

# A RÉSZLETES MIKROFIZIKAI SÉMA ALKALMAZÁSA A CSAPADÉKKÉMIAI FOLYAMATOK MODELLEZÉSÉBEN

## APPLICATION OF DETAILED BIN MICROPHYSICS SCHEME IN MODELING CLOUD CHEMISTRY PROCESSES

Schmeller Gabriella\*, Sarkadi Noémi

Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajzi Intézet, Földtani és Meteorológiai Tanszék  
7624 Pécs, Ifjúság u. 6., \*schg@gamma.ttk.pte.hu

**Összefoglalás.** A légköri folyamatok vizsgálatának egy lehetséges módja a numerikus modellezés. A számítógépek teljesítményének növekedésével a felhőkben lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok egyre pontosabb leírása válik lehetővé. Az operatív gyakorlatban és a kutatásban számos sémát alkalmaznak a csapadékképződési folyamatok modellezésére. A kutatásunkban mi az ún. részletes mikrofizikai sémát alkalmazzuk, amely lehetővé teszi, hogy a folyamatoknak a részecskék méretétől való függését (pl. esési sebesség, ütközés) pontosabban tudjuk figyelembe venni. Tanulmányunkban a részletes fizikai és kémia sémák alkalmazását egy példán keresztül szemlélítjük. Bemutatjuk, hogy a vízcseppekben lejátszódó kémiai folyamatok milyen módon befolyásolják az aeroszol részecskék tömegét.

**Abstract.** Numerical modeling offers a good opportunity to investigate the atmospheric processes. The increasing capacity of the computers has allowed the researchers a more accurate description and simulation of physical and chemical processes in clouds. Several different microphysical schemes are applied in the operational weather forecast models and in research applied models as well. In our research a detailed microphysical scheme has been used to describe the size dependence of the different processes (e.g. fall out, collision-coalescence) more accurately. In this study the results about the detailed microphysical and chemical scheme are presented. It is demonstrated how the chemical reactions inside the water drops affect the mass of the aerosol particles.

**Bevezetés.** A légkörben lejátszódó folyamatok pontos szimulációja sok esetben komoly nehézségeket okoz. A problémát alapvetően az a tény jelenti, hogy a légköri folyamatok térben és időben igen széles skálán játszódnak le (Geresdi, 2004). A számos példa közül a konvektív folyamatok modellezése az egyik legszemléletesebb. Ebben az esetben a felhőkben lejátszódó dinamikai folyamatok (perc nagyságrendnyi idő és méter nagyságrendnyi tér skála) és a felhőkben lejátszódó mikrofizikai folyamatok (másodperc nagyságrendnyi idő és mikrométer nagyságrendnyi tér skála) közötti szoros kölcsönhatás meghatározó a felhőzet és a csapadék kialakulása, valamint a felhőt alkotó vízcseppek és jégkristályok további fejlődése – növekedése – szempontjából is. Az ilyen komplex mechanizmusok teljes körű laboratóriumi mérése, vagy direkt megfigyelése nem lehetséges. A XX. század végétől a légkörben lejátszódó folyamatok pontosabb megértését, megismerését nagymértékben elősegítette a numerikus modellek rohamos fejlődése. A számítógépes modellezés előnye, hogy benne a folyamatok jól reprodukálhatóan vizsgálhatók, de a módszer alkalmazásának határt szab a számítógépek teljesítménye.

**A részletes mikrofizikai modellek.** A legtöbb esetben – az operatíván alkalmazott modellek mindegyikében – a részecskék méret szerinti eloszlását a részecske típusától függően, egy folytonos, integrálható függvénnyel közelítik, és ez alapján számítják ki a megfelelő prognosztikai változókat, mint például a keverési arányt, vagy a koncentrációt (bulk séma). Bár ez a fajta megközelítés a modell-futás számítási igényét tekintve előnyös, sajnos a valós fizikai folyamatok előrejelzését tekintve nagymértékű pontatlanságot eredményezhet. A pontatlanság egyik oka éppen az, hogy ebben az esetben a mérettől függő tulajdonságok meghatározására csak közelítő módszerek állnak rendelkezésre. Például a legtöbb operatíván alkalmazott modellben a csapadékelemek esési sebességét az ún.

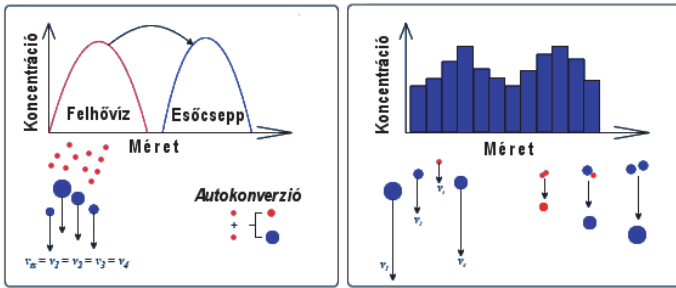
tömegsúlyozott átlaggal határozzák meg, azaz feltételezik, hogy pl. minden egyes esőcsepp, mérettől függetlenül ugyanakkora sebességgel esik. Ez a közelítés rendszerint a csapadékképződés jelentős felülbecslését eredményezheti. Egy másik, az alkalmazott séma választására érzékeny folyamat az úgy nevezett autokonverzió (1.a ábra). Autokonverzió alatt két azonos kategóriába tartozó részecske (pl. vízcsepp vízcseppel, vagy jégkristály jégkristállal) közötti ütközést értjük.

A még csak kutatási célra használt részletes mikrofizikai modellek (detailed microphysics vagy más néven bin séma) nagy előnye, hogy nincs szükség semmilyen feltételezésre a felhőt alkotó részecskék méret szerinti eloszlását leíró függvényt illetően. A részecskék koncentrációját adott számú méret intervallumban számolják ki, amelyekből összeadódik a teljes méret szerinti eloszlás (1.b ábra). Ennek következtében a részletes leírás segítségével a légkörben található felhő- és csapadékelemek, aeroszol részecskék karakterisztikus tulajdonságainak, – mint például az esési sebesség, olvadás, vízben való oldhatóság – mérettől való függését figyelembe tudjuk venni.

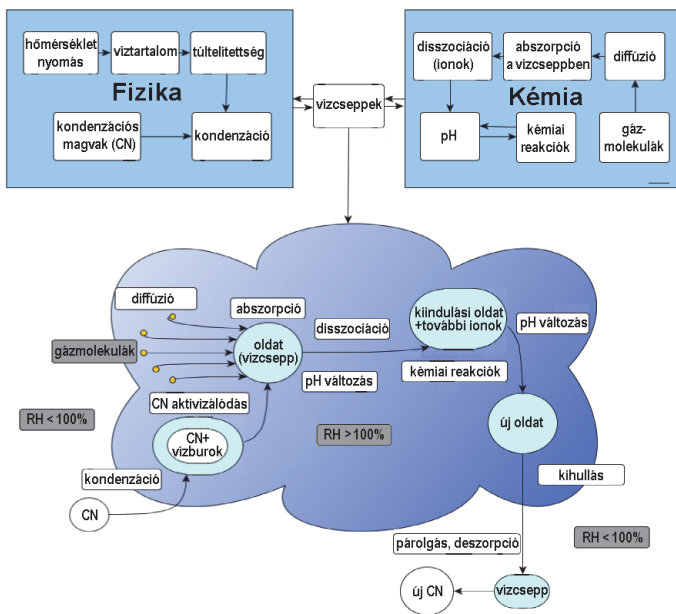
**Alkalmazási területei.** A bin séma – mint az az előzőekből is kiténik – széles körűen alkalmazható a légkörben lejátszódó mikrofizikai folyamatok leírására. A módszer hátránya, hogy még a legmodernebb számítógépek sem képesek olyan gyorsan számolni, hogy a módszer az operatív előrejelzésben alkalmazható legyen.

A bin sémák egyik alapvető alkalmazási területe a csapadékképződési folyamatok vizsgálata (Geresdi et al., 2014; Sarkadi et al., 2016). Ez a modell típus lehetővé teszi olyan folyamatok pontos leírását, mint a szilárd halmazállapotú csapadékelemek mérettől függő olvadása, vagy a túlhűlt vízcseppek és hópelyhek ütközése során bekövetkező zúzmarásodás. Ez utóbbi folyamattal összefüggésben érdemes megjegyezni, hogy míg a zúzmarásodás folyamata alapvetően nincs hatással a felszí-

nen akumulálódott teljes csapadékmennyiségre, addig jelentős mértékben befolyásolja annak területi eloszlását. Emellett a részletes mikrofizikai leírás során lehetővé válik az olvadási sebesség mérettől függő számítása, amely



1. ábra: Az operatív („bulk”) mikrofizikai leírás (a) és a részletes („bin”) mikrofizikai leírás (b) közötti alapvető különbség sematikus képe



2. ábra: A modellezés során figyelembe vett folyamatok sematikus képe. A relatív páratartalom növekedésével a kondenzációs magvakon kialakul egy vízcsepp, megkezdődik a szilárd aeroszol részecske oldódása. Ezen nedves aeroszol részecskék mérete tovább növekszik a vízgőz kondenzációjával, és vízcseppek alakulnak ki. A légrétegben található gázmolekulák abszorpció révén jutnak a vízcseppek belsejébe. A kialakuló oldatban disszociálnak, és módosítják a vízcsepp pH-ját. Az oldat kémiai összetétele kémiai reakciók következtében változik. Az oldatcsepp a kondenzációs folyamatok és a vízcseppek egymás közötti ütközése során tovább növekszik, és elkezdi kihullani a felhőből. A felhőből kieső vízcsepp párologni kezd, és deszorbeálja a gázmolekulákat. A vízcsepp teljes elpárolgását követően az oldatban található szulfát és ammónium ionokból szilárd halmazállapotú ammónium-szulfát részecske keletkezik.

pontosabbá teszi a felszíni csapadék halmazállapotának és mennyiségének előrejelzését. A modell eredmények mérésekkel való összevetése alapján elmondható, hogy a modell megfelelően volt képes leírni a szilárd halmazállapotú csapadékelemek olvadási folyamatait, és pontosabb eredményt szolgáltatott, mint egy operatív alkalmasított bulk leírás (Sarkadi et al., 2016).

A sémát széles körben alkalmazzák a felhő-aeroszol kölcsönhatások vizsgálata során is (Xue et al., 2011). Megmutatták, hogy a felhőkben lejátszódó mikrofizikai fo-

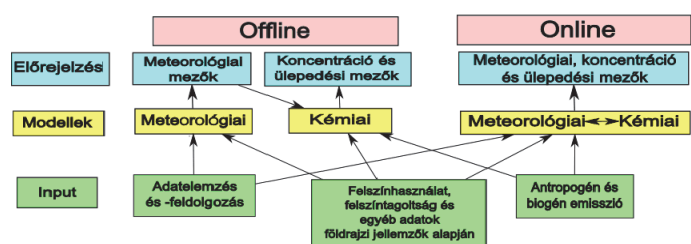
lyamatok (vízcseppek ütközése, a jégkristályok zúzmarsodása és az olvadási folyamatok) jelentősen befolyásolják az aeroszol részecskék kémiai és fizikai jellemzőit (pl. vízben oldódó rész aránya, méret szerinti eloszlás). Azaz a vízcseppek teljes elpárolgását követően kialakuló aeroszol részecskék jellemzői mások lesznek, mint azoké a részecskéké, amelyeken a vízcseppek kialakultak. A felhőkben lejátszódó folyamatok modellezését tekintve viszonylag rövid múltra tekint vissza a kémiai folyamatok vizsgálata (Walcek et al., 1984). Mivel mikrofizikai modellekről számos tanulmány olvasható a szakirodalomban, jelen cikkben bővebben a csapadékkémiai vizsgálatokkal foglalkozunk.

**A csapadék kémiai tulajdonságainak vizsgálata.** A csapadékkémiai folyamatok tanulmányozásához elengedhetetlen a különböző légköri gázok vízben való oldhatóságának figyelembe vétele. A vízcseppek kondenzációs magvakon történő kialakulását követően folyamatosan zajlik a környező légköri gázok vízben való elnyelődése. Az eltérő dinamikai és mikrofizikai jellemzők (pl. hőmérsékleti profil, feláramlási sebesség, kondenzációs magvak koncentrációja), valamint a légrétegben található nyomgázok változó koncentrációja következtében a felhők különböző csapadékkémiai tulajdonságokkal rendelkeznek. Emiatt a kémiai folyamatok modellezésekor törekedni kell arra, hogy a mikrofizikai folyamatokat is minél pontosabban írjuk le, és hogy figyelembe vegyük a fizikai és a kémiai folyamatok közötti kölcsönhatást. A vízcseppekbe abszorbeálódott gázok kémiai tulajdonságaiknak (pl. Henry-állandó, disszociációs állandó) megfelelően oldódnak és ionjaikra disszociálnak. Az oldódás során az oldat pH értéke megváltozik, amely hatással van a jelenlévő légköri gázok további oldhatóságára és a vízcseppekben lejátszódó kémiai reakciókra. A kialakuló vízcseppek attól függően, hogy milyen fizikai körülmények uralkodnak a légrétegben, a felhőből való kijutás után kihullhatnak a felszínre, vagy esés közben teljesen elpárolghatnak, mielőtt elérnék a felszínt (2. ábra). A vízcsepp teljes elpárolgása esetén az oldott gázok eltávoznak a légrétegbe, míg az aeroszolt képző ionok, pl. ammónium- és szulfátionok reakciójával szilárd halmazállapotú ammónium-szulfát részecskék képződhetnek. Így az elpárolgás után kialakuló aeroszol-részecskék tömege a kiindulási tömeghez képest nagyobb lesz. A tömegnövekedést a vízcseppben lejátszódó oxidációs folyamatok (pl. az oldott kénformáknak az ózon, vagy a hidrogén-peroxid általi oxidációja) okozzák. Ez a tömegnövekedés a cseppmérettől és a gázok légköri koncentrációjától függően jelentős is lehet (Schmeller és Geresdi, 2017).

A csapadékelemek kémiai és mikrofizikai tulajdonságainak leírására, a légrétegben és a vízcseppekben lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok együttes modellezésére számos eljárás létezik. A fizikai és a kémiai folyamatok közötti kölcsönhatás jellege alapján megkülönböztetnek úgy nevezett „online”- és „offline coupled” modelleket (Baklanov et al., 2014; 3. ábra). Az „online coupled” modellek segítségével nemcsak a légkörfizikai folyamatoknak a levegőminőségre gyakorolt hatását, hanem a levegő összetételének az időjárásra gyakorolt lehetséges

hatásait vizsgálhatjuk, jelezhetjük előre. Ezt a megközelítés típust egyre gyakrabban használják az éghajlati modellekben. Kétféle változat létezik: online integrált és online hozzáférési összekapcsolt modellek. Az online integrált modellek a meteorológiai és kémiai folyamatokat ugyanazon modellben, ugyanazon rács rendszeren (grid-en) számolják. Az online hozzáférési összekapcsolt modellek egymástól független meteorológiai és kémiai modulokat használnak, amelyek akár eltérő rácsrendszerrel is rendelkezhetnek. A meteorológiai és légkörkémi modul által számolt adatok cseréje nem történik meg minden egyes időlépésnél. Az online hozzáférési összekapcsolt modellekkel ellentétben, az offline modellekben nincs lehetőség a levegőkémia és légkörfizikai folyamatok közötti kölcsönhatás tanulmányozására. Ebben az esetben a meteorológiai modul által előzetesen kiszámított adatokat (pl. szélesség, hőmérséklet, stb.) használják fel akár a szennyező anyagok terjedésének, akár a légkörben lejátszódó kémiai folyamatoknak a szimulálására.

**Stratocumulus felhőben lejátszódó csapadékképződési folyamatok numerikus modellezése.** Kétdimenziós modell segítségével vizsgáltuk a kén-dioxid (kezdeti ke-

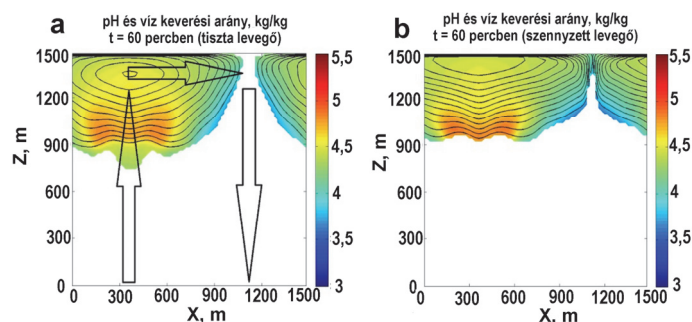


3. ábra: A levegő minőségének és az időjárás előrejelzésére használt meteorológiai és kémiai modellek felépítése az "offline" (balra) és az "online coupled" (jobbra) szimulációk esetén. (Baklanov et al., 2014)

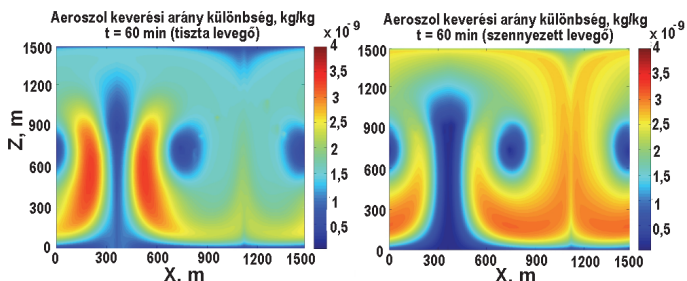
verési arány: 1 ppbv), az ammónia (kezdeti keverési arány: 0,1 ppbv), a szén-dioxid (kezdeti keverési arány: 380 ppmv), az ózon (kezdeti keverési arány: 40 ppbv), illetve a hidrogén-peroxid (kezdeti keverési arány: 1 ppbv) elnyelődését, továbbá azt, hogy a szulfátképződés hogyan megy végbe egy stratocumulus felhőben. A számításokat egy 1,5 km × 1,5 km kiterjedésű tartományban végeztük el. Az oldalsó határokon periodikus határfeltételt használtunk. A kialakult felhőzet kontúrja a 4. ábrán látható. A jellemző áramlási irányokat a 4.a ábrán látható nyilak jelzik. A fel-, és leáramlás sebesség maximuma kb. 1, illetve -1 ms<sup>-1</sup>. A vizsgálatok során a kémiai reakciók leírására részletes mikrofizikai sémát alkalmaztunk (Geresdi és Rasmussen, 2005). A cseppek méret szerinti eloszlását a 0,01 μm – 5 mm méret tartományban 55 binre (méretintervallumra), a száraz aeroszol részecskék méret szerinti eloszlását a 0,01 μm – 10,0 μm méret tartományban 36 binre osztottuk, minden méretintervallumban kiszámításra kerül a vízcseppek koncentrációja és keverési aránya, valamint a vízcseppekben oldott állapotban lévő aeroszol részecskék tömege. A számítások során mindezek mellett nyomon követjük a cseppekben lévő oldott gázok mennyiségét is, továbbá az oxidáció során keletkező szulfát tömegét.

A felhőzet struktúráját lényegesen befolyásolja az aeroszol részecskék koncentrációja. Míg a tiszta, óceáni légtömegre jellemző, kisebb aeroszol koncentráció esetén ( $N_a = 100 \text{ cm}^{-3}$ ) a leáramlási tartomány részben felhőmentes (4.a ábra), addig a szennyezettebb, kontinentális levegő ( $N_a = 250 \text{ cm}^{-3}$ ) esetén majdnem összefüggő felhőzet alakul ki (4.b ábra). Számításaink során az oxidáló reagensek közül a hidrogén-peroxid, illetve az ózon hatását vettük figyelembe. Az oxidáció során a kezdetben 4-es oxidációs állapotú kénformából ( $\text{HSO}_3^-$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ) 6-os oxidációs állapotú kénformák ( $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) keletkeznek, amelyek hozzájárulnak az oldat pH-jának csökkenéséhez. A 4. ábrán jól látható, hogy a felhő különböző régióiban eltérő a vízcseppek pH-ja. A vízcseppek pH-jának alakulása a következőképpen magyarázható:

A felhőalap közelében (kb. 900 m) az aeroszol részecskéken megindul a kondenzáció, de a kialakult vízcseppek még kisméretűek, a gázok abszorpciója éppen, hogy csak megkezdődött, ezért a pH-juk magasabb a felhő többi régiójához képest. A magasabb pH az ammónia nagymértékű oldódásával is magyarázható. A kémiai reakciók megindulásával folyamatosan „fogy” a vízben oldott kén-dioxid, és alakul át szulfáttá, amelyek tovább csökkentik a pH-t. A cseppek a kondenzáció során tovább növekednek, több savas kémhatású gáz képes oldódni, amelyek pH csökkentő hatását az ammónia már nem tudja jelentős mértékben kompenzálni, így az oldat



4. ábra: A pH és a víz keverési arányának ábrázolása a vertikális és horizontális távolság függvényében, tiszta (a) és szennyezett (b) levegőben. A kontúrvonalak (fekete vonalak) a vízcseppek keverési arányát mutatják, legkisebb értéke  $10^{-4} \text{ kg/kg}$ , a növekmény  $0.5 \cdot 10^{-4} \text{ kg/kg}$ . A színskála a vízcseppek pH-ját mutatja. A fekete nyilak a levegő áramlásának irányát jelölik.



5. ábra: Az aeroszol produkció térbeli eloszlása tiszta (a) és szennyezett (b) levegő esetében. A színskála a kontroll és a kémiai folyamatok modellezésével kapott aeroszol keverési arányok különbségét mutatja a számítások végén, a  $t = 3600 \text{ sec}$ -ban.

pH-ja csökken. A legalacsonyabb pH értékek a leáramlási zónában tapasztalhatóak, ahol a cseppek esés közben elkezdnek párologni, és az oldat egyre töményebbé válik. Az 5. ábra azt mutatja, hogy a kontroll (a kémia folyamatok figyelembevétele nélkül készített számítások)

szimulációhoz képest mennyivel változott az egy-egy rácspontra található aeroszol koncentráció a számítások befejezésekor ( $t = 3600$  sec.) A kontroll esetben az egyes rácsponthoz rendelt mennyiség a levegőben lévő száraz aeroszol és a vízben oldott aeroszol tömegének összege. A kémiai folyamatok modellezése esetén az oxidáció következtében képződő szulfátionok tömege, valamint az oldott állapotban lévő ammónia tömege hozzáadódik a levegőben lévő száraz aeroszol és a vízben oldott aeroszol tömegéhez. A kontroll és kémiai reakciókkal számolt esetek különbsége adja az aeroszol termelését. A különbséget részben a vízcseppekben található, abszorbeált ammónia és az oxidáció során keletkező szulfát tömegével, részben az elpárolgó vízcseppek után visszamaradt, megnövekedett, száraz aeroszol tömeggel magyarázhatjuk. Az előbbivel döntően a 900 m-es szint feletti nagyobb aeroszol tömeg magyarázható, az utóbbira pedig a felhőalap alatti tartományban, különösen a leáramlási csatorna körüli régióban láthatunk példát. A teljes modellezett tartományt figyelembe véve a tiszta légtömegben az aeroszol termelés  $2,46 \cdot 10^{-5}$  kg/kg, a szennyezett levegőben  $3 \cdot 10^{-5}$  kg/kg volt. A kontroll esetekhez képest ezek az értékek tiszta levegő esetében 65%-os, szennyezett levegő esetében 61%-os aeroszol tömegtöbbletet jelentenek. Az, hogy a szennyezett légtömegben a kémiai folyamatok miatt nagyobb tömegben képződik aeroszol, azzal magyarázható, hogy ebben az esetben a vízcseppek átlagos mérete kisebb, ezek gyorsabban párolognak, így kisebb mértékű az aeroszol kimosódás a felszínen, és a víz elpárolgása után visszamaradó aeroszol a légkörben marad.

Eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy az általunk vizsgált kémiai reakciók következtében jelentős mennyiségű szulfátion keletkezik, ami végül – a vízcseppek párolgását követően – az aeroszol-részecskék méret szerinti eloszlásának jelentős változását eredményezheti.

**További irányok és a fenti eredmények hasznosíthatósága.** A felhőkben lejátszódó fizikai és kémiai kutatásokat szeretnénk kiterjeszteni a figyelembe veendő gázok és kémiai reakciók körének növelésével. Meg kívánjuk

vizsgálni, hogy a felhők mikrofizikai struktúráját meghatározó mennyiségek (pl. a vízcseppek koncentrációja) hogyan befolyásolják a szulfát termelését. Szeretnénk a számításokat 3D modellel is elvégezni. A 3D modellel lehetővé teszi, hogy a turbulens levegő mozgás hatását pontosabban tudjuk figyelembe venni.

## Irodalom

- Baklanov, A., Schlünzen, K., Suppan, P., Baldasano, J., Brunner, D., Aksoyoglu, S., Carmichael, G., Douros, J., Flemming, J., Forkel, R., Galmarini, S., Gauss, M., Grell, G., Hirtl, M., Joffre, S., Jorba, O., Kaas, E., Kaasik, M., Kallos, G., Kong, X., Korsholm, U., Kurganskiy, A., Kushta, J., Lohmann, U., Mahura, A., Manders-Groot, A., Maurizi, A., Moussiopoulos, N., Rao, S. T., Savage, N., Seigneur, C., Sokhi, R. S., Solazzo, E., Solomos, S., Sørensen, B., Tsegas, G., Vignati, E., Vogel, B. and Zhang, Y., 2014: Online coupled regional meteorology chemistry models in Europe: current status and prospects. *Atmos. Chem. Phys.* 14, 317–398.
- Geresdi I., 2004: Felhőfizika. *Dialóg Campus Kiadó*, Pécs
- Geresdi, I. and Rasmussen, R. M., 2005: Freezing drizzle formation in stably stratified layer clouds: part II. The role of giant nuclei and aerosol particle size distribution and solubility. *Journal of Atmospheric Science* 62, 2037–2057.
- Geresdi, I., Sarkadi, N. and Thompson, G., 2014: Effect of the accretion by water drops on the melting of snowflakes. *Atmospheric Research* 149, 96–110.
- Sarkadi, N., Geresdi, I. and Thompson, G., 2016: Numerical simulation of precipitation formation in the case orographically induced convective cloud: Comparison of the results of bin and bulk microphysical schemes. *Atmospheric Research* 180, 241–261.
- Schmeller, G. and Geresdi, I., 2017: Numerical simulation of sulphate formation in water drops. Results of a box experiment. *Időjárás* 121, 1–28.
- Walcek, C. J. and Pruppacher, H. R., 1984: On the scavenging of  $\text{SO}_2$  by cloud and raindrops: I. A theoretical study of  $\text{SO}_2$  absorption and desorption for water drops in air. *J. Atmos. Chem.* 1, 269–289.
- Xue, L., Teller, A., Rasmussen, R., Geresdi, I., Pan, Z. and Xiaodong, L., 2011: Effects of Aerosol Solubility and Regeneration on Mixed-Phase Orographic Clouds and Precipitation. *J. Atmos. Sci.* 69, 1994–2010.

## SZERZŐINK FIGYELMÉBE

A LÉGGÖR célja a meteorológia tárgykörébe tartozó kutatási eredmények, szakmai beszámolók, időjárási események leírásának közlése. A lap elfogad publikálásra szakmai úti beszámolót, időjárási eseményt bemutató fényképet, könyvismertetést is.

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzőkkel nem közöljük. Közlésre szánt anyagokat kizárólag elektronikus formában fogadjuk el. Az anyagokat a [legkor@met.hu](mailto:legkor@met.hu) címre kérjük beküldeni Word-fájlban. A beküldött szöveg ne tartalmazzon semmiféle speciális formázást. Amennyiben a közlésre szánt szöveghez ábra is tartozik, azokat egyenként kérjük elküldeni, lehetőleg vektoros formában. Az ideális méret 2 MB. Külön Word-fájlban kérjük megadni az ábra leírásokat. A közlésre szánt táblázatokat akár Word-, akár Excel-fájlban szintén egyenként kérjük megadni. Amennyiben a szerzőnek egyéni elképzelése van a nyomtatásra kerülő közlemény felépítéséről, akkor szívesen fogadjuk PDF-fájlt is, de csak PDF-fájllal nem foglalkozunk.

A közlésre szánt szöveg tartalmazza a magyar és angol címet, a szerző nevét, munkahelyét, levelezési és villanypostacímét. Irodalomjegyzéket kérünk csatolni a *Tanulmányok* rovatba szánt szakmai cikkhez. Az irodalomjegyzékben csak a szövegben szereplő hivatkozások legyenek. Az egyéb közlemények, szakmai beszámolók esetében is kérjük lehetőség szerint angol cím és összefoglaló megadását