

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi Kar

Földtudományok Doktori Iskola

**Stratocumulus felhőben lejátszódó szulfátképződés modellezése
csatolt bin kémiai és mikrofizikai sémával**

PhD értekezés tézisei

Schmeller Gabriella

Témavezető:

**Dr. Geresdi István DSc
egyetemi tanár**



Pécs, 2019

A doktori iskola neve, címe: Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Földtudományok Doktori Iskola
7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

A doktori iskola vezetője: Prof. Dr. Geresdi István DSc.
egyetemi tanár
PTE TTK
Földrajzi és Földtudományi Intézet
Földtani és Meteorológiai Tanszék

A doktori témacsoport címe: Meteorológia és éghajlati
modellezés

A doktori témacsoport vezetője: Prof. Dr. Geresdi István DSc.
egyetemi tanár
PTE TTK
Földrajzi és Földtudományi Intézet
Földtani és Meteorológiai Tanszék

Témavezető: Prof. Dr. Geresdi István DSc.
egyetemi tanár
PTE TTK
Földrajzi és Földtudományi Intézet
Földtani és Meteorológiai Tanszék

1. Tudományos előzmények

A felhőkben lejátszódó folyamatok komplex értelmezése elengedhetetlen feltétele a légkörrel foglalkozó kutatásoknak. A meteorológia tudományágán belül elsősorban a levegőkémia foglalkozik a légkörben lejátszódó bonyolult kémiai folyamatok megfigyelésével, leírásával. A levegőkémiai kutatások kezdetét a felszínre hulló csapadék kémiai analízise jelentette. A csapadék kémiai összetételének pontosabb megismerését tette lehetővé a mérési technika fejlődése és a mintavételi pontok (megfigyelő állomások) számának növekedése. A magyarországi megfigyelő állomások hálózata is folyamatosan bővült (Horváth, 1981; Haszpra, 1985), illetve a mind kiterjedtebb csapadékkémiai vizsgálatok hozzájárultak a hazai levegőkémiai kutatások gyarapodásához. A nemzetközi megfigyelő hálózatba is bevont magyar állomások adatait is figyelembe véve lehetőség nyílt a légkörben lejátszódó kémiai és fizikai folyamatok együttes hatásának, térben és időben történő változásának nyomon követésére (Bozó és Mészáros, 2015).

A levegőben lévő folyékony vagy szilárd halmazállapotú, ún. aeroszol részecskék (mérettartomány: 1 nm – 10-20 μm) meghatározó szerepét a felhők és a légkör különböző folyamataiban számos kutatás igazolta. Néhány példa az aeroszol részecskékkal kapcsolatos kutatásokra, témakörök szerint: a felhők albedójára és így a globális sugárzási egyenleg módosítására gyakorolt hatás (Budyko, 1969; Twomey, 1974; Geresdi et al., 2006, Salma, 2006); az egészségre gyakorolt hatás (Terraglio és Manganelli, 1967);

kondenzációs- vagy jégképző magként betöltött szerepük (Mészáros et al., 1974; Flossmann, 1998); a felhőkben a folyadékfázisban lejátszódó kémiai folyamatok révén a szulfátképződésre gyakorolt hatás (Mészáros, 1976; Várhelyi, 1975; Horváth, 1977; Penkett et al., 1979; Hegg és Larson, 1990); a felhőket alkotó vízcseppekben lejátszódó kémiai folyamatokra gyakorolt indirekt hatás (Feingold és Kreidenweis, 2002; Kreidenweis et al., 1997; Feingold et al., 1998; Schmeller és Geresdi, 2019).

A mérések mellett a számítógépes modellekkel végzett szimulációk adják a légköri folyamatok megértésének másik alappillérét. A számítógépes technika fejlődésével lehetővé vált a modellek által leírt összetett folyamatok akár háromdimenziós szimulálása is. Napjainkban számos kutatócsoport foglalkozik az ún. numerikus modellek fejlesztésével (Baklanov et al., 2014). A megfelelő numerikus számítási eljárás alkalmazása nélkülözhetetlen a folyamatok minél pontosabb leírása érdekében. A modelleredményeket a mérési eredményekkel validálják.

A felhőkben lejátszódó mikrofizikai folyamatok leírására az operatív gyakorlatban leginkább az ún. bulk sémát használják. Ennek előnye, hogy viszonylag gyors számítást tesz lehetővé, mivel a cseppek méret szerinti eloszlását egy folytonos függvénnyel írják le. Ezzel ellentétben - a nagyobb számítógépes kapacitás igénye miatt kevésbé alkalmazott – az ún. bin séma esetén a méret szerinti eloszlás spektrumát méretintervallumokra osztják. A bin sémában nincs szükség önkényes feltételezésre a méret szerinti eloszlást illetően, mivel a tömeg- és számkoncentrációra felírt megmaradási egyenletet

minden egyes 'bin'-re megoldják. Ezáltal számos mérettől függő fizikai- és kémiai folyamat leírása pontosabbá tehető.

2. Célkitűzések

Kutatásom célja az aeroszol – felhő kölcsönhatás egy eddig kevésbé vizsgált aspektusának tanulmányozása: a Stratocumulus felhőben lejátszódó mikrofizikai és kémiai folyamatok bin sémával történő leírása.

A kutatásom részletes céljai:

- a nyomgázok vízcseppben történő abszorpciójának/deszorpciójának, illetve a cseppben végbemenő oxidáció méret- és pH függésének tanulmányozása;
- numerikus kísérletek végzése az egyenletek numerikus integrálásához szükséges optimális időlépés meghatározására;
- a Stratocumulus felhőben lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok közötti kölcsönhatás tanulmányozása;
- a felhőben lejátszódó csapadékképződési folyamatok, valamint a nyomgázok abszorpciója/deszorpciója és a vízcseppekben lejátszódó oxidáció hatásának tanulmányozása a szulfátképződésre.

3. Kutatási módszerek

A vízcseppekben lejátszódó abszorpciót és kémiai reakciókat egy nagyon erősen csatolt differenciál egyenletrendszer, valamint az elektroneutralitást kifejező algebrai egyenlet írja le. Az erősen csatolt numerikus egyenletek megoldásánál lényeges a megfelelő időlépés megválasztása. A nyomgázok vízcseppekbe történő abszorpciójának meghatározására az ún. „well-mixed” modellt használtam (Pruppacher és Klett, 1977). Az abszorpciót leíró egyenletet kvázi-analitikus közelítéssel oldottam meg. Az S(IV) formák ($(\text{SO}_2)_{\text{aq}}$, HSO_3^- , SO_3^{2-}) ózon és hidrogén-peroxid általi oxidációját a Seinfeld és Pandis (2006) által megadott formulákkal és konstansokkal határoztam meg. A vízcseppek pH-jának meghatározásakor figyelembe vettem a víz, a szén-dioxid, a kén-dioxid, az ammónia és a hidrogén-peroxid disszociációját, valamint azt is, hogy a vízcseppek ammónium-szulfát részecskéken alakulnak ki.

Az alkalmazott modellek és jellemzőik

A. Doboz modell

Doboz modellben vizsgáltam különböző, a légkörben is jelenlévő gáz (szén-dioxid, kén-dioxid, ammónia, hidrogén-peroxid, ózon) abszorpciójának, illetve az S(IV) S(VI)-á oxidálódásának függését a vízcseppek méretétől (10, 20, 50, 100 és 500 μm sugárméret esetén). A doboz modell olyan séma, ahol a megoldás csak az időtől függ, a térbeli változékonyságtól eltekintünk. A különböző nyomgázok eltérő kezdeti koncentrációja mellett számoltam ki az abszorpciót és

a deszorpciót, valamint a cseppméret függvényében a kialakult oldat pH értékét. A szén-dioxid keverési aránya minden esetben 400 ppmv volt. Az oxidálószeresek közül csak a hidrogén-peroxid és az ózon hatását, illetve az oxidáció pH függését vizsgáltam. A számítások során feltételeztem, hogy a nyomgázok légköri keverési aránya és a vízcsepp sugara időben állandó. Az egyenletek megoldásának stabilitása függ a választott időlépéstől (Schmeller és Geresdi, 2017).

B. Kétdimenziós kinematikai modell

Kétdimenziós, stacionárius áramlási mező (Grabowski, 1998; Smolarkiewicz, 1984) segítségével vizsgáltam, hogy a Stratocumulus felhőzet hogyan befolyásolja az aeroszol részecskék kimosódását, valamint a vízcseppekben található ammónium-szulfát tömegének változását. A modellezett tartomány egy kétdimenziós sík, amelynek horizontális és vertikális kiterjedése egyaránt 1500 m (a rácspontok távolsága 20 m, 75x75 rácspont). Az időben állandó áramlási mező egy feláramlási- és egy leáramlási zónát tartalmaz. A felhőkben lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok kétdimenziós modellezésére ún. bin sémát alkalmaztam (Geresdi és Rasmussen, 2005). Az aeroszol részecskék kizárólag ammónium-szulfátból állnak.

A számításokat különböző, a légkör szennyezettségére jellemző kezdeti aeroszol részecske méret szerinti eloszlásokra és kezdeti nyomgázkoncentrációkra végeztem el. A szulfáttartalmú aeroszol részecskékre vonatkozóan a következő kezdeti feltételek mellett végeztem el a számításokat: (i) tiszta, óceán feletti légtömeg, extrém alacsony koncentráció, (ii) óceán feletti légtömeg, alacsony

koncentráció, (iii) szárazföld feletti légtömeg, magas koncentráció, és (iv) szárazföld feletti légtömeg, extrém magas koncentráció.

Érzékenységi vizsgálatokat végeztem annak érdekében, hogy szemléltessem az ammónia koncentráció változásának hatását a szulfátképződésre. A cseppek elpárolgása után visszamaradó S(VI) (amely a HSO_4^- és az SO_4^{2-} összege) és N(III) (amely az $(\text{NH}_3)_{\text{aq}}$ és az NH_4^+ összege) visszakerül a száraz aeroszol részecske kategóriába, a többi oldott anyag pedig a légkörbe (gázfázisba) kerül vissza. Ilyen módon meghatározható az ammónium-szulfát tartalmú aeroszol részecskék felhőbeli tömegnövekedése a kezdeti aeroszol részecske tömeghez képest.

4. Az eredmények összefoglalása

i. A vízcseppek pH értékét meghatározza a méret és az oldott anyagok mennyisége. Az abszorpció kezdeti fázisában az ammónia abszorpciója dominál. Ez független a cseppmérettől. A hígulás további fázisaiban először a megnövekedett pH érték következtében a kén-dioxid abszorpciója nő meg, valamint a mérettől függ az oldott anyagok koncentrációjának időbeli felfutása. Míg a kisebb cseppek ($r=10 \mu\text{m}$) gyorsan telítettek válnak, addig a sugár növekedésével a cseppek egyre később érik el a telítési értékek az oldott anyagokra nézve. A legnagyobb cseppek ($r=500 \mu\text{m}$) a vizsgált környezeti feltételek mellett telítetlenek maradnak. Az ammónia hiánya leállítja az abszorpció folyamatot. A kén-dioxid mennyiségbeli többlete az ammóniához képest csökkenti a pH értéket, a savasabb környezet viszont az ammónia abszorpciójának kedvez.

ii. Az oxidáció folyamata módosítja a cseppek pH értékét és így az abszorbeálódó gázok mennyiségét. Három jellemző cseppméret kategóriára osztható a hatás időbeli lefutása: (a) 10 μm -es csepp, (b) 50 és 100 μm -es csepp, (c) 500 μm -es csepp. Az (a) esetben a csepp gyorsan telítetté válik, majd a (b) esetben a méret növekedésével a telítési érték elérése időben egyre később következik be. A (c) esetben a csepp alultelített marad az oldott anyagokra nézve, így a folyamatos abszorpció következtében a gázfázisbeli koncentrációk határozzák meg az oldott anyagok mennyiségét, a csepp mérete nem korlátozza ezt. Ebből az következik, hogy az a gyakran alkalmazott közelítés miszerint az oldott gázok koncentrációját a Henry törvény alapján határozzák meg túlbecsli az elnyelt gázok mennyiségét.

iii. Az abszorpció és oxidáció együttes leírásánál a 10 μm -es cseppméretre 0,001 s, az 50 és 100 μm -esre 0,01 s, az 500 μm -es csepre pedig 0,1 s időlépés használata javasolt. Amennyiben ennél nagyobb időlépést használtam a megoldás instabillá vált, vagy túlbecsültem az ózon okozta oxidáció sebességét.

iv. A száraz aeroszol részecskék kezdeti koncentrációja meghatározza a felhőben kialakuló vízcseppek koncentrációját és méret szerinti eloszlását. Ezek a jellemzők befolyásolják a felhőkben lejátszódó fizikai és kémiai folyamatokat, így a felhő struktúráját, a felszínre lehulló csapadék és az abszorbeált gázok mennyiségét. Minél magasabb a kezdeti részecske koncentráció, annál nagyobb a pH érték a felhőalaponál. Ez döntően annak köszönhető, hogy a

magas aeroszol koncentráció (kisebb átlagos vízcsepp méret) esetén az abszorbeált NH_3 koncentrációja kezdetben gyorsabban nő, mint a többi gáz esetében. Ennek következtében kondenzációs magvakat nagy koncentrációban tartalmazó légkörben felhőalap felett - a magasabb pH hatására - növekszik az elnyelt kén-dioxid mennyisége, ami végül nagyobb mennyiségű szulfát kialakulásához vezet. Ennek eredménye a pH gyors csökkenése a felhőalap felett. Azaz a kondenzációs magvak- és az ammónia koncentrációjának együttes növekedése eredményezi a leghatékonyabb szulfátképződést. A cseppek elpárolgása után a képződött szulfát és ammóniumionok tömege hozzáadódik ahhoz a részecske tömeghez, amin a vízcsepp kialakult. Ennek eredményeként módosul a kondenzációs magvak méret szerinti eloszlása, és ezen keresztül a rajtuk újonnan kialakuló vízcseppek méret szerinti eloszlása. Mivel a felhőből kihulló csapadék mennyisége függ a vízcseppek méret szerinti eloszlásától, a vízcseppekben lejátszódó szulfátképződés hatással lehet a felszínre hulló csapadék mennyiségére. Amennyiben a kezdeti aeroszol koncentráció 250 vagy 540 cm^{-3} volt, a felszínre hullott csapadék mennyisége 2%-al, illetve 11%-al csökkent a vízcseppekben lejátszódó kémiai folyamatok következtében. Ennél alacsonyabb részecske koncentráció esetén ez a hatás elhanyagolható volt.

5. Az eredmények hasznosításának lehetőségei, a kutatás további irányai

A 2D bin mikrofizikai séma az aeroszol részecskék méret szerinti eloszlásának nyomon követésére alkalmazható, pontos módszer. Hátránya azonban, hogy jelentősen megnöveli a számítási kapacitást. Az eredmények azt mutatják, hogy a vízcseppben lejátszódó kémiai folyamatok cseppmérettől függő változásának figyelembe vétele nagyban befolyásolja az eredményeket. Az ismertetett számítási módszer segítségével lehetővé válik további gázok, pl. a HNO_3 , illetve számos szerves komponens (pl. alkoholok, aldehidek, karbonsavak) abszorpciójának és pH módosító hatásának figyelembe vétele. A kutatás további fázisaiban a szerves komponensek hatásának vizsgálatát a bokszt modellben, a szerves komponensek számának bővítését az ún. LES (Large Eddy Simulation) modellben tervezem elvégezni.

Irodalomjegyzék

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. — KURGANSEY, 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. — ZHANG, Y. 2014: Online coupled regional meteorology chemistry models in Europe: current status and prospects. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 317–398.

BOZÓ L. — MÉSZÁROS E. 2015: A légtünetnytantól a káoszelméletig. Magyar meteorológiai bibliográfia. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.

- BUDYKO, M. I. 1969: The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. *Tellus*, 21, p. 611.
- FEINGOLD, G. — KREIDENWEIS, S. M. — Y. ZHANG 1998: Stratocumulus Processing Of Gases And Cloud Condensation Nuclei. 1. Trajectory Ensemble Model. *Journal Of Geophysical Research*, 10, pp. 19,527–19,542.
- FEINGOLD, G. — KREIDENWEIS, S. M. 2002: Cloud processing of aerosol as modeled by a large eddy simulation with coupled microphysics and aqueous chemistry. *Journal Of Geophysical Research*, 107., 4687.
- FLOSSMANN, A. I. 1998: Clouds and pollution. *Pure&Appl. Chem.*, 70, pp. 1345–1352.
- GERESDI, I. — MÉSZÁROS, E. — MOLNÁR, A. 2006: The effect of chemical composition and size distribution of aerosol particles on droplet formation and albedo of stratocumulus clouds. *Atmospheric Environment*, 40, pp. 1845–1855.
- GERESDI, I. — 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, *J. Atmos. Sci.*, 62, pp. 2037–2057.
- GRABOWSKI, W. W. 1998: Toward cloud resolving modeling of large-scale tropical circulations: A simple cloud microphysics parameterization. *J. Atmos. Sci.*, 55, pp. 3283–3298.
- HASZPRA, L. 1985: On the density and placement of the Hungarian precipitation chemistry network. *Időjárás*, 89, pp. 1–8.
- HEGG, D. A. — LARSON, T. V. 1990: The effects of microphysical parameterization on model predictions of sulfate production in clouds. *Tellus*, 42B, pp. 272–284.
- HOFFMANN, M. R. — CALVERT, J. G. 1985: Chemical Transformation Modules for Eulerian Acid Deposition Models, Vol. 2, The Aqueous-Phase Chemistry. EPA/600/3-85/017, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- HORVÁTH L. 1977: A légköri kén-dioxid szulfáttá alakulásának mechanizmusa és kinetikája. *Időjárás*, 81, pp. 280–287.

- HORVÁTH L. 1981: A csapadékvíz kémiai összetétele Magyarországon. *Időjárás*, 85, pp. 201–212.
- KREIDENWEIS, S. M. — ZHANG, Y. — TAYLOR, G. R. 1997: The effects of clouds on aerosol and chemical species production and distribution. 2. Chemistry model description and sensitivity analysis. *Journal Of Geophysical Research*, 102, pp. 23,867–23,882
- MCARDLE, J. V. — HOFFMANN, M. R. 1983: Kinetics and mechanism of the oxidation of aquated sulfur dioxide by hydrogen peroxide at low pH. *J. Phys. Chem.*, 87, pp. 5425–5429.
- MÉSZÁROS E. — SAS É. — MÉSZÁROS Á. 1974: Felhőcseppek kondenzációs növekedése ammónium-szulfát magvakon. *Időjárás*, 78, pp. 333–341.
- MÉSZÁROS E. 1976: A kén körforgalma a légkörben. *Időjárás*, 80, pp. 42–47.
- PENKETT, S. A. — JONES, B. M. R. — BRICE, K. A. — EGGLETON, A. E. J. 1979: The importance of atmospheric ozone and hydrogen peroxide in oxidising sulphur dioxide in cloud and rainwater. *Atmospheric Environment* 13, pp. 123–137.
- PRUPPACHER, H. R. — KLETT, J. D. 1977: *Microphysics of clouds and precipitation*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht/Boston/London, p. 954.
- SALMA, I. 2006: A légköri aeroszol szerepe a globális éghajlatváltozásban. *Magyar Tudomány* 2006/2, pp. 205-211.
- SCHMELLER, G. — GERESDI, I. 2017: Numerical simulation of sulphate formation in water drops. Results of a box experiment. *Időjárás*, 121, pp. 1–28.
- SCHMELLER, G. — GERESDI, I. 2019: Study of interaction between cloud microphysics and chemistry using coupled bin microphysics and bin aqueous chemistry scheme. *Atmospheric Environment*, 198, pp. 366–380
- SCHMELLER G. — SARKADI N. 2018: A részletes mikrofizikai séma alkalmazása a csapadékkémiai folyamatok modellezésében. *Légkör*, 63, pp. 4–7.
- SEINFELD, J. H. — PANDIS, S. N. 2006: *Atmospheric Chemistry and Physics*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

SMOLARKIEWICZ, P. K. 1984: A Fully Multidimensional Positive Definite Advection Transport Algorithm with Small Implicit Diffusion, *J. Comp. Pys.*, 54, pp. 325–362.

TERRAGLIO, F. P. — MANGANELLI, R. M. 1967: The Absorption of Atmospheric Sulfur Dioxide by Water Solutions. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 17, pp. 403–406.

TWOMEY, S. 1974: Pollution and planetary albedo. *Atmospheric Environment*, 8, pp. 1251–1256.

VÁRHELYI G. 1975: A kén-dioxid abszorpciója és oxidációja felhő- és ködcspepekben. *Időjárás*, 79, pp. 360–365.

Az értekezés témájához kapcsolódó közlemények, publikációk

Schmeller, G., Geresdi, I., 2019: Study of interaction between cloud microphysics and chemistry using coupled bin microphysics and bin aqueous chemistry scheme. Atmospheric Environment, 198, pp. 366–380.

Schmeller G., Sarkadi N., 2018: A részletes mikrofizikai séma alkalmazása a csapadékkémiai folyamatok modellezésében. Légkör 63, pp. 4–7.

Schmeller, G., Geresdi, I., 2017: Numerical simulation of sulphate formation in water drops. Results of a box experiment. Időjárás, 121, pp. 1–28.

Az értekezés témájához kapcsolódó konferenciaközlemények és absztraktok

Schmeller G., Geresdi I., 2017: Stratocumulus felhőben lejátszódó szulfátképződés numerikus modellezése kapcsolt bin mikrofizikai és bin kémiai séma használatával. Hatodik környezetkémiai szimpózium, Program és előadáskivonatok, 2017. október 12-13., Bakonybél, Magyarország

Schmeller G., Geresdi I., 2017: Stratocumulus felhőben lejátszódó szulfátképződés numerikus modellezése, in: Schmeller G. (szerk.): A XIII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai, 74p., (ISBN 978-963-429-127-5) XIII. Magyar Aeroszol Konferencia, Pécs, 2017. Április 19 – 20., Pécsi Tudományegyetem, 2017. pp. 13–14.

Schmeller G., Geresdi I., 2016: Szulfátképződés numerikus modellezése vízcseppekben: egy doboz modell eredményei. Ötödik környezetkémiai szimpózium, Program és előadáskivonatok, 2016. 10. 6-7., Tihany, Magyarország

Schmeller, G., Geresdi, I., 2016: Numerical simulation of cloud chemistry using bin microphysical scheme. Poster abstract, 17th International Conference on Clouds and Precipitation, 2016. 07.25 – 29, Manchester, UK

Schmeller G., Geresdi I., 2015: A Kronig-Brink hatás a gázok abszorpciójára. In: Filep Á., Mucsiné Égerházi Lilla (szerk.): A XII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai, 96 p. (ISBN 978-963-306-364-4) Szeged, XII. Magyar Aeroszol Konferencia, 2015. március 18–20. (Magyar Aeroszol Társaság), Szegedi Tudományegyetem, 2015., poszter absztrakt, pp. 90–91.

Schmeller G., Geresdi I., 2013: A levegő kémiai összetételének hatása a kondenzációs mag tömegének változására, in: Kertész Zs., Szikszai Z., Angyal A., Furu E., Szoboszlai Z., Török Zs. (szerk.): XI. Magyar Aeroszol Konferencia, 95p., Debrecen, Magyarország, 2013.10.28 – 10.30., Debrecen: ATOMKI, 2013. pp. 18–19., ISBN 978-963-8321-50-3

Schmeller G., 2013: A légköri kén-dioxid kimosódásának modellezése, in: Balogh R., Schmidt P. (szerk.): A földtudományi kutatások új aspektusai. Tanítványok és mestereik a Kárpát-medence földtudományi kutatásában. Geographia Pannonica Nova 17., IDRResearch Kft./Publikon Kiadó, Pécs, 2013. pp. 238–242., ISBN 978-615-5001-19-2

Az értekezés témájához nem kapcsolódó közlemények, publikációk

Cséplő, A., Sarkadi, N., Horváth, Á., Schmeller, G., Lemler, T. 2019: Fog climatology in Hungary. Időjárás, 123, pp. 241-264.