

VII. MAGYAR FÖLDRAJZI KONFERENCIA KIADVÁNYA

2014 Miskolc

**Kiadó: Miskolci Egyetem
Földrajz – Geoinformatika Intézet**



*Szerkesztette:
Kóródi Tibor
Sansumné Molnár Judit
Siskáné Szilasi Beáta
Dobos Endre*

ISBN 978-963-358-063-9

SZAHARAI POR A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN¹⁸¹

BEVEZETÉS

A porviharok által légkörbe juttatott évi több milliárd tonna ásványi por 50–70%-a szaharai forrásterületek emissziójából származik. Ez a hatalmas mennyiségű poranyag számos éghajlati és egyéb környezeti folyamatban játszik meghatározó szerepet. A légköri por befolyással van Földünk energiaháztartására, a felhőképződésre, levegőkémiai kölcsönhatásokra, szennyezőanyagok terjedésére és egészségünkre. A leülepedő és/vagy felhalmozódó ásványi szemcsék a felszín albedóját változtathatják meg és talajképződési folyamatokat módosíthatnak, továbbá az óceánok, tengerek elsődleges fitoplankton termelésének katalizálásával szerepet játszanak a szénkörforgalomban is (Harrison et al. 2001; Kohfeld és Tegen 2007; Pósfai és Buseck 2010; Varga Gy. 2010).

Az Európa területén lerakódó szaharai eredetű por az évmilliók során döntő szerepet töltött be a Földközi-tenger térségében kialakult terra rossák (Yaalon 1997; Durn et al. 1999) és egyéb hullóporos eredetű üledékek (eoliniték, löszök, lösszerű üledékek – Cremaschi 1990; Muhs et al. 2010). A Kárpát-medence lösz-paleotalaj sorozata egyes szakaszainak kialakulásában ugyancsak valószínűsíthető a szaharai por jelentékeny hozzáadódása.

Az elmúlt évek során több tanulmányban dolgoztuk fel a hazánk területét is érintő szaharai porviharos eseményeket (Varga 2012a; Varga et al. 2013; Varga közlésre elfogadva). A vizsgálatok kiterjedtek ezen események gyakoriság és szezonális vizsgálatára, a meteorológiai hátterük elemzésére, szállítási útvonaluk és lehetséges forrásterületük meghatározására.

MÓDSZEREK

A távoli területekről érkező porkitörésekre vonatkozóan csak a kellő pontosságú és dokumentálhatóságú esetek adatai használhatók fel, az anekdotikus jellegű, történelmi időkből származó feljegyzések alapján messzemenő és számszerűsíthető következtetéseket nem áll módunkban levonni. A manapság már könnyen hozzáférhető napi rendszerességű műholdas mérések és felvételek, meteorológiai adatok és térképek révén kvantitatív módszerekkel elemezhető globális adatbázis felépítésével tetszőleges térségek porviharos helyzetét lehet azonosítani és vizsgálni. A Kárpát-medence területére (É.sz. 45°–48,5°; K.h. 16–23°) kiszámított NASA TOMS és OMI Aeroszol Indexek időszoraiából a térségre jellemző átlagtól magasabb értékek szűrésével adódó napok aeroszoltérképei, trajektória-számítások és műholdas felvételek alapján azonosítottuk a légköri poros eseményeket. A légtömegek és velük együtt a szállított por mozgáspályája alapján egyértelműen észak-afrikai eredetű, döntően szaharai porkitörések termékei kerültek az adatbázisba.

A légkörben megjelenő szaharai por nem jelent következképpen kiülepedést is, valamint műholdas mérések alapján a kiülepedés mértéke nem számszerűsíthető, ezért a Barcelona Supercomputing Center DREAM 8b v 1.0 és v2.0 légköri porszimulációs adatbázisát

¹⁷⁶ MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földrajztudományi Intézet, E-mail: varga.gyorgy@csfk.mta.hu

¹⁷⁷ DE Fizikai Intézet, Szilárdtest Fizikai Tanszék

¹⁷⁸ PTE Földrajzi Intézet, Földtani és Meteorológiai Tanszék

¹⁷⁹ PTE Szentágotthai Kutatóközpont, Környezetanalitikai és Geoanalitikai Kutatócsoport

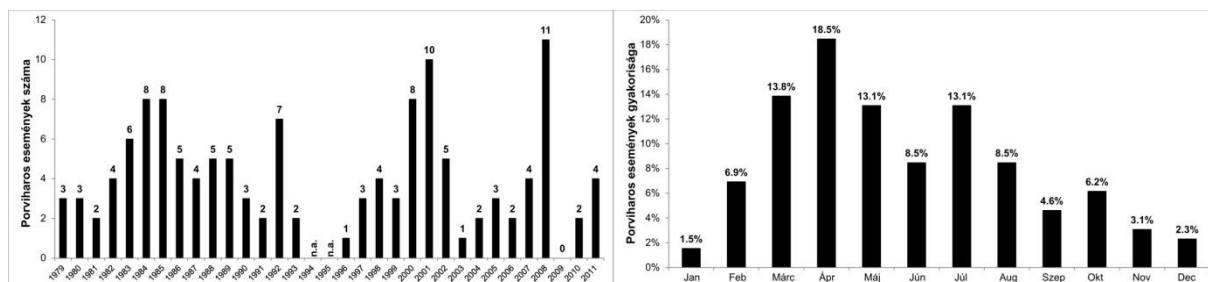
¹⁸⁰ MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet

¹⁸¹ A kutatást az OTKA PD108708 számú projektje támogatta.

is felhasználtuk (<http://www.bsc.es/earth-sciences/mineral-dust-forecast-system/>). A 2013-ban és a 2014-es év első felében közfigyelmet is kiváltó szokatlanul intenzív szaharai porkifúvások esetében két esetben mintavételezésre is lehetőségünk volt, így pásztázó elektronmikroszkópos és lézeres szemcseméret-elemzések is történtek.

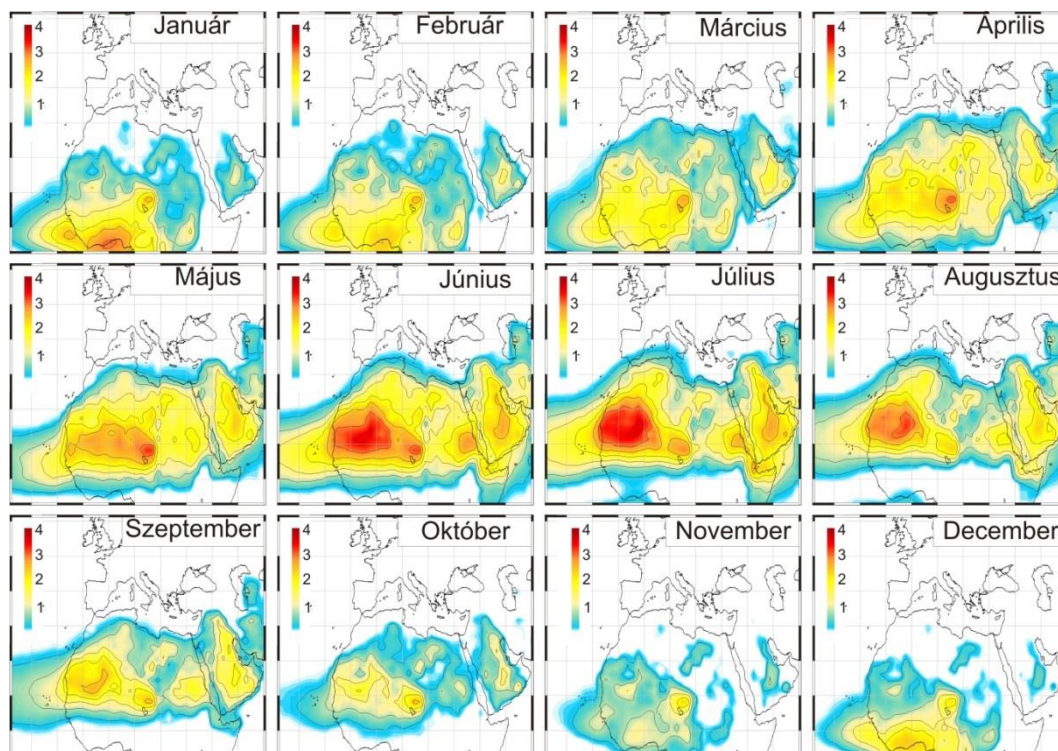
SZAHARAI EREDETŰ PORVIHAROS ESEMÉNYEK GYAKORISÁGA

Az 1979 és 2011 közti vizsgálati időszakban 130 szaharai porviharos eseményt sikerült hazánk légkörében azonosítani. A poros események száma évenként jelentős eltérést mutatott, ellenben a szezonálisában egyértelműen jelentkezett a térségre várható tavaszi, illetve nyári maximum (1. ábra).



1. ábra: A Kárpát-medence légkörében azonosított szaharai porviharos események évenkénti és szezonális eloszlása.

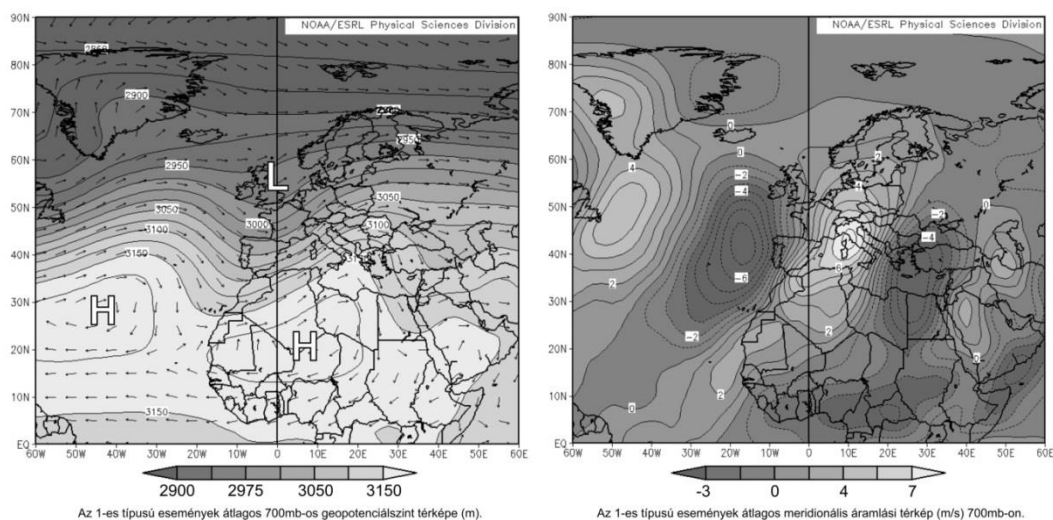
A tavaszi és nyári maximum megjelenése és a határozott téli minimum jó egyezésben állnak a Szahara és a Száhel régió legaktívabb forrásterületeinek szezonális jellemzőit ábrázoló, napi adatsorokból szerkesztett regionális havi átlagtérképekkel (2. ábra). Az időszakra jellemző konvektív aktivitás és a termikus egyenlítő (összeáramlási zóna) északra tolódásához köthető szélereőség növekedés kapcsán a szaharai légkör csaknem porral telítetté válik (Israelevich et al. 2002).



2. ábra: Észak-Afrika légkörének havi átlagos aeroszol-terheltsége a vizsgált időszakban.

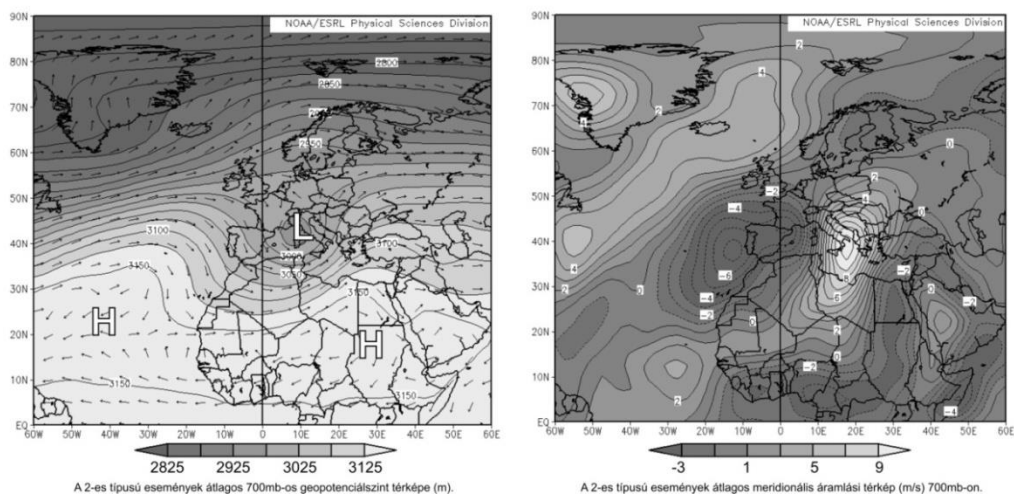
A PORVIHAROS ESEMÉNYEK SZINOPTIKUS METEOROLÓGIAI HÁTTERE, A PORSZÁLLÍTÁS ÚTVONALA ÉS A LEHETSÉGES FORRÁSTERÜLTEK

Az azonosított porviharos eseményekhez hozzárendelt geopotenciál szint (700 mb), szélvektor (700 mb) és meridionális áramlás térképek révén 3 különböző csoportba soroltuk a poros eseményeket. Az esetek 66,2%-a (n=86) került az 1-es típusba. Ebben az esetben az erős DNy-i áramlás az európai kontinens nyugati partvonalá mentén lehúzódnak teknő vagy sekély ciklon előoldalán és a szubtrópusi magasnyomású öv keleti cellája között alakul ki, jellemzően tavasszal és nyáron (3. ábra). A legerősebb áramlások a Földközi-tenger nyugati medencéje fölött alakulnak ki, ahol szintén ebben a periódusban sikerült ugyanezekkel a módszerekkel porviharos eseményeket kimutatnunk (Varga et al. megjelenés alatt).



3. ábra: Az 1-es típusú porviharos események szinoptikus meteorológiai háttere, szélvektorai és a meridionális áramlás 700 mb-on.

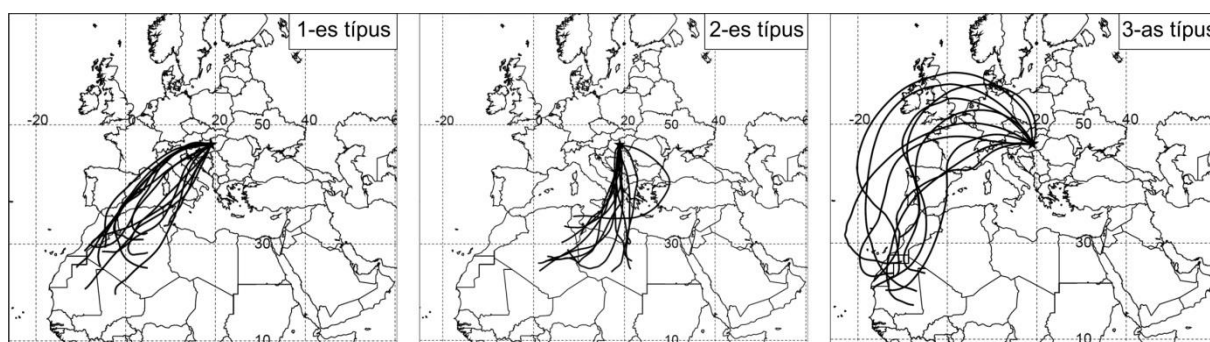
Az összes azonosított esemény 25,4%-a (n=33) került a 2-es típusba, mely során egy kelet felé mozgó mediterrán ciklon meleg szektorán kialakuló délies áramlással érkezik a saharai por hazánk területére, döntően tavasszal az azori magasnyomású központ nyári megerősödését megelőzően (4. ábra). A legerősebb meridionális áramlás az Appennin-félsziget déli részén és a Ion-tenger fölött alakul ki.



4. ábra: A 2-es típusú porviharos események szinoptikus meteorológiai háttere, szélvektorai és a meridionális áramlás 700 mb-on.

A vizsgálati időszak során a legritkább – az összes esemény 8,5%-a (n=11) – epizódok kerültek a 3-as típusba. Ekkor egy ÉNy-Afrika és DNy-Európa fölött kialakuló magasnyomású központ anticiklonális áramlása port szállít az Atlanti-óceán keleti térsége fölé, mely porral telített légtömeget a közepes szélességeken a nyugatias áramlás sodorja a Kárpát-medence irányába.

Az azonosított eseményekhez trajektória-számításokat végeztünk a NOAA HYSPLIT modelljével, a légtömegek mozgásának pontosabb meghatározása céljából. A légtömegek áramlási útvonalai alapján is jól elkülönülnek a különböző típusokba sorolt porviharos események, valamint további támpontot adnak a lehetséges forrásterületek meghatározásához (5. ábra). Az 1-es típus esetében a szinoptikus meteorológiai helyzetek az afrikai kontinens északnyugati régióiból származó poranyag északkeleti irányú terjedésének kedveznek; így a Taoudenni-medence, a Ny-szaharai hegylábfelszínek és a Tidikelt-depresszió forrásterületei, illetve a Szaharai-Atlasztól délre fekvő sottok (chottok) környéke jöhet számításba, mint legfőbb lehordási terület. A 2-es típus esetében a Földközi-tenger középső medencéje felett kialakuló ciklon előoldalán létrejövő meridionális áramlás a legközelebbi észak-afrikai lehordási területek felől szállít port hazánk fölé, jellemzően Szaharai-Atlasz déli előterében található sóstavak környékéről és a kelet-szaharai lehordási régiókból (Kireneika és a Kattaramélyföld). A leghosszabb és egyben a legritkábban előforduló poros események a 3-as típusba kerültek, mely során esetenként 6500 km-es távolságot is megtesz a nyugat-szaharai finomszemcsés törmelék mielőtt hazánk területét eléri.

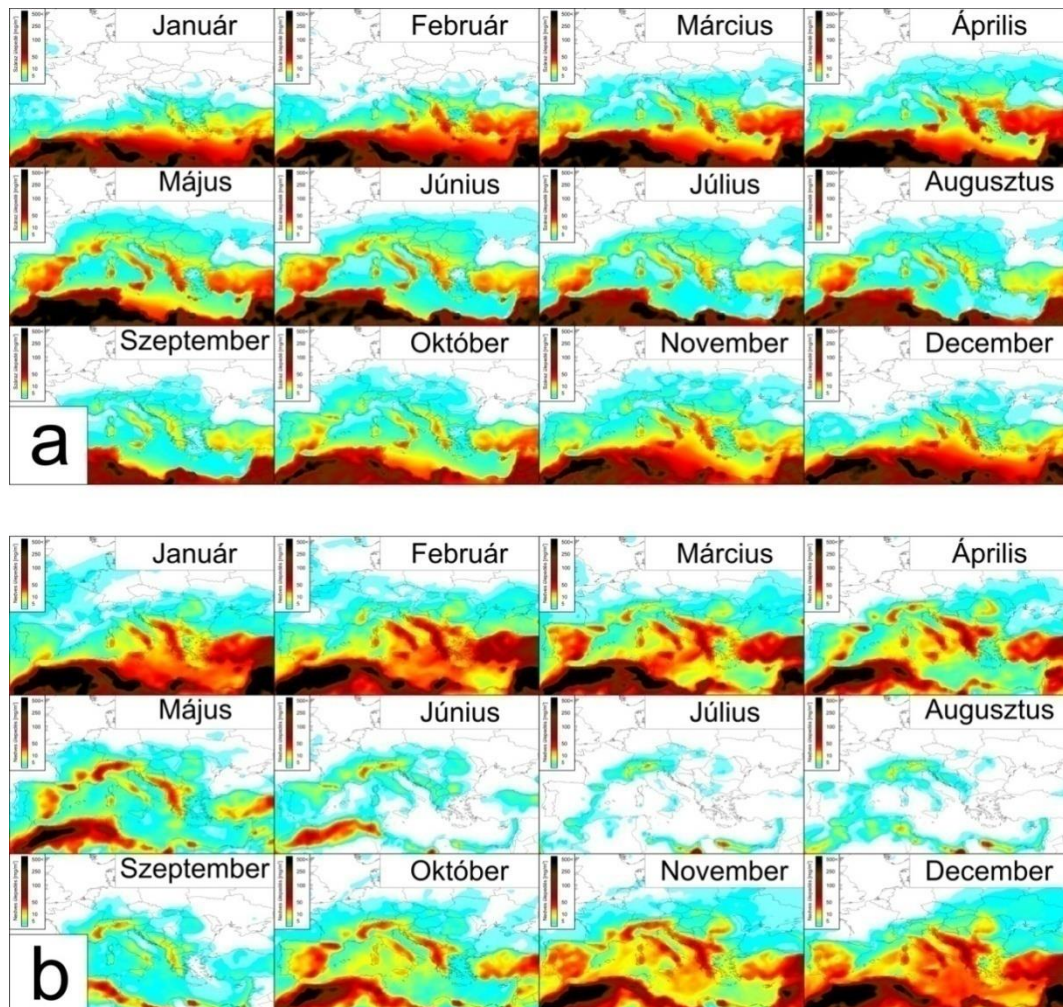


5. ábra: A Kárpát-medence területét elérő saharai porkitörések jellemző trajektóriái.

A műholdas mérésekkel azonosított poros események kapcsán csupán arról szerezhetünk adatokat, hogy saharai por volt a Kárpát-medence légkörében. Az, hogy mekkora mennyiségű poranyag éri el a felszínt ezek alapján nem állapítható meg, sőt erre vonatkozóan felszíni mérésekkel sem rendelkezünk. Ezért esett a választásunk a poranyag terjedését és depozícióját szimuláló számítógépes modelleredmények felhasználására. A saharai porral kapcsolatos modellek közül a Barcelona Supercomputing Centre (BSC) DREAM 8b v1.0 és v2.0 adatbázisát használtuk fel, mivel ezek a szimulációk rendelkeznek a leghosszabb elérhető, szabad-hozzáférésű eredményekkel (Pérez et al. 2006a, 2006b; Basart et al. 2012).

A modellszámítások nyers adatainak feldolgozásával szerkesztett porterjedési térképek és szezonális vizsgálatok jó egyezésben állnak a NASA Aeroszol Index térképekkel, melyeket korábbi munkáink során állítottunk elő (Varga 2012; Varga et al. 2013; Varga megjelenés alatt). A száraz és nedves ülepedés szezonális eloszlásának térképein jól látszik, hogy a száraz ülepedés hazánk területén tavasszal és nyáron a legjelentősebb, ellenben a nedves ülepedés télen és tavasszal a legnagyobb (6. ábra). Ez különbség a kétféle depozíciós mechanizmus eltérő jellegéből fakad, mivel a jelentősebb száraz kiülepedés legfőbb feltétele, hogy viszonylag nagy mennyiségű por legyen a légkörben, addig egy viszonylag intenzívebb nedves ülepedéshez nem

feltétlenül kell magas légköri por koncentráció; adott térségben a csapadék nagyobb hatásfokkal kimossa a poranyagot a légkörből.



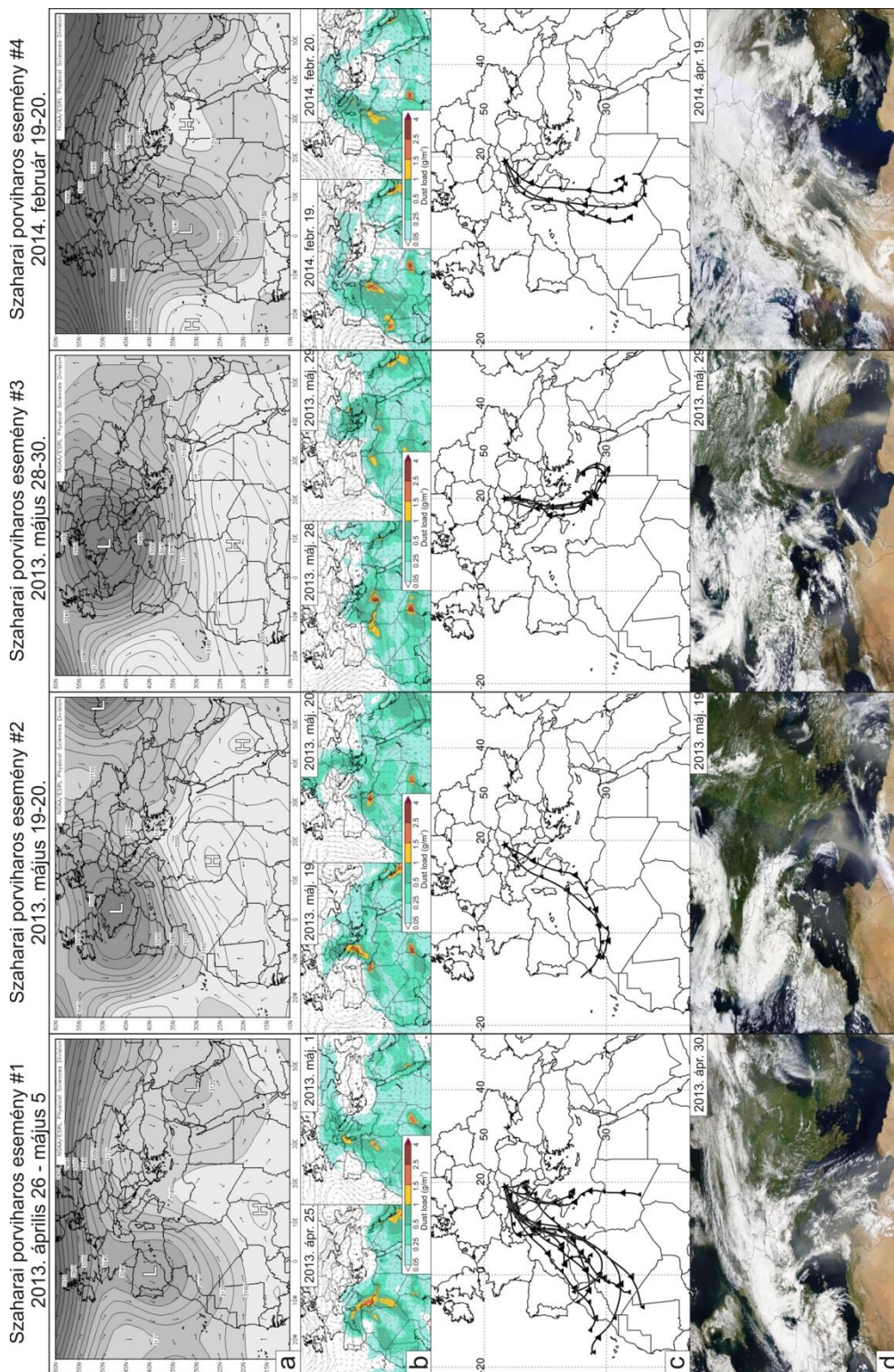
6. ábra: A saharai por a: száraz és b: nedves ülepedésének havi viszonyai, a BSC DREAM 8b v1.0 és v2.0 adatbázis alapján.

A kiüledő por szezonális eloszlásának modellszámításokkal szimulált mintázata az eddigi vizsgálataink alapján tehát jól tükrözi a valós helyzetet, azonban a felszínen lerakódó por mennyiségére vonatkozóan jelentős alulbecslést feltételezünk. A Földközi-tenger térségéből ismertek publikált porülepedés mérések, melyek alapján szintén alulbecsültek adódtak a szimulációs számítások. Ezt a későbbiekben a modell fejlesztésével foglalkozó szakemberek is megerősítették (Basartexverb.). Így a továbbiakban is csak durva becsléseink lehetnek a hazánk területén lerakódó saharai por mennyiségére vonatkozóan, melyet így a modellszámítások és a környező európai mérőállomások adatai alapján $0,5-1 \text{ g/m}^2$ nagyságrendűnek vehetünk.

SZOKATLAN PORVIHAROS ESEMÉNYEK A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN 2013-BAN ÉS 2014 ELSŐ FELÉBEN

A hazánk területén azonosított poros események döntő többsége csupán a műholdas mérési adatsorokon felismerhető, a felszínről nem észlelhetők, különösen nem szabad szemmel. Néhány esetben a kimosódás elszínezheti a csapadékot, mely a felszíni tereptárgyakon lerakódhat. Egyes alkalmakkor szokatlan légköroptikai jelenségeket okozhat a sivatagi por jelenléte (pl. légkör áteresztőképességének csökkenése, homályosság, Bishop-gyűrű). A 2013-

as év során, illetve 2014 elején több olyan szaharai poros helyzet is kialakult, mely mindenki által észlelhető volt és a média is számos alkalommal beszámolt a szaharai porról, a nagy területeket érintő kimosódásról (7. ábra).

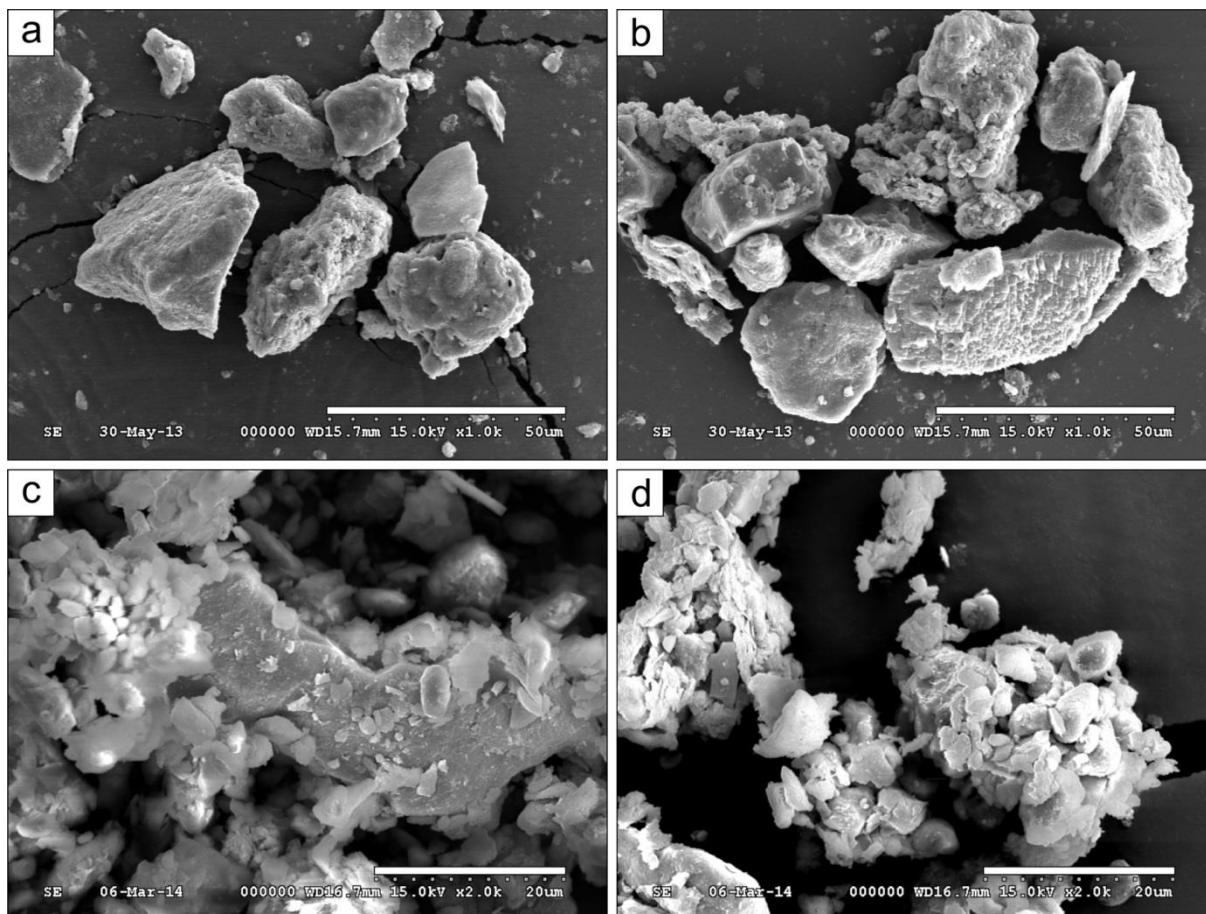


7. ábra: A 2013-ban és 2014 elején észlelt szokatlan szaharai porviharos események jellemzőinek összefoglaló ábrája (a: geopotenciál szint és szélvektorok 700 mb-on; b: BSC DREAM 8b pormodell szimulációi; c: HYPLIT trajektóriák 3000 m tszf.; d: NASA MODIS Terra és Aqua műholdfelvételek).

2013 áprilisának végén egy nagykiterjedésű anticiklon formálta hazánk időjárását. A leszálló áramlatok hatására kialakult száraz, meleg és felhőtlen időképet a halványsárga színű, homályosnak tűnő légkör tette különlegessé. A BSC DREAM 8b porszimulációk április 26-tól egészen május 5-ig folyamatosan szaharai port mutattak hazánk légkörében. A szokatlanul hosszú időn keresztül fennálló délnyugati áramlás háttérében egy DNy-Európa és ÉNy-Afrika fölött képződött ciklon és ennek az alacsonynyomású légköri képződménynek a kelet felé történő mozgását akadályozó kiterjedt anticiklon álltak. A két eltérő nyomásviszonyú légköri központ között csaknem két hétig állandósult a délnyugatias áramlás, mely során hatalmas mennyiségű szaharai por érkezett algériai, tunéziai és líbiai forrásterületekről a Kárpát-medence légkörébe.

Nem sokkal az előző poros esemény után, még két szaharai porviharos epizódot azonosítottunk május végéig. Május 19-én egy É-Afrikától É-Európaig húzódó, nagykiterjedésű, kelet felé mozgó ciklon előoldalán érkezett sivatagi eredetű poranyag hazánk légkörébe, mely hasonlóan az előző esethez a légköri átlátszóságot csökkentette. Nem úgy, mint a május 29-én és 30-án észlelt nedves kimosódással együtt járó eset. Ekkor az ország keleti feléből számos helyről jelentettek gépjárművek szélvédőjén, tetőablakokon és egyéb tereptárgyakon észlelt pirosas színű, finomszemcsés lerakódást. Az esemény háttérében egy hosszú időn keresztül Közép-Európa fölött tartózkodó, mély ciklon állt, mely egy rendkívül lassan mozgó planetáris hullám alacsonynyomású részén alakult ki. (A ciklonhoz kapcsolódó heves esőzések váltották ki a júniusi dunai árhullámot 2013-ban.) Ezzel egy időben, az Atlasz-hegységtől délre kialakult egy ún. Sharav ciklon, mely ciklontípus a Földközi-tenger keleti medencéjének tavaszi és nyári porkitöréseire felelős. A sekély, észak-afrikai eredetű alacsonynyomású rendszer szokásos nyugat-keleti irányú mozgáspályáját – és ezáltal az előoldalán szállított szaharai poranyag sodródását – a Kelet-Európa meteorológiai helyzetét meghatározó ciklon északi irányba térítette el. A szaharai por a Balkán-félszigeten és a Kárpát-medence keleti felében mosódott ki nagymennyiségben, a gyűjtött mintákban kifejezetten nagyméretű (35–40 µm) kvarc szemcséket is azonosítani lehetett (8. ábra).

2014 februárjában szintén jelentős mennyiségű szaharai por által elszínezett csapadék hullott hazánk területén. Egy, a jet-stream szokatlanul délre lenyúló szárnyáról lefűződött magassági hidegcsepp alakult ki, melynek következtében eső, hó- és porviharok alakultak ki ÉNy-Afrikában. Az északnyugati irányba mozgó alacsonynyomású rendszer hatalmas mennyiségű port juttatott a levegőbe algériai és tunéziai forrásterületekről. Mivel a rendszer további keleti irányú sodródása az ÉK-Afrika fölött elhelyezkedő magasnyomású központ által blokkolva volt, a porral telített légtömegek észak felé sodródtak tovább, és február 19-én érték el a Kárpát-medencét. A 2013. május végi kimosódással ellentétben, poranyag jellemzően finom-kőzetliszt és agyag-frakciójú szemcsékből állt össze.



8. ábra: Pásztázó elektronmikroszkópos felvételek a 2013. május 29-i (a-b) és a 2014. február 19-i szaharai poros események után gyűjtött mintákról. A fehér méretarány hossza a-b: 50 μm , c-d: 20 μm (felvételek: Cserháti Csaba).

ÖSSZEFOGLALÁS

Az 1979-től vizsgált napi aeroszol adatmátrixok alapján megállapítható, hogy a szaharai porviharos események viszonylag gyakoriak hazánk légkörében. 1979 és 2011 között 130 ilyen eseményt sikerült azonosítanunk, jellemzően tavaszi és nyári időszakokban. Az intenzív porkifúvások kialakulásához vezető szinoptikus meteorológiai helyzeteket, szállítási útvonalakat és az egyes eseményekhez köthető lehetséges forrásterületeket is meghatároztuk. Három jellemző szinoptikus főtípust tudunk elkülöníteni, melyek közül a leggyakoribb eset egy az Atlanti-óceán északi medencéje és Északkelet-Afrika felett található magasnyomású légköri képződmény, és a kettő közé északról lehúzódnó teknő vagy ciklon kialakulásához köthető, döntően tavasszal és nyáron. Jellemzőn tavasszal észlelhetünk mediterrán ciklonok előoldali áramlása által hazánk fölé sodort sivatagi szemcséket légkörünkben. Viszonylag ritkán északnyugat/nyugat felől is érkezik a Kárpát-medence területére csekély mennyiségű szaharai poranyag, amely kezdetben az afrikai kontinens északnyugati régiója felől az Atlanti-óceán felé vette útját, de egyre északabbra sodródva a nyugatias áramlások révén Európa belső területeire jutott végül.

A 2013-ban és 2014 elején tapasztalt porviharos események részletes elemzésével a kiüledő poranyag további fizikai paramétereit is sikerült elemeznünk a szemcseeloszlás mérések és az pásztázó elektronmikroszkópos felvételek segítségével. A kiüledés mértékének becslése azonban – még az egyre pontosabb számítógépes szimulációk elterjedése ellenére is – jelentős bizonytalanságokkal terhelt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- BASART, S. – PÉREZ, C. – NICKOVIC, S. – CUEVAS, E. – BALDASANO, J.M. 2012: Development and evaluation of the BSC-DREAM8b dust regional model over Northern Africa, the Mediterranean and the Middle East. – *Tellus B* 64. pp. 1-23
- CREMASCHI, M. 1990: The loess in northern and central Italy; a loess basin between the Alps and the Mediterranean regions. – In: CREMASCHI, M. (ed): *The loess in northern and central Italy; a loess basin between the Alps and the Mediterranean region (guidebook to the excursion in northern and central Italy, September-October 1988)*. Pubblicazione, Dipartimento de Scienzedella Terra dell'UniversitadegliStudi Milano. Sezione di Geologia e Paleontologia, NuovaSerie 602. pp. 15–19.
- DURN, G. – OTTNER, F. – SLOVENEK, D. 1999: Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. – *Geoderma* 91. (1–2) pp. 125–150.
- HARRISON, S.P. – KOHFELD, K.E. – ROELANDT, C. – CLAQUIN, T. 2001: The role of dust in climate changes today, at the last glacial maximum and in the future. – *Earth-Science Reviews* 54. (1–3) pp. 43–80.
- ISRAELEVICH, P.L. – LEVIN, Z. – JOSPEH, J.H. – GANOR, E. 2002: Desert aerosol transport in the Mediterranean region inferred from the TOMS aerosol index. – *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 107.(D21) 13 p.
- KOHFELD, K.E. – TEGEN, I. 2007: Record of Mineral Aerosols and Their Role in the Earth System. – *Treatise on Geochemistry* 4. (13) pp. 1–26.
- MUHS, D.R. – BUDAHN, J. – AVILA, A. – SKIPP, G. – FREEMAN, J. – PATTERSON, DEB. 2010: The role of African dust in the formation of Quaternary soils on Mallorca, Spain and implications for the genesis of Red Mediterranean soils. – *Quaternary Science Reviews* 29. (19–20) pp. 2518–2543.
- PÉREZ, C. – NICKOVIC, S. – BALDASANO, J. M. – SICARD, M. – ROCADENBOSCH, F. – CACHORRO, V. E. 2006a: A long Saharan dust event over the western Mediterranean: Lidar, Sun photometer observations, and regional dust modeling. – *Journal of Geophysical Research* 111.(D15214).
- PÉREZ, C. – NICKOVIC, S. – PEJANOVIC, G. – BALDASANO, J. M. – ÖZSOY, E. 2006b: Interactive dust-radiation modeling: A step to improve weather forecasts. – *Journal of Geophysical Research* 111. D16206.
- POSFAI, M. – BUSECK, P.R. 2010 : Nature and climate effects of individual tropospheric aerosol particles. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 38. pp. 17–43.
- VARGA GY. 2010: Gondolatok a porviharok és a klimatikus, környezeti folyamatok összefüggéseiről. – *Földrajzi Közlemények* 134. (1) pp. 1–14.
- VARGA GY. 2012: Szaharai eredetű por a Kárpát-medence légkörében. *Földrajzi Közlemények* 136. (2) pp. 106–124.
- VARGA, GY. – KOVÁCS, J. – ÚJVÁRI, G. 2013: Analysis of Saharan dust intrusions into the Carpathian Basin (Central Europe) over the period of 1979-2011. – *Global and Planetary Change* 100. pp. 333–342.
- VARGA, GY. – ÚJVÁRI, G. – KOVÁCS, J. (megjelenés alatt). Spatiotemporal patterns of SaharandustoutbreaksintheMediterraneanBasin. – *Aeolian Research*.
- VARGA, GY. – CSERHÁTI CS. – KOVÁCS, J. – SZEBERÉNYI, J. – BRADÁK, B. (közlésre elfogadva). UnusualSaharandusteventsintheCentral European CarpathianBasinin 2013 and early 2014. – *Weather*.
- YALON, D.H. 1997: SoilsintheMediterraneanregion: whatmakesthendifferent? – *Catena*. 28. pp. 157–169.