



DEBRECENBEN MEGFIGYELT MAGAS SZÁLLÓ POR (PM₁₀) KONCENTRÁCIÓ ELEMZÉSE

GÉCZI GÁBOR¹- QOR-EL-AINE ACHRAF²- BÉRES ANDRÁS³

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Gödöllő

¹Környezettudományi Intézet, ²Műszaki Tudományi Doktori Iskola, ³Egyetemi

Laborközpont

ÖSSZEFOGLALÁS

A szálló por (PM₁₀) problémát jelent az emberi élet, az épített környezet és a mezőgazdasági termelés számára, különösen akkor, ha a koncentráció magas. A tanulmány fő célja, hogy magyarázatot találjunk hazánk második legnépesebb és harmadik legnagyobb területű településén - Debrecenben – 2019 októberében tapasztalt magas PM₁₀ koncentráció okaira.

Alkalmaztuk a légtömeg pályák visszakövetését HYSPLIT szoftver segítségével és kerestük az összefüggéseket a térséget jellemző meteorológiai jellemzők és a szállópor (PM₁₀) koncentráció között.

Az eredmények azt mutatják, hogy Debrecen magas PM₁₀ koncentrációja abban az időszakban, az alacsony szélsebességnek köszönhető. A fűtési rendszer porterhelése mellett meghatározó Románia nyugati régióiból és Szerbia közép-keleti területeiről a nagy hatótávolságú szennyezőanyag terjedés és mindezek mellett a széliránytól függően, Németország észak-nyugati része, Lengyelország déli régiói és Szlovákia keleti része is hozzájárulhatnak Debrecen PM₁₀ szintjéhez.

Kulcsszavak: PM₁₀, levegőminőség, Debrecen

BEVEZETÉS

A szálló por (PM₁₀) problémát jelent az emberi élet, az épített környezet és a mezőgazdasági termelés számára, különösen akkor, ha a koncentráció magas. A tanulmány fő célja, hogy magyarázatot találjunk hazánk második legnépesebb és harmadik legnagyobb területű településén - Debrecenben – 2019 októberében tapasztalt magas PM₁₀ koncentráció okaira.

Alkalmaztuk a légtömeg pályák visszakövetését HYSPLIT szoftver segítségével és kerestük az összefüggéseket a térséget jellemző meteorológiai jellemzők és a PM₁₀ koncentráció között.

Az eredmények azt mutatják, hogy Debrecen magas PM₁₀ koncentrációja abban az időszakban, az alacsony szélsőségeknek köszönhető. A fűtési rendszer portterhelése mellett meghatározó Románia nyugati régióiból és Szerbia közép-keleti területeiről a nagy hatótávolságú szennyezőanyag terjedés és mindezek mellett a széliránytól függően, Németország észak-nyugati része, Lengyelország déli régiói és Szlovákia keleti része is hozzájárulhatnak Debrecen PM₁₀ szintjéhez.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A levegőszennyezés - az ember és a környezetének kapcsolatában - napjaink egyik legnagyobb kihívása és megoldandó problémája. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) adatai szerint évente több mint 4 millió halálesetet hozható összefüggésbe a környezeti levegő állapotával (Health Effects Institute 2019). Az egyik meghatározó szennyezőanyag a szálló porrészecskék (PM), amelynek a tartós expozíciója növeli a szív- és érrendszeri, valamint tüdőbetegségek és szívrohamok kialakulásának kockázatát és magas koncentrációban korai halálhoz vezethet. A szálló porszemcsék mérete különböző tartományba eshet, az emberi egészség szempontjából két meghatározó frakciót különítünk el: a PM₁₀, a durva részecskék, amelyek átmérője 10µm alatti és a PM_{2,5}, az ún. finom részecskék, amelyek átmérője 2,5 µm és ez alatti tartomány (US EPA 2016).

A szálló por lehet természetes vagy antropogén eredetű. Természetes források, például vulkánok, erdőtüzek, porviharok és tengerek, óceánok párolgása (Misra et al. 2001), antropogén források közé soroljuk az ipari és mezőgazdasági tevékenységeket (*1. ábra*),

a közúti közlekedést és a háztartások tüzelőanyag felhasználását (Srimuruganandam és Shiva Nagendra 2012). A szállópor koncentrációjáról, terjedéséről és hatásáról szóló kutatások globálisan is (Lasiewicz et al. 2014) és lokálisan is (Srimuruganandam és Shiva Nagendra 2012, Krajčovičová et al. 2014, Shimadera et al. 2015) egyre nagyobb számban jelennek meg. Magyarországon a legnagyobb hangsúlyt a fővárost érintő szállópor tartalom, illetve a határokon áterjedő szennyezőanyagok kutatása jelenti (Salma et al. 2001, Muránszky et al. 2010, Ferenczi és Bozó 2017a, Rodríguez-Urrego és Rodríguez-Urrego 2020). A vidéki városokról szóló tanulmányok kisebb számban találhatók.

A távolsági közlekedés hatása Közép-Európában befolyásolja a nagyvárosok, például Budapest levegőminőségét. Budapest elhelyezkedése kedvezőtlen, mert a szennyezett levegőt a szél minden irányból szállíthatja. Néhány kiemelkedő ipari terület, például a Pó-völgye vagy Lengyelország déli része fontos szerepet játszik Budapest levegőminőségében. A PM₁₀ esetében fontos a határokon átnyúló források hatása és aránya meghaladja az 50 százalékot (Ferenczi és Bozó 2017a). De kutatások bizonyítják azt is, hogy a téli szmog kialakulásában a meteorológiai viszonyok fontos szerepet játszanak Budapesten (Ferenczi és Bozó 2017b).



1. ábra: Mezőgazdasági területek, mint időszakos pontforrások

Figure 1: Agricultural areas as periodic point sources

A levegőminőségre vonatkozó európai szabványok szerint a PM_{10} -koncentráció éves határértéke $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a napi küszöbérték pedig $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, amelyet évente 35 napnál többször nem szabadna túllépni (European Environment Agency 2019a). Magyarország esetében, 2017 -ben a PM_{10} éves átlagos koncentrációja ($50,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) meghaladta a határértéket és az év 90,41%-ban ennél is magasabb volt ($58,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sajnos az értékek 2018-ban ($50,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) és 2019-ben ($50,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sem javultak. A leginkább meghatározó forrás a háztartások fűtése, amelyeket az ipari folyamatok és a közúti forgalom követ (European Environment Agency 2019b). Magyarországot azonban a határon túlról érkező szállópor terhelés is érinti.

A szennyező anyagok terjedésének vizsgálatához az egyik legnépszerű módszer az Amerikai Óceán- és Légkörkutató Hivatal Légkör-kutató Laboratóriuma (NOAA ARL) által kifejlesztett HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) modell, amely az úgynevezett trajektória (légtömegpálya) (*backward trajectory*) útját egy adott helyről időben visszafelé követi nyomon. A HYSPLIT modell egy olyan korszerű rendszer, ami egyszerű trajektóriák modellezése mellett a szennyező anyagok terjedését és ülepedését is képes szimulálni (Sábitz 2012). Nagy előnye, hogy alapvetően Lagrange-i modell, de ötvözi az ismert Euler-i és Lagrange-i szemléletmódokat: nyomon követi az adott légrést, tehát számításba veszi az advekciót és a diffúziót is, emellett figyelembe veszi az adott légrést térbeli helyét is egy háromdimenziós rácsba vetítve, vagyis bármely térbeli pontban meghatározhatók az egyes légszennyező anyagok koncentrációi is (Sábitz 2010, Stein et al. 2015, Koracin et al. 2011).

ANYAG ÉS MÓDSZER

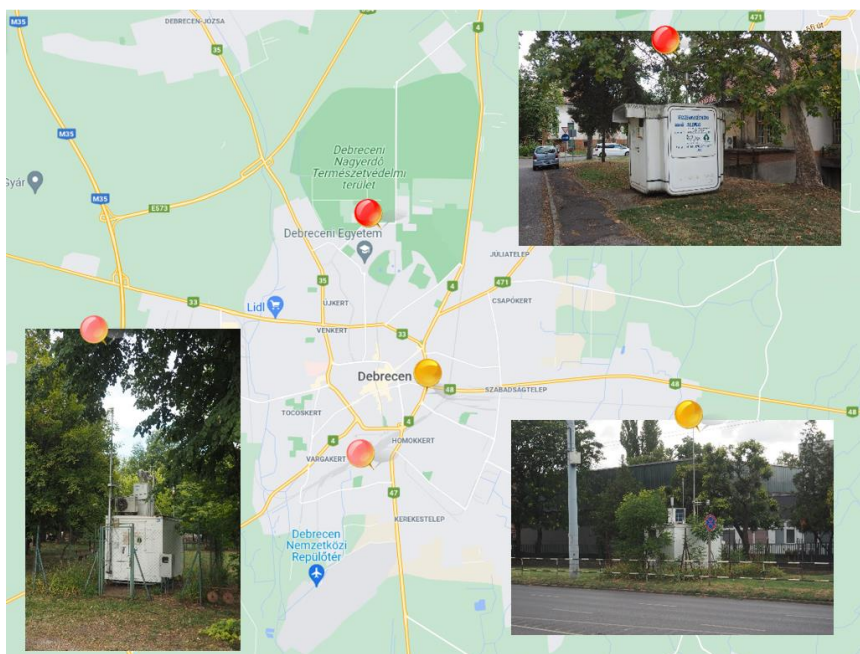
Jelen tanulmány célja, hogy felderítse azokat a potenciális területeket, országokat, ahonnan a 2019 októberében, Debrecenben és környékén bekövetkezett PM_{10} szennyezés származtatható. Debrecen egy kiterjedt mezőgazdasági térség centrumában helyezkedik el Budapeستől 230 kilométerre, Magyarország észak-alföldi régiójában, a román határ közelében. Hazánk második legnépesebb és harmadik legnagyobb területű települése 2019-ben 202 402 lakossal, és $461,25 \text{ km}^2$ közigazgatási területtel (Magyar Központi Statisztikai Hivatal 2020). Jelenleg is meghatározó a mezőgazdaság szerepe a város gazdaságában. Debrecen porterhelésében is elsősorban a háztartások fűtése és a

közlekedés a meghatározó, de az említett időszakban a forrásokat egyértelműen „messzebb” kell keresni.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatai alapján Debrecen 123 méter tengerszint feletti magasságon található, éghajlata melegnek és mérsékeltnek tekinthető, a csapadék mennyisége eléri az 560 mm-t évente. A 2019 évben az átlaghőmérséklet 12°C volt, a leghidegebb hónap január (- 1,4°C), a legmelegebb hónap az augusztus (23,4°C) (OMSZ 2020).

Magyarországon a levegőminőség mérését, értékelését az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) végzi és az eredményeket hivatalos honlapján folyamatosan teszi elérhetővé. Debrecenben 3 mérő állomás található (Hajnal u.; Kalotaszeg tér és a Debreceni Egyetem Klinikai Központ területén) (2. ábra). Mindhárom állomás folyamatosan méri a kén -dioxid (SO₂), a nitrogén -dioxid (NO₂), a nitrogén -oxid (NO), a szén -monoxid (CO) és a PM₁₀ koncentrációt. A vizsgálatokhoz használt szennyezőanyag koncentrációk ezen mérőállomások adatbázisából származnak. 2019. október 19-29. között a PM₁₀-koncentráció napi átlaga több mint 7 napon keresztül 50µg/m³ felett volt. Az elemzésekhez felhasználtuk az OMSZ által biztosított meteorológiai adatokat, mint levegőhőmérséklet, relatív páratartalom, csapadék mennyiség, szélesebbesség és szélirány.

Tanulmányunkban a Debrecenre vonatkozó légtömegpályák visszakövetését végeztük el 2019. október 18. és 30. közötti időszakra. Összesen 5 darab 72 órás légtömeg pályát elemeztünk, mindegyiket 100 méteres kezdő magassággal, amelyeket a Global Data Assimilation System (GDAS) meteorológiai adatokkal indítottunk. Az adatok a National Climatic Data Centre (NCDC) adatbázisából származnak, amelyhez a National Centers for Environmental Information (NCEI) nyilvános hozzáférést biztosít.



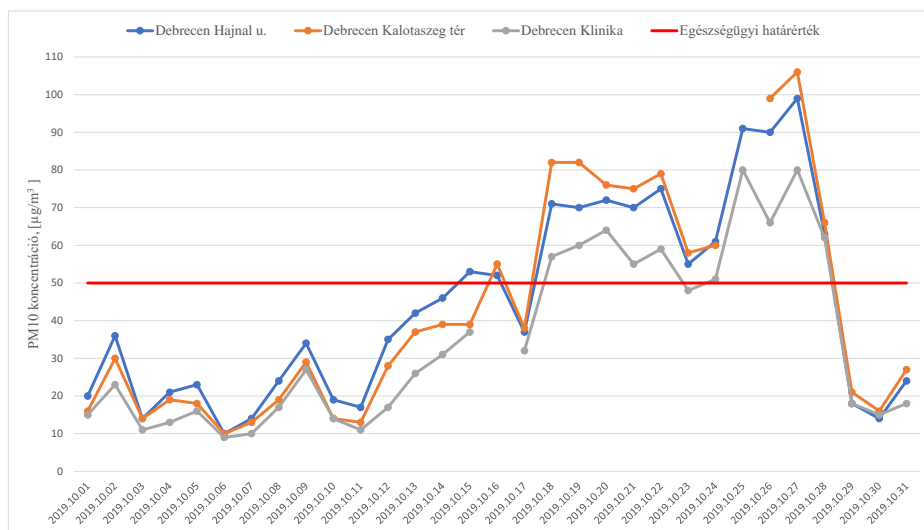
2.ábra: Debrecen levegőminőség mérőállomásainak elhelyezkedése

Figure 2: Location of air quality measuring stations in Debrecen

EREDMÉNYEK

A 2019 októberében tapasztalható levegőminőségi paraméterek a korábbi években nem tapasztalható szennyezettséget mutattak. A 3. ábrán látható, hogy a szálló por (PM_{10}) napi átlag koncentrációja 11 egymást követő napon a meghaladta – vagy nagyon megközelítette – az $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ -t mindhárom levegőminőség ellenőrző állomáson. A legmagasabb napi átlag koncentrációt - $106\mu\text{g}/\text{m}^3$ - a Debrecen Kalotaszeg téri állomáson mérték. A legkritikusabb időszak október 18 és 28 közé esett. Ebben az időszakban még a Debreceni Egyetem Klinikai Központjánál, erdős, fás környezetben található mérőállomása is 10 alkalommal mért a napi egészségügyi határérték feletti PM_{10} koncentrációt. A 2019 októberében tapasztalható levegőminőségi paraméterek a korábbi években nem tapasztalható szennyezést mutattak. 2017 októberében az átlagos PM_{10} koncentráció $26,92\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2018 októberében $28,42\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, ugyanakkor 2019 október havában az átlagos érték $40,51\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. A 3. ábrán látható, hogy a szálló por (PM_{10}) napi átlag koncentrációja 11 egymást követő napon a meghaladta – vagy nagyon

megközelítette – az 50µg/m³-t mindhárom levegőminőség ellenőrző állomáson. A legmagasabb napi átlag koncentrációt - 106µg/m³ - a Debreceni Kalotaszeg téri állomáson mérték. A legkritikusabb időszak október 18 és 28 közé esett. Ebben az időszakban még a Debreceni Egyetem Klinikai Központjánál, erdős, fás környezetben található mérőállomása is 10 alkalommal mért az egészségügyi határérték feletti koncentrációt.



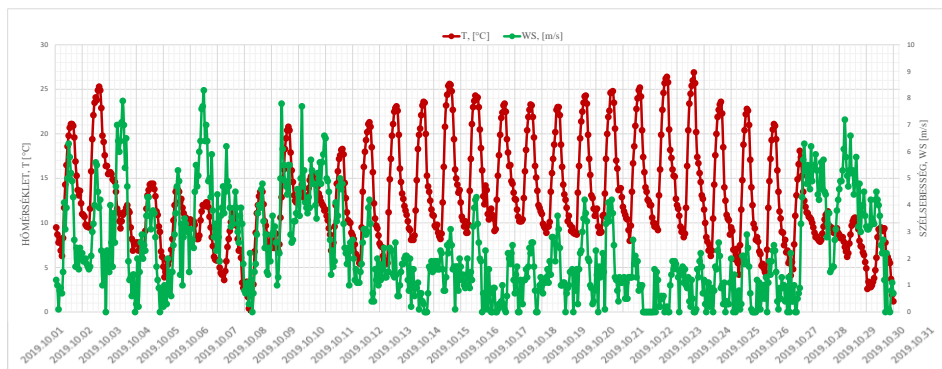
3.ábra: PM₁₀ koncentráció alakulása Debrecenben 2019 októberében

Figure 3: PM₁₀ concentration as a function of days on Debrecen in October 2019

A levegőminőséget a szennyező forrás távolsága és intenzitása mellett nagymértékben befolyásolják a meteorológiai viszonyok. Kiragadva a hőmérsékleti (T) értékeket és a szélesebbeséget (WS) a 4. ábrán némi magyarázatot kapunk a vizsgált időszak magas szállópor koncentrációjára. Debrecenben 2019 októberének átlaghőmérséklete 12,7 °C volt, a legmagasabb hőmérsékletet 24-én mérték, 26,9°C-t, a legalacsonyabb hőmérséklet pedig -1,6°C volt 8-án.

A szélesebbesség (WS) is nagymértékben változott a hónap folyamán. 2019 októberében az első két hét során többször meghaladta a 5 m/s szintet és 6-án 8,3 m/s is sebességet is regisztráltak. Október 10-e volt a legszelesebb nap, azon a héten, átlagosan 4,9 m/s szélesebbesség adódott és a maximális sebesség elérte a 7,7 m/s értéket. Október 12-e után azonban a szél sebessége jelentősen lecsökkent, 2 m/s alatt volt, a napi átlagok pedig 1

m/s-nál is kisebbek. Október utolsó 3 napjára ismét visszatért a hónap elejére jellemző nagyobb szélesség.



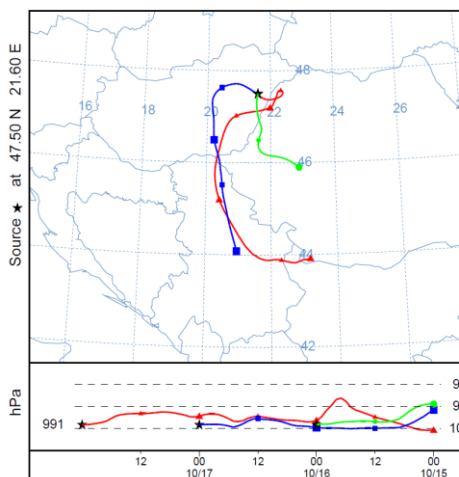
4 ábra: A hőmérséklet és a szélesség alakulása 2019 október hónapban

Figure 4: Temperature and wind speed changes in October 2019

A szélirány tekintetében – az ábrán nem látható – 10%-ban délről fúj, 9%-ban kelet-északkeleti és észak-északkeleti irányból. Azokban a napokban, amikor a PM_{10} koncentrációja meghaladta az egészségügyi határértéket, a szél sebessége nagyon alacsony értékű, a maximális hőmérséklet $22^{\circ}C$ felett volt. A minimális hőmérséklet 4 és $8^{\circ}C$ között adódott. Az utolsó 3 napban a PM_{10} koncentrációja ismét az egészségügyi határérték alá kerül - a napi átlag $18,15$ és $18 \mu g/m^3$ közötti - köszönhetően a növekvő szélességnek.

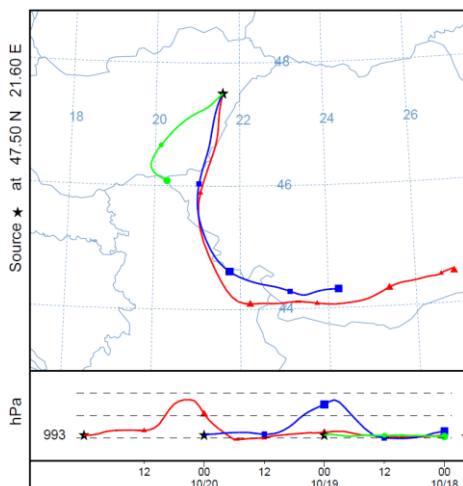
Az 5-9. ábrákon a HYSPLIT szoftver algoritmusával történt légtömegpályák visszakövetését mutatjuk be, hogy a magas szállópor koncentrációt okozó szennyezések forrására magyarázatot találjunk. Az október 18 -tól kezdődő pálya visszakövetés (5. ábra) azt mutatja, hogy a szilárd szennyezőanyagok Szerbia középső részéből (a Bor- és Braničevo -körzetből és Belgrád városából), valamint a magyar határhoz közeli, a Románia nyugati részén található Bánság és Crisana régió felől érkeztek. Az október 21-re történő légtömegpályá visszakövetés (6. ábra) szintén azt mutatja, hogy Románia Bánság, Crisana, Olténia és Walachia régiókból, valamint a Szerbia Bori kerületéből származott a szennyezőanyag, amelyek hozzájárultak a debreceni magas PM_{10} koncentrációhoz. Ugyanakkor a 7. ábrán már az is látható, hogy a Szerbiából érkező

légtömegek mellett a szállópor Horvátország nyugati részéről is származhat. A 8. ábra jól szemlélteti, hogy az október 27 -én kezdődő légtömegpályák romániai Crisana régióiból indulnak és hozzájárulnak Debrecen levegőminőség alakulásához. Az utolsó (9. ábra) 72 óras visszakövető pálya elemzés október 30-ra történt és bemutatja azon részecskék útját, amelyek Németország északnyugati partvidékéről, Lengyelországon és Szlovákián áthaladva Debrecenben végződnek.



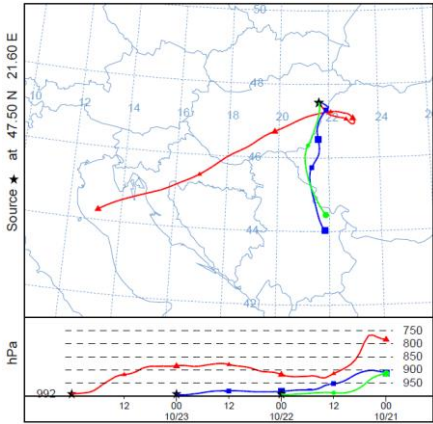
5. ábra: 72 óras légtömegpálya visszakövetés 2019. október 18-ra

Figure 5: 72-hour backward trajectory to October 18, 2019

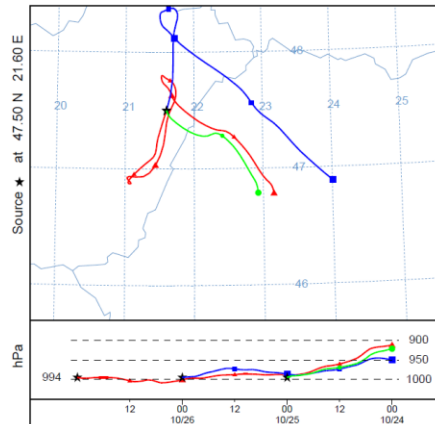


6. ábra: 72 óras légtömegpálya visszakövetés 2019. október 21-re

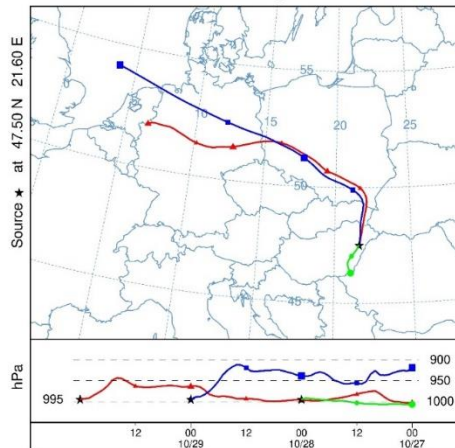
Figure 6: 72-hour backward trajectory to October 21, 2019



7. ábra: 72 órás légtömegpálya visszakövetés 2019. október 24-re
 Figure 7: 72-hour backward trajectory to October 24, 2019



8. ábra: 72 órás légtömegpálya visszakövetés 2019. október 27-re
 Figure 8: 72-hour backward trajectory to October 27, 2019



9. ábra: 72 órás légtömegpálya visszakövetés 2019. október 30-ra
 Figure 9: 72-hour backward trajectory to October 30, 2019

ÖSSZEFOGLALÁS

A PM₁₀ egyike azoknak a szennyező anyagoknak, amelyek egészségünkre és környezetünkre kedvezőtlen hatást gyakorolnak, eredetük megértése segít a monitoring rendszerek fejlesztésében, javításában. A 2019 -ben Debrecenben előforduló magas PM₁₀ koncentrációnak számos oka volt. Elsőként a magas légnyomás, az anticiklonális áramlási mező és ennek következtében a kis szélsébség járulhatott hozzá. De valószínűsíthető a vertikális hőmérsékleti profil is olyan volt, hogy kicsi volt a határreteg magasság, ezért alul beszorulhatott a szennyezőanyag, vertikálisan sem tudott hígulni. Ezek következtében a feldúsult szállópor részecskék semmilyen formában nem távoztak el a városból. Ezenkívül az októbert azon hónapok egyikének tekintik, ahol az emberek használni kezdik a fűtési rendszereket. Ez érthető, hiszen az éjszakai hőmérsékletek már alacsonyok voltak (4-8°C) és október 8-án a hőmérséklet -1,6°C-ra csökkent. A trajektóriák visszakövetései azt mutatták, hogy szerbiai Bor térsége mellett Románia Bánát és Crisana régiói hozzájárulnak a PM₁₀ Debrecenben mért koncentrációjához. Ezekben a régiókban találunk példákat ipari légszennyezőanyag kibocsátásra. Az említett régiók mellett Debrecen PM₁₀ terheltségi szintjét, a széliránytól függően, Németország észak-nyugati része, Lengyelország déli régiói és Szlovákia keleti része is befolyásolják.

ANALYSING THE HIGH PM10 CONCENTRATION OBSERVED IN DEBRECEN, HUNGARY

GÁBOR GÉCZI ¹- ACHRAF QOR-EL-AINE ²- ANDRÁS BÉRES ³

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Szent István Campus, Gödöllő

¹Institute of Environmental Science, ²Doctoral Schools of Mechanical Engineering

³University Laboratory Center

SUMMARY

Particulate matter (PM10) is a problem for human life, the built environment and agricultural production, especially when the concentration is high. The main goal of the study is to find an explanation for the reasons for the high PM10 concentration

experienced in October 2019 in the second most populous and third largest settlement in Hungary, in Debrecen.

We used Air Mass Backward Trajectories by HYSPLIT software and searched for relationship between area-specific meteorological characteristics (temperature, wind speed, relative humidity, etc.) and particulate matter (PM₁₀) concentrations.

The results show that the high concentration of PM₁₀ in that period is due to the low wind speed. In addition to the dust load on the heating system, the long-range particle transmission from the western regions of Romania and the middle-eastern parts of Serbia and depending on the wind direction, north-western Germany, southern Poland and eastern Slovakia may contribute to PM₁₀ levels in Debrecen.

Keywords: PM₁₀, air quality, Debrecen

IRODALOM

European Environment Agency (2019a): Air quality in Europe: 2019 report. LU: Publications Office.

European Environment Agency (2019b): Hungary - Air pollution country fact sheet — European Environment Agency.

Ferenczi Z.- Bozó L. (2017a): Effect of the long-range transport on the air quality of greater Budapest area. *International Journal of Environment and Pollution* 62(2/3/4) 407.

Ferenczi Z.- Bozó L. (2017b): The Influence of the meteorological on the extreme high PM₁₀ concentrations in Hungarian urban areas. Bologna, Italy

Health Effects Institute (2019): State of Global Air report 2019.

Magyar Központi Statisztikai Hivatal (2020): Detailed Gazetteer of Hungary - Debrecen.

Kim, K.H. - Kabir, E. - Kabir, S. (2015): A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International* 74, 136–143.

Koracin, D. – Vellore, R. – Lowenthal, D.H. – Watson, J.G. – Koracin, J. – McCord, T. – DuBois, D.W. – Chen, L.W.A. – Kumar, N. -Knipping, E.M. – Wheeler, N.J.M. –

Craig, K. – Reid, S. (2011) Regional Source Identification Using Lagrangian Stochastic Particle Dispersion and HYSPLIT Backward-Trajectory Models. *Journal of the Air & Waste Management Association* 61(6), 660–672.

- Krajčovičová, J. - Kremler, M. - Matejovičová, J.* (2014): Local PM₁₀ source apportionment for non-attainment areas in Slovakia. *International Journal of Environment and Pollution* 54(2/3/4), 166.
- Lasiewicz, M. - Bogusz, M. - Kośła, M.* (2014): Universal system for forecasting changes in PM₁₀ and PM_{2.5} particulate matter air pollution concentration. *International Journal of Environment and Pollution* 56(1/2/3/4), 94.
- Misra, C. - Geller, M.D. - Shah, P. - Sioutas, C. - Solomon, P.A.* (2001): Development and Evaluation of a Continuous Coarse (PM 10 –PM 25) Particle Monitor. *Journal of the Air & Waste Management Association* 51(9), 1309–1317.
- Muránszky G. - Wei-wei, L. - Óvári M. - Jun, Y. - Shi-hua, Q. - Yasemin, B. - Záray Gy.* (2010): Elemental analysis of urban aerosols collected in Budapest (Hungary) and Wuhan (China). *Toxicological & Environmental Chemistry* 92(3), 421–428.
- Reizer, M. - Juda-Rezler, K.* (2016): Explaining the high PM₁₀ concentrations observed in Polish urban areas. *Air Quality, Atmosphere & Health* 9(5), 517–531.
- Rodríguez-Urrego, D. - Rodríguez-Urrego, L.* (2020): Air quality during the COVID-19: PM_{2.5} analysis in the 50 most polluted capital cities in the world. *Environmental Pollution* 266, 115042.
- Salma I. - Maenhaut, W. - Zemplén-Papp É. - Záray Gy.* (2001): Comprehensive characterisation of atmospheric aerosols in Budapest, Hungary: physicochemical properties of inorganic species. *Atmospheric Environment* 35(25), 4367–4378.
- Sábitz J. - Solymosi Z. - Solymosi N.* (2012): AGMAAS: a GIS integrated tool for modelling wind-borne spreading of FMD virus. *Nat Prec.*
- Shimadera, H. - Kojima, T. - Kondo, A. - Inoue, Y.* (2015): Performance comparison of CMAQ and CAMx for one-year PM_{2.5} simulation in Japan. *International Journal of Environment and Pollution* 57(3/4), 146.
- Srimuruganandam, B. - Shiva Nagendra, S.M.* (2012): Source characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} mass using a chemical mass balance model at urban roadside. *Science of The Total Environment* 433, 8–19.
- Stein, A.F. - Draxler, R.R. - Rolph, G.D. - Stunder B.J.B. - Cohen, M.D. - Ngan, F.* (2015): NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(12), 2059–2077.
- Országos Meteorológiai Szolgálat* (2020): Annual data - Data - met.hu - Debrecen.
- US EPA* (2016): Particulate Matter (PM) Basics.

A szerzők levélcíme – Address of the authors:

Dr. Géczy Gábor

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Gödöllő
Környezettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

e-mail: geczi.gabor@uni-mate.hu

Qor-El-Aine Achraf

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Gödöllő
Műszaki Tudományi Doktori Iskola, 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

e-mail: qorelaine.achraf@gmail.com

Dr. Béres András

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Gödöllő
Egyetemi Laborközpont, 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

e-mail: beres.andras@uni-mate.hu