

**Ferenczi Zita és Homolya Emese**  
*Országos Meteorológiai Szolgálat*

A levegőminőségi modelleknek bonyolultságuk, eltérő számítástechnikai igényük, alkalmazhatóságuk tekintetében többféle típusát különíthetjük el. Attól függően, hogy elemzésünk során a kibocsátás forrására, vagy a receptor-pontokra vonatkozó ismereteinkből indulunk ki, forrás- vagy receptor-orientált modellekről beszélünk.

A forrás-orientált, vagy ismertebb nevükön a kémiai transzport-modellek a terjedési, kémiai és kiülepedési folyamatok, valamint a köztük lévő kölcsönhatások matematikai leírásán alapulnak. Alkalmazási lehetőségük a levegőkémia számos gyakorlati és kutatási területére kiterjed, segítségükkel lehetséges a levegőminőség várható alakulásának előrejelzése, valamint alkalmasak komplex levegőminőségi vizsgálatok elvégzésére is. Többek között lehetőséget nyújtanak annak elemzésére, hogy adott kibocsátás csökkentés hogyan fogja befolyásolni a szennyezőanyagok jövőbeli légköri koncentrációját.

A receptor-orientált modellek adott pont közvetlen környezetére jellemző tulajdonságokat és azok megváltozásait veszik elsőként figyelembe, a mért koncentrációkat arányítják az emissziós forrásokhoz, egy tömegegyensúlyi egyenlet többváltozós analízis révén történő megoldásával.

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál jelenleg két kémiai transzport modellt használunk a levegőminőségi vizsgálatokhoz, a francia fejlesztésű CHIMERE és a norvég EMEP modellt. Mindkét modell egyaránt alkalmas levegőminőségi előrejelzés készítésére, azonban a CHIMERE modell sokkal rugalmasabban kezeli az input meteorológiai adatokat. Ezért jelenleg az EMEP modellt a norvégok által előállított adatbázisokkal tudjuk futtatni és alapvetően a múltbeli helyzetek részletes elemzésére használjuk. A CHIMERE modell lett az alapja annak az előrejelző rendszernek, amely először a Kárpát-medence területére készít előrejelzést a légszennyezőanyagok koncentrációjára vonatkozóan, majd nesztelési technika segítségével kisebb térségekre, akár városokra finomabb térbeli felbontással leskálázza a nagyobb térségre durvább felbontással készült előrejelzést. A számításokhoz a legújabb, 2015-re vonatkozó rácsponti emissziós adatbázist használjuk, a futtatásokhoz szükséges meteorológiai adatokat pedig az AROME numerikus előrejelző modell szolgáltatja. Az előadásban a modellrendszert esettanulmányokon keresztül mutatjuk be.

## EGY ÁLTALÁNOS, CLOUD-ALAPÚ SZOFTVER KERETRENDSZER VÁROSI LÉGSZENNYEZŐDÉS MODELLEZÉSÉRE

**Horváth Zoltán, Fülep Dávid, Kocsis A. Tihamér és Liszkai Bence**

*Széchenyi István Egyetem (SZE), Matematika és Számítástudomány Tanszék:*

Városok légszennyeződésének előrejelzése, különböző lehetséges esetek (például tipikus, illetve extrém időjárási, közlekedési helyzetek, a járműpark lehetséges változásai) tanulmányozása fontos feladata a közegészségügy, várostervezés, közlekedéstervezés szakembereinek, döntéshozóinak. Emellett a városlakók is szívesen informálódna a légszennyezés mértékének és más indikátoroknak a várható alakulásáról. Ezeknek a céloknak az elérésére egy pontos, gyors, könnyen kezelhető, mérési eredményeken alapuló számítógépes szimulációs rendszer, valamint ennek eredményeit bemutató könnyen kezelhető grafikus felület kidolgozása nagy haszonnal alkalmazható a fenti szereplőknek.

A fenti célok elérésére a SZE kifejlesztett egy tudományos igényű moduláris szerkezetű szoftver keretrendszert és egy ehhez kapcsolódó grafikus felhasználói felületet. A keretrendszer fentről lefelé tervezett, egységes matematikai modellből kiindulva. A különböző modulok standardizáltak, így pl. rögzített szoftverfüggetlen input-output-formátumokkal rendelkeznek. A keretrendszer tényleges működtetésére mind az előkészítő tevékenység, mind a közlekedés, az emisszió, a diszperzió és a kiértékelés moduljainak általános szerkezetét és konkrét motorjait, interfészeit is tartalmazzák. A keretrendszer egyik érdekessége, hogy benne a diszperziós modul motorjainak kiválasztásánál lehetőség van egy szabad terjesztésű, adaptív hálót használó LES-megoldón alapuló diszperziós megoldóra is. A keretrendszer egy felhő alapú számítási infrastruktúrán érhető el, moduljai konténerek alkalmazásával automatikusan telepíthetők a rendelkezésre álló hardver erőforrásra. A keretrendszerhez tartozó grafikus felület alkalmas arra, hogy a felhasználó maga építse ki saját esettanulmányait benne.

A keretrendszer fenti kidolgozása az MSO4SC H2020-as projekt (lásd <http://mso4sc.eu/>) eredménye.



## LÁTÓTÁVOLSÁG ÉS AEROSZOL RÉSZECSKÉK

**Molnár Ágnes<sup>1</sup>, Imre Kornélia<sup>1</sup>, Tóth Ádám<sup>2</sup> és Kiss Gyula<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>MTA-PE Levegőkémiai Kutatócsoport; <sup>2</sup>Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék*

A légköri szennyező anyagok mennyisége, illetve koncentrációjuk változása fontos szerepet játszik mindennapi életünkben, hatással van életminőségünkre. Emellett a levegő szennyezettsége, fizikai és kémiai állapota közvetlenül befolyásolja a látótávolságot, amely nemcsak turisztikai és tájvédelmi jelentőséggel bír, hanem a közúti- és légi közlekedésnek is fontos tényezője. Főként a tengerentúlon számos országban már régóta kutatják a látótávolság és a légszennyező anyagok koncentrációja közötti kapcsolatot, Európában – és ezen belül Magyarországon – azonban kevés ilyen irányú vizsgálat készült. A kutatók egyetértenek abban, hogy a látótávolság, amelyet rendszeresen mérnek a szinoptikus meteorológiai állomásokon, viszonylag egyszerű jelzője a levegőkörnyezet állapotának, és a látótávolságban megfigyelhető trendek elemzésével a légszennyező anyagok koncentrációjában bekövetkezett változások is nyomon követhetők.

A látótávolság a rövidhullámú sugárzásgyengítés függvénye, ami a levegő molekulák és az aeroszol részecskék együttes szórásának és elnyelésének az eredménye. Mivel a molekulák fénygyengítése gyakorlatilag állandónak tekinthető, a látótávolságot alapvetően az aeroszol részecskék extinkciója határozza meg, amely kapcsolatot az ún. Koschmieder-formula adja meg. A részecskék sugárzásgyengítő hatását alapvetően koncentrációjuk, kémiai összetételük és méret szerinti eloszlásuk határozza meg. Vizsgálatok szerint a részecskék által okozott fénygyengítésben elsősorban a finom részecskék (0,1–1  $\mu\text{m}$ ) játszanak szerepet, melyek mérete összevethető a beeső fény hullámhosszával. A finom aeroszolt nagyrészt vízben oldódó szerves és szervetlen és széntartalmú (szerves vegyületek, korom) komponensek alkotják, amelyek közül a részecskék fényszórását elsősorban a szervetlen ionok (szulfátok, nitrátok), kisebb mértékben szerves anyagok okozzák, míg az elnyelés a részecskék elemi széntartalmának (koromnak) köszönhető. Ismert tény, hogy a látótávolságot a levegő vízgőztartalma is jelentősen befolyásolja az aeroszol részecskék higroszkóposságának következtében.

Előadásunkban az aeroszol részecskék látótávolságra gyakorolt hatását mutatjuk be az aeroszol kémiai összetételének és higroszkóposságának függvényében.

# MIKROFIZIKAI, KÉMIAI ÉS DINAMIKAI MÉRÉSEK GLOBÁLISAN CSATOLT LÉGKÖRI KÉMIAI MODELLEK FEJLESZTÉSÉHEZ: A StratoClim PROJEKT

Jánosi Imre

*ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék*

A StratoClim projekt (EU FP7) célja, hogy pontosabb leírást adhassunk a troposzféra felső- és a sztratoszféra alsó részének fizikai-kémiai alapfolyamataira, majd ezeket beépítve globálisan csatolt modellekbe pedig pontosabb projekciókat kaphassunk elsősorban az ózonréteget érintő változásokra. A mérési részprojektek kiemelkedő fontosságú eszköze az orosz gyártmányú M55 Geophysica nevű kutató repülőgép (baloldali ábra), ami 20–21 km magasságban képes 3000 km-es repüléseket végrehajtani több tonna rakománnyal terhelve. 2017. augusztus 11-én sikeresen zárult a mérési kampány, melynek során az M55 összesen 8 repülést hajtott végre Katmanduból (Nepál) kiindulva. A célterület a Délkelet-Ázsiai monszun legaktívabb területe volt (a jobboldali ábrán pöttyök jelzik a monszun-terület 2011-ben mért horizontális „transzport-barrier” határvonalát), ahol jelentős kicserélődési folyamatok zajlanak a troposzféra és a sztratoszféra között. Az M55 fedélzetén összesen 25 mérőműszer szolgáltatott adatokat közel 30 léggöri paraméter értékeiről és a kémiai összetevők (köztük ritka nyomgázok) koncentrációjáról. Az előadás során röviden kitérek saját hozzájárulásunkra is, ami műholdas mérési adatok feldolgozásával segíti a fejlesztett modell eredmények validálását.



## A TALAJFELSZÍN-BIOSZFÉRA-LÉGKÖR KÖLCSÖNHATÁSOK SZEREPE A NÖVÉNYPRODUKCIÓS MODELLEZÉSBEN

**Fodor Nándor<sup>1</sup>, Pásztor László<sup>1</sup>, Horváth Ferenc<sup>2</sup>, Czúcz Bálint<sup>2</sup>, Illés Gábor<sup>3</sup> és Molnár András<sup>4</sup>**

*<sup>1</sup>MTA ATK, <sup>2</sup>MTA ÖK, <sup>3</sup>NAIK-ERTI, <sup>4</sup>AKI*

A szimulációs növénytermesztési modellek a talaj-növény rendszer főbb folyamatait dinamikusan, általában napi léptékben, írják le. A növényi fejlődés és növekedés mellett ezek a modellek a talaj nedvesség-, hő- és tápanyagforgalmát is szimulálják. A modellek ezen csoportja eredményesen használható az: (1) Oktatásban: Virtuális szántóföldi kísérletek végrehajtásával; (2) Kutatásban: Kísérletek és megfigyelések térbeli illetve időbeni kiterjesztésével; (3) Gyakorlatban: Intelligens öntözésvezérlés illetve döntéstámogató rendszerek háttérszámításainak végrehajtásával illetve jogszabályalkotás szakmai háttérének biztosításával.

A növényprodukciós modellek a klímaváltozással kapcsolatos hatástanulmányok leggyakrabban használt eszközei. Egy jelenkori talaj, meteorológiai és agrotechnikai tényadatok segítségével kalibrált modell, amennyiben klíma projekciókból származó jövőbeli adatsorokkal „hajtjuk meg” alkalmas lehet előrevetíteni a klímaváltozás agrárszektorra gyakorolt várható hatásait. Sőt, a segítségükkel olyan stratégiák dolgozhatók ki, amelyek elősegítik a mezőgazdasági termelékenység fenntartható fejlődését illetve lehetővé teszik a mezőgazdasági eredetű környezeti károk enyhítését.

Az AGRATÉR projekt során nagyfelbontású talajtani, klimatológiai és agrár-közgazdasági adatbázisokat kapcsolunk a 4M növényprodukciós modellhez és a kialakított modellezési keretrendszer segítségével sérülékenység elemzést végeztünk Magyarország területére az IPCC (2007) módszertan felhasználásával. Az ország területének minden 10×10 km-es cellájára modell szimulációk segítségével meghatároztuk a klímaváltozás várható hatását a legfontosabb kultúrnövényeinkre és minden cellát besoroltunk egy öt kategóriából álló rendszer valamely alcsoportjába (1: nagymértékű negatív hatás, ..., 5: nagymértékű pozitív hatás). A térbeli cellákra meghatároztuk az adott terület (5 fő tényezőtől (gépesítettség színvonala, öntözött területek aránya, stb.) függő) alkalmazkodó képességét és a cellákat ebben az esetben is besoroltunk egy öt kategóriából álló rendszer valamely alcsoportjába (1: igen gyenge alkalmazkodó képesség, ..., 5: nagyfokú alkalmazkodó képesség). A várható hatás és alkalmazkodó képesség adatsíkok összemetszésével meghatároztuk hazánk területén belül azokat a régiókat, amelyek a klímaváltozás tekintetében a legsérülékenyebbek és ezért kiemelt figyelmet igényelnek az alkalmazkodási stratégiák kidolgozása illetve megvalósítása során.

## SZÉL HATÁSA A SEKÉLY TAVAK HŐMÉRSÉKLETI RÉTEGZETTSÉGÉRE

**Krámer Tamás és Torma Péter**

*BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék*

A balatoni fürdőzők tapasztalhatják, hogy szélesenedes nyári napokon a mélység mentén érzékelhető különbségek alakulnak ki a vízhőmérsékletben. Kétségtelen, hogy a hazánkra jellemző sekély tavakban és tározókban a hőmérsékleti rétegzettség nyáron erős napi ingadozást követ: nappal a besugárzás hatására stabil gradiens fejlődik ki, éjszaka pedig kiegyenlítődik a függőleges hőmérséklet-eloszlás. Ehhez jön az, hogy a szél, pontosabban a szél keltette hullámozás és áramlás turbulens elkeveredéssel és advektív vízcserével jár, ami gyökeresen módosítja a vízoszlop rétegzettségének hőenergia-mérleggel számolható alakulását. A vízhőmérséklet márpedig a limnológiai folyamatok egyik meghatározó környezeti tényezője, de a hőmérséklet helyi értékén túl a rétegzettség stabilitása is lényeges, ugyanis befolyásolja a függőleges impulzuscserét.

Munkánk céljaként, e folyamatok pontosabb előrejelzése érdekében egy általános numerikus oceanográfiai modellt adaptáltunk a Balatonra.

Vizsgálatainkhoz a Balaton háromdimenziós hidrodinamikai modelljéből indultunk ki, amely a Reynolds-átlagolt Navier–Stokes egyenleteket oldja meg a kétegyenletes Mellor–Yamada turbulencia-lezárással. A tengerpartokra kifejlesztett hidrodinamikai modellek szokásosan leírják azt, hogy a szél keltette hullámok törése és tarajosodása milyen mértékben fokozza a turbulens elkeveredést. Sokat javított a modell pontosságán, amikor a standard modellt kiegészítettük a szél keltette hullámozás orbitális mozgásának fázisátlagolt hatásával is, ami a tó nagy részén az előzőeknél nemcsak erősebbnek bizonyult, de mélyebbre is hatolt. A továbbfejlesztett modell pontosságát a Keszthelyi-öbölben függőleges termisztorlánccal gyűjtött vízhőmérsékleti menetgörbékkel igazoltuk.

## **Poszter előadások**

## A HAZAI METEOROLÓGIAI MÉRŐRENDSZER ALKALMAZÁSA MEZOSKÁLÁJÚ FOLYAMATOK ANALÍZISÉBEN

**Horváth Gyula, Sebők István, Nagy Zoltán, Steib Roland és Szini Hajnalka**  
*Országos Meteorológiai Szolgálat*

A meteorológiai mezoskálájú modellek egyenletrendszerének megoldásához elengedhetetlen a pontos kezdeti feltételek meghatározása. Ennek érdekében az adatasszimiláció során minden rendelkezésre álló információt figyelembe kell venni. Az egyik ilyen adatforrás a meteorológiai mérések és megfigyelések sokasága. A modell kezdeti feltételekre való érzékenysége miatt a mérési információknak pontosnak és megbízhatónak kell lenniük. Az elvárások kielégítése érdekében az Országos Meteorológiai Szolgálat rendszeresen kalibrált, magas színvonalat képviselő meteorológiai érzékelőkkel felszerelt országos mérőhálózatot üzemeltet. A mérőrendszer kiépítésekor az egyenletes területi lefedettség illetve a telepítéskori és a várható igények minél szélesebb körű kielégítése a legfőbb kritérium.

A földfelszíni mérőrendszerek által szolgáltatott adatok térbeli és időbeli szabálytalan sokasága önmagában nem biztosít elegendő információt az időjárási modelleknek. Minden szempontot figyelembe véve a mérőállomások száma nem növelhető oly mértékben, hogy a pontszerű mérések megfelelő területi lefedettséget biztosítsanak. Emiatt az elmúlt években egyre nagyobb szerepet kaptak a távérzékelési eszközök – időjárási radarok, műholdas mérések – amelyek nagy tér- és időbeli felbontású, mezőszerű adatokat biztosítanak.

Az elmúlt években mind a meteorológiai mérés technika, mind a modellezői elvárások területén lényeges változások történtek. A modellek kezdeti feltételeit pontosítani képes új mérőeszközök jelentek meg, a távérzékelési rendszerek minősége javult, az adatok felbontása fejlődött, a kinyerhető információk száma gyarapodott. Így szükségessé vált olyan nagy pontosságú, megfelelő területi reprezentativitással rendelkező meteorológiai információ biztosítása, ami megbízható háttérrel szolgáltat az időjárási modellfejlesztéshez és a verifikációhoz. A megváltozott követelményeknek való megfelelés érdekében a jövő meteorológiai mérőhálózatát a modellfejlesztői igényeknek megfelelően kell kialakítani. A szükséges területi lefedettség és az elvárt mérési pontosság mellett a mérendő meteorológiai paraméterek meghatározásánál is figyelembe kell venni a felhasználói igényeket. A jövő kihívásainak figyelembe vételével került kialakításra a Marcell György Főobszervatóriumban egy mintaállomás, a hagyományos meteorológiai automatáktól eltérő, bővebb felszereltséggel.

## PARAMETRIZÁLT TENDENCIÁK SZTOCHASZTIKUS PERTURBÁCIÓJA ENSEMBLE ELŐREJELZÉSEKBEN

**Szűcs Mihály**

*Országos Meteorológiai Szolgálat*

A numerikus időjárás előrejelzések készítése során számos bizonytalanság jelentkezik, melyek egy része a kezdeti feltételek pontatlan meghatározásából, másik része pedig a modellek hiányosságaiból adódik. Ezek a bizonytalanságok gyorsan növekednek a légkör kaotikus jellegének köszönhetően, és hamar eluralják előrejelzéseinket. Mivel sem a kezdeti feltételek tökéletes meghatározását, sem a modellek teljesen valóságossá tételét nem tekinthetjük elérhető célnak, ezért fontos ezen bizonytalanságok meghatározása és számszerűsítése. A modern ensemble előrejelző rendszerekben modell integrálások sokaságát futtatjuk, melyekben a kezdeti feltételek és maguk a modellek is olyan módon vannak perturbálva, hogy a fent leírt bizonytalanságokat reprezentálják, és a várható időjárási események valószínűsége meghatározható legyen belőlük.

A modellekben általában a parametrizált folyamatokat tekintjük a legbizonytalanabbnak, így elsődlegesen ezeket perturbáljuk ensemble előrejelzések készítése során. A különböző perturbációs stratégiák közül az elmúlt években széles körben elterjedt az a megközelítés, miszerint az összes parametrizált folyamatból származó tendenciák összességét perturbáljuk valamilyen véletlen számmal, mielőtt a következő időlépcső értékeinek meghatározását elvégezzük. Ezt a módszert sztochasztikusan perturbált parametrizált tendenciák módszerének nevezzük, és az angol rövidítését – SPPT – használjuk.

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál 2012 óta foglalkozunk az AROME modellre épülő kísérleti nem-hidrosztatikus ensemble rendszer fejlesztésével és tesztelésével. Kutatásaink részeként kipróbáltuk az AROME modellben is elérhető SPPT sémát, melynek korlátos tartományú modellben történő alkalmazása során számos kihívás merült fel, melyek további fejlesztéseket igényeltek, különös tekintettel a séma által használt véletlen mezők meghatározására.

A poszter célja, hogy bemutassa az SPPT séma kísérleti AROME ensemble rendszerünkre gyakorolt hatását, és röviden összefoglalja a kapcsolódó kihívásokat, fejlesztési irányokat.

## SZOFTVER KONTÉNER TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSA IDŐJÁRÁSI MODELL FINOMHANGOLÁSÁRA KÜLÖNBÖZŐ PLATFORMOKON

**Vránics Dávid Ferenc<sup>1</sup>, Lovas Róbert<sup>2</sup>, Kardos Péter<sup>3</sup>, Gyöngyösi András Zénó<sup>4</sup>,  
Bottyán Zsolt<sup>5</sup> és Palik Mátyás<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola; <sup>2</sup>MTA SZTAKI; <sup>3</sup>Hungarocontrol Zrt.,  
<sup>4</sup>SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék; <sup>5</sup>Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Repülő Intézet

A korszerű szoftver konténer technológia, mint például a *Docker* egyre sikeresebben alkalmazható bonyolult informatikai rendszerek konfigurálásának megkönnyítésére. Lényege a szoftveres függőségek kezelésének beépített lehetősége, vagyis az egymásra épülő vagy együttműködő szoftverek automatikus kiszolgálása. Emellett réteges felépítésének és központi repozitórium támogatásának köszönhetően hatékony és hordozható megoldáshoz juthatunk.

Kutatásunk során a WRF időjárás modell egy bizonyos konfigurációját (egy konkrét beállítással egy adott területre és időpontra futtatható, bemeneti adatokkal is rendelkező, önálló és hordozható szoftvercsomag) helyeztük el egy *Docker* szoftver konténerben, amit különböző, heterogén architektúrájú számítógépes platformok WRF modell futtató képességének mérésére és összehasonlítására használtunk. A vizsgált rendszerek között egyaránt szerepeltek hagyományos fizikai (nem virtualizált) szerverek, asztali és hordozható személyi számítógépek, továbbá több közösségi és publikus (kereskedelmi) felhőszolgáltatást nyújtó, sokprocesszoros virtualizált számítási rendszerek.

Miután ugyanazon modell ugyanazon beállításával eredményesen sikerült felbecsülni e platformok képességét mind teljesítmény, mind költség szintjén tekintetében, a WRF modell paraméterezésével, finomhangolásával folytattuk a munkát. Először a modell parametrizációk hatását vizsgáltuk 9 különböző esetre 30 különböző parametrizációs beállítást tesztelve, így 270 futtatás eredményét tudtuk végül egységes adatbázisban összehasonlítani. Ezzel kellő számú mintából nyílt módunk viszonylag objektív módon kiválasztani azt a beállítást, amely leginkább alkalmas a modellrendszer céljaink szerinti optimális alkalmazására. A parametrizációs vizsgálatokat követően a vertikális felbontás növelésével folytattunk tesztek a konténer technológiával, melynek eredményeként a planetáris határreteg modellezés teljesítményének növeléséhez járuló költséget tudtuk hatékonyan megbecsülni, mind teljesítmény, mind költség szintjén tekintetében. A kapott eredményeket most egy repülés meteorológiai támogatórendszer fejlesztésénél hasznosítjuk, de azok szélesebb körben is alkalmazhatóak lehetnek, akár a konténer technológia létjogosultságát, akár a konkrét modellbeállítások alkalmasságát tekintve.



## SIVATAGI KONVEKTÍV HATÁRRÉTEG VIZSGÁLATA NUMERIKUS MODELL SEGÍTSÉGÉVEL

**Gyöngyösi András Zénó<sup>1</sup>, Bordás Árpád<sup>2</sup> és Weidinger Tamás<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék; <sup>2</sup>ELTE Meteorológiai Tanszék*

A légköri sekély konvekció egyik legtisztább és legnagyobb fejlettségű megjelenési formája a sivatagok nappali konvektív határrétegében megjelenő termikus cirkuláció. A jelenség nemcsak a sivatagokban, hanem szárazság idején akár a mérsékelt égövben is döntő szerepet játszik az időjárás napi menetében, hiszen nagymértékben meghatározza a nappali, konvektív planetáris határréteg szerkezetét, kiterjedését, menetét és a vertikális tulajdonság-profilok alakját. A légköri határréteg alakulását a termikus folyamatok mellett általában a nagy skálájú folyamatok (advekciónak, leszüremkedésnek), sugárzási (például az ásványi eredetű por sugárzásmódosító hatása) és mikrofizikai (*Cu hum* kialakulás) hatások is befolyásolják, ezért ritkán nyílik lehetőség arra, hogy az egyéb befolyásoló körülményektől mentes, tiszta termikus konvekció menetét mérési adatokkal vizsgálhassuk. Földünk legnagyobb kiterjedésű zonális sivataga, az adatszegény Sahara mélyén 2011-ben folytatott mérési kampány részletgazdag adatai lehetőséget adnak a meteorológiai modellek verifikációjára ezen a területen is. Háromdimenziós modell vizsgálatokkal alkalmunk nyílik az egyes parametrizációs sémák tesztelésére és verifikálására. Többszörösen beágyazott, nagy felbontású numerikus teszteket hajtottunk végre a WRF meteorológiai modell segítségével, melynek során a konvektív planetáris határréteg háromdimenziós szerkezetét vizsgáltuk különböző PBL sémák alkalmazásával a Sahara felett.

## A KÖD GYAKORISÁGÁNAK ÉS EGYÉB JELLEMZŐINEK ALAKULÁSA AZ ELMÚLT 60 ÉVBEN MAGYARORSZÁGON

**Cséplő Anikó<sup>1</sup>, Lemler Tünde<sup>2</sup>, Geresdi István<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem, Földrajzi Intézet; <sup>2</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat*

A köd jelenléte általában a közlekedésben okozhat kisebb-nagyobb problémát. Mivel a köd kialakulása szempontjából kedvező légköri feltételek a szennyező anyagok koncentrációjának növekedését is elősegítik, a köd gyakran jár együtt az emberi egészségre veszélyes szennyező anyagok koncentrációjának növekedésével. A ködöt a kialakulását döntően meghatározó folyamatok alapján csoportosítjuk (pl.: sugárzási, advekción köd). A köd fontos jellemzője a horizontális látótávolság csökkenésének a mértéke (ez döntően a ködöt alkotó vízcseppek koncentrációjától és méretétől függ), valamint a ködös periódus időtartama és a köd térbeli kiterjedésének nagysága. A köd kialakulását és megszűnését mezo- és mikroskálájú meteorológiai folyamatok is befolyásolják. A köd magyarországi klimatológiájával kevesen foglalkoztak, és az általunk talált publikációk jellemzően az elmúlt század '60-as – '70-es éveiben születtek. A szerzők foglalkoztak a repülőterek adatsorainak elemzésével, azzal a céllal, hogy növeljék a repülés biztonságát. Emellett Budapest és Kalocsa ködviszonyainak az 1900–1960-as évek közötti mérési adatok alapján történt összehasonlító elemzéséről is született egy tanulmány. Publikáltak eredményeket a makroszinoptikus helyzetek és a köd kialakulása közötti összefüggésről, valamint a légszennyezettség és köd közötti korrelációról.

Tanulmányunkban elsősorban a ködös helyzetek hosszú távú adatsorainak elemzésével foglalkozunk. A mintegy 60 évre visszanyúló adatsorok vizsgálatával választ keresünk arra a kérdésre, hogy az elmúlt évszázad '50-es évei óta eltelt időszak alatt történt-e változás a ködös helyzetek gyakoriságában, időtartamában, kiterjedésében, valamint a látástávolságban. A statisztikai elemzésen túl kiválasztunk egy-egy ködös periódust, melyek esetében részletesen elemezzük a kialakulás és a megszűnés körülményeit.

## MIKROKLÍMA MODELLEZÉS A VÁROSI KÖZTERÜLETTERVEZÉS SZOLGÁLATÁBAN

**Kántor Noémi<sup>1</sup>, Gulyás Ágnes<sup>1</sup> és Gál Csilla Viktória<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék; <sup>2</sup>Dalarna University, Svédország*

Európa lakosságának mintegy kétharmada már most is városi környezetben él, s a városi populáció aránya 2050-re várhatóan 80% fölé fog emelkedni. Mivel a városokra jellemző többlet hőmennyiség, valamint a városok csökkent átszellőzési képessége tovább súlyosbítják a klímaváltozással járó hőmérsékletemelkedést, a – várhatóan egyre gyakoribbá, hosszabbá és intenzívebbé váló – hőhullámok hatásai különösen a városlakók egészségét veszélyeztetik. Ennél fogva a nyári hőség káros következményeinek megelőzése a várostervezés egyik kiemelt feladata. A természet-alapú megoldások (Nature-Based Solutions, NBS) egy újonnan bevezetett fogalom a környezetkutatás és környezetgazdálkodás területén, mely a klímaváltozással járó kihívások kezelésére természetes tényezőket, illetve folyamatokat ajánl. Ebben a tanulmányban – a négyéves Nature4Cities projekt keretein belül – a fás vegetáció hőstressz-mérséklő kapacitását vettük górcső alá egyrészt terepi mérések, másrészt numerikus szimulációk segítségével.

A léghőmérséklet korántsem az egyedüli paraméter az emberi szervezet hőháztartása szempontjából. Sőt, számos humán-biometeorológiai tanulmány rámutatott már a sugárzási viszonyok vezető szerepére a nyári hőterhelés kialakulásában. Éppen ezért tanulmányunkban a biometeorológiai vizsgálatok kulcsparaméterére, az átlagos sugárzási hőmérsékletre (Mean Radiant Temperature,  $T_{mrt}$ ), illetve ennek a fás vegetáció általi mérséklésére helyeztük a hangsúlyt.

Tanulmányunk első részében három, a város-biometeorológia területén gyakran alkalmazott mikroklíma modellt (RayMan, ENVI-met, SOLWEIG) hasonlítottunk össze a tekintetben, hogy mennyire képesek a  $T_{mrt}$  valós értékeinek szimulálására. A modellellenőrzéshez egy derült égboltviszonyokkal jellemezhető késő nyári nap humán-biometeorológiai mérősorozatának adatait használtuk fel. A 26-órás mérés során a szegedi Bartók Béla tér öt különböző pontján rögzítettük a rövid-, és hosszuhullámú sugárzási mérleg komponenseket, hogy azokból a leghitelesebb biometeorológiai eljárás szerint  $T_{mrt}$ -t számoljunk. A három mikroklíma-modell közül a SOLWEIG szolgáltatta a leghitelesebb eredményeket, így később ezt a modellt használtuk arra, hogy összehasonlítsuk különféle fásítási scénáriók hőstressz-mérséklő hatását – ugyancsak a szegedi Bartók Béla téri mintaterületen. A szimulációk alapján a lombkorona transzmisszivitásának (sugárzásáteresztő képességének) változtatása kisebb, míg azonos korona-térfogat mellett a lombkorona méretének (több kis fa vs. kevesebb nagyobb fa), valamint a fák területen belüli elrendezésének változtatása (egyenletesen vs. csak az épülethomlokzatok mentén ültetett fák) jelentősebb  $T_{mrt}$  módosítást eredményezett.

## SZENNYEZŐANYAG- ÉS IMPULZUS-TRANSZPORT VÁROSI HATÁRRÉTEGBEN

**Kristóf Gergely és Füle Péter**

*BME Áramlástan Tanszék*

Az épületek és más tereptárgyak alakja és elrendezése jelentősen befolyásolja a városi határréteg impulzus- és anyagtranszport folyamatait. Modellünkben a városi beépítést kétirányú (gömbi) periodicitással rendelkező geometriai struktúrának tekintjük. A periodikus modell alapján meghatározzuk a különféle beépítési módokra jellemző transzport-tényezőket, és adott területen azonos hasznos épülettérfogatot feltételezve keressük az átszellőzés szempontjából kedvező beépítési módokat. *(Bővebb leírás található az azonos című előadás összefoglalójában.)*

## A BIOSZFÉRA ÉS A LÉGKÖR KÖZÖTTI DINITROGÉN-OXID FORGALOM MEGHATÁROZÁSA MAGAS MÉRŐTORNYOS EDDY-KOVARIANCIA MÉRÉSTECHNIKÁVAL

**Haszpra László<sup>1,2</sup>, Hidy Dóra<sup>3</sup> és Barcza Zoltán<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Országos Meteorológiai Szolgálat;* <sup>2</sup>*MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont;*

<sup>3</sup>*ELTE Meteorológiai Tanszék*

Az emberi tevékenység által befolyásolt egyik legfontosabb légköri üvegházhatású gáz a dinitrogén-oxid (N<sub>2</sub>O), de kibocsátását jelenleg csak nagy bizonytalansággal tudjuk becsülni. A dinitrogén-oxid fő antropogén forrása a mezőgazdaság, illetve a talajban zajló, a környezeti tényezőktől függő és az emberi tevékenység által befolyásolt mikrobiológiai folyamatok. 2015 nyarán a vegyes mezőgazdasági területek által övezett hegyhátsági üvegházgáz-megfigyelő állomáson eddy-kovariancia méréstechnikán alapuló mikrometeorológiai mérőrendszert helyeztünk üzembe, amely képes a felszín, a bioszféra és a légkör közötti dinitrogén-oxid áramlás folyamatos nyomon követésére. A mérőtornyon 82 m-es magasságban elhelyezett mérőrendszer a környező mintegy 100 km<sup>2</sup>-nyi vegyes, Magyarország jelentős részére jellemző összetételű mezőgazdasági terület integrált dinitrogén-oxid kibocsátásáról szolgáltat folyamatosan adatokat. A mért környezeti és dinitrogén-oxid forgalmi adatok felhasználásával olyan biogeokémiai modellt dolgozunk ki, amely a talajban zajló kémiai és mikrobiológiai folyamatok szimulálása révén képes a dinitrogén-oxid kibocsátást a környezeti tényezők függvényében becsülni, és így alkalmas az éghajlatváltozásnak a kibocsátásra gyakorolt hatását is meghatározni. Az anyagforgalom megfigyelése mellett a mérőrendszer adatokat szolgáltat a dinitrogén-oxid légköri koncentrációjának alakulásáról is.

A poszter a mérőrendszert és a mérési program első két évének eredményeit mutatja be. A légköri dinitrogén-oxid koncentráció ebben az időszakban 0,91 nmol/mol/év-es ütemben emelkedett, összhangban a globális átlaggal (0,89 nmol/mol/év). A mérőrendszer által reprezentált terület a teljes mérési időszak átlagában 350 mg dinitrogén-oxidot juttatott a levegőbe négyzetméterenként évente. A még fejlesztés alatt álló modell jól szimulálja a környezeti változókban (pl. hőmérséklet, talajnedvesség stb.) bekövetkező változások kibocsátásra gyakorolt hatását.

# ÉJSZAKAI ÉGBOLT KAMERA FELVÉTELEK ÉS SZIMULÁLT ÉGKÉPEK. A FÉNYSZENNYEZÉS MÉRÉSÉVEL ÉS MODELLEZÉSÉVEL ÖSSZEFÜGGŐ METEOROLÓGIAI ALKALMAZÁSOK

**Kolláth Kornél<sup>1</sup> és Kolláth Zoltán Sámuel<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat; <sup>2</sup>ELTE Savaria Egyetemi Központ, Fizika Intézeti Tanszék*

Az égbolt kamerák használata elterjedőben van a meteorológiai megfigyelésben és kutatásban. A jelenlegi gyakorlatban jellemzően nappali fényviszonyok melletti alkalmazásokat találunk. Az olcsó távérzékelési eszközökként is „bevethető” digitális fényképezőgépek, webkamerák fejlődése ugyanakkor új, eddig kiaknázatlan lehetőségeket rejt, különösen igaz ez éjszaka, mivel a szenzorok érzékenysége korábban csak nagyon korlátozott képminőséget engedett meg.

A légkörben, azon belül a felhő és aeroszol részecskéken szóródó mesterséges települési fények alapvetően befolyásolják az éjszakai égbolt látványát. A kamera felvételek értékeléséből következtethetünk a felhőzet bizonyos paramétereire és az aeroszol profil jellegére is. A tiszta légköri viszonyok melletti fényszennyezés felmérések és a fényterjedés modellezése támogatja a kamera felvételek megfelelő értékelését. Kiemelten a felhőalap magasság meghatározásának problémakörét mutatjuk be. (A felhőalap magasságának égboltkamera felvételeken alapuló számítására találunk létező megoldásokat. Ezek többsége azonban a felhőzet struktúrájának kontrasztjain alapul és elsősorban a nappali órákra optimalizált a működésük.)

Az éjszakai periódusban egy új eljárást javasolunk a felhőalap meghatározására. A technika a repülőtereken korábban használt felhőfényoszórók elvén és égbolt kamera felvételek feldolgozásán alapul. Demonstráljuk, hogy a fényszennyezés, a mesterséges fények fölfelé irányuló része passzív felhőfényoszóróként szolgálhat. Kiterjedt, homogén Stratus, Stratocumulus stratiformis felhőzet és megfelelő látástávolság esetén a környező fényszennyezés, mint fényforrás alapján, a képek feldolgozásával számítható a felhőalap magassága.

A módszer az NWP modellek előrejelzett felhőzet, felhőalap magasság, aeroszol tartalom egyedi esetekben történő validálásában is szerephez juthat. Ekkor a modellek hidrometeor és aeroszol eloszlása alapján szimulált és a valós égképek összehasonlítása jelenthet új perspektívát. Várakozásunk szerint a jövőben az égbolt kamerák az operatív megfigyelési gyakorlatban is kiegészíthetik az egyéb elérhető távérzékelési eszközöket.

## A MEZO- ÉS MIKROMETEOROLÓGIA OKTATÁSA AZ ELTE METEOROLÓGUS MSC KÉPZÉSÉBEN

**Weidinger Tamás<sup>1</sup>, Tasnádi Péter<sup>1</sup> Horváth Ákos<sup>2</sup> és Ács Ferenc<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ELTE Meteorológiai Tanszék; <sup>2</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat

A légköri folyamatok nagyságrendi osztályozása (Orlanski-féle skála) kijelöli a dinamikus meteorológia fő témaköreit, ezek a klímadinamika, a nagyskálájú, vagy szinoptikus meteorológiai folyamatok, valamint a mezo- és mikroskálájú folyamatok. A *Dinamikus meteorológia* hazai oktatásában a nagyskálájú folyamatok (ciklonok, anticiklonok, légköri hullámmozgások, instabilitások, stb.) leírásán van a hangsúly, de szerepel a tananyagban a légköri turbulencia, és a határréteg elmélet is. Külön tárgy foglalkozik a *légköri energetikával*.

A *Mezoszinoptika* keretében a mezo-skálájú folyamatok nagyságrendi analízise és a skálán jelentkező instabilitási formák elemzése után sorra vesszük a skála jellemző folyamatait: a parti és városi cirkulációt, az orográfia keltette áramlásokat és a lejtő viharokat, valamint az alacsony szintű jet-streamek kialakulását. A tárgy fő fejezete a légköri konvekció, amelyet a termikektől a zivatarrendszereken és szupercellákon keresztül a trópusi ciklonokig követünk. Ugyancsak szóba kerülnek a mérsékelt övi ciklonok mezoszinoptikai sajátosságai is.

Külön tárgyként szerepel a *Felszín-légkör kölcsönhatások*. Itt kiemelkedő szerepet kap a felszíni energiaháztartás komponensek leírása, a Monin–Obukhov-féle hasonlósági elmélet bemutatása. Részletesen foglalkozunk a különböző felszínnek vízháztartásával, a víz mozgásával a talajban és a párolgás modellezésével. Speciális kollégiumok keretében ismerkedhetnek meg a hallgatók a *Mikrometeorológia* és a *Határréteg meteorológia* klasszikus fejezeteivel. E kurzusok S. Paul Arya, Alfred K. Blackadar, Thomas Foken és Roland Stull klasszikus munkáira épülnek. A *Levegőkémia* tárgyban szerepel a turbulens kicserélődés, a száraz és a nedves ülepedés modellezése. A mikrometeorológiai folyamatok parametrizációs eljárásainak megismerése fontos része a *Numerikus prognosztika* oktatásának.

A poszteren bemutatjuk az egyes tantárgyi tematikák főbb jellemzőit, kitérünk a hazai és külföldi oktatási tematikák, hallgatói feladatok és a számonkérés módszereinek az összehasonlítására.







DOI: 10.21404/43.MTN.2017

ISBN 978-963-9931-14-5

Kiadja az Országos Meteorológiai Szolgálat  
Szerkesztette: Geresdi István, Ács Ferenc, Szintai Balázs és Weidinger Tamás  
*Kiadásért felel: Radics Kornélia, az OMSZ elnöke*

Készült 100 példányban  
Budapest – 2017