

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Kémia Doktori Iskola

***A szálló porok ($PM_{2,5}$, PM_{10}) nyomelem-koncentrációjának (As, Cd, Ni, Pb)
tér- és időbeli eloszlása valamint az emberi egészségre gyakorolt hatása
Romániában***

A doktori értekezés tézisei

Bodor Katalin

Témavezető:

Dr. Szép Róbert

vezető kutató



PÉCS, 2023

Bevezetés

A légszennyezés problematikája egyidős az emberiséggel, kezdetekben a légszennyezés mértéke helyi vagy legfeljebb regionális problémát jelentett, ellenben napjainkban ez már globális mértéket ölt. A levegőszennyezés drasztikus növekedése főként a gazdasági fejlődés mértékével magyarázható. A népességnövekedés és ebből adódóan egyre több antropogén tevékenység (szállítás, energiatermelés, ipar, stb.) mind nagymértékben hozzájárul a környezetszennyezés jelen mértékű magas szintjéhez.

Arányaiban tekintve a fosszilis energiahordozók égetése képviseli a legjelentősebb terhet a környezetre. Az antropogén eredetű légszennyezés mellett megkülönböztetünk természetes eredetű légszennyező anyagokat is. Világviszonylatban törekednek a szennyező anyag kibocsátás csökkentésére, ezért számos javító intézkedést vezettek be, a fosszilis energiahordozókról való leválás és környezettudatosabb életszemlélet alkalmazásával.

A légszennyezés egészségkárosító hatásait számos tanulmány, kutatás bizonyítja, úgy rövid, mind hosszú távon káros hatással van az emberi egészségre, hozzájárul a megbetegedések kialakulásához, és a korai elhalálozáshoz.

Elmondható, hogy a légszennyezés a környezetre és a közegészségügyre, közvetetten pedig a gazdaságra is jelentős negatív hatással van, ezért nagyon célszerű olyan integrált politikai programok bevezetése, amelyek a légszennyezés okát, következményeit hivatottak csökkenteni, kiküszöbölni.

A légszennyezésnek való kitettség rövid távú tünetei közé tartozik a viszkető szem, az orr és a torok fájdalom, a zihálás, a köhögés, a légszomj, a mellkasi fájdalom, a fejfájás, az émelygés, valamint a légúti fertőzések. A magas koncentrációjú PM₁₀ hosszú távú expozíciója számos egészségügyi hatást és korai halálozást okozhat, például tüdőrákot, szív- és érrendszeri betegségeket, krónikus légúti betegségeket és allergiákat. A PM₁₀ elérheti a légúti légcső hörgő- és alveoláris régióit, a PM_{2,5} bejut a tüdőben és akkumulálódik, az ultrafinom szálló por már a vérerekbe is képes átjutni, így károsítva az emberi egészséget. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) jelentései alapján a légszennyezés jelenti az egyik legnagyobb környezeti kockázatot az emberi egészségre nézve, a megbetegedések és az elhalálozások 22%-a összefüggésben hozható a légszennyezéssel.

Továbbá Románia esetében a légszennyezettségi szint változásához számos tényező járul hozzá, mint például a komplex természet- és társadalomföldrajzi diverzitása, a változatos domborzati viszonyok: minden domborzati forma (síkság, dombvidék, fennsíkok, hegyek) megtalálható közel azonos arányban, és a Kárpátok hegyvonulata adja az ország gerincét. A városok elhelyezkedése és fejlődése az altalajkincsek változatosságához kapcsolódik. Mindezen gazdasági, földrajzi, társadalmi tényező hatással van a szállópor-kibocsátásokra is. Kimutathatóan megjelennek a térségben a határokon túlról érkező szennyeződések, melyek közt találhatunk természetes és antropogén eredetűeket egyaránt.

1. Célkitűzések

Kutatásaim során tanulmányoztam regionális és országos viszonylatban a szálló porok ($PM_{2,5}$ és PM_{10}) koncentrációinak időbeli változását, összehasonlító tanulmányt készítettem azok alakulásáról, valamint számításokat végeztem az egészségre gyakorolt hatásaikról. A többlépcsős kutatásban megvalósított célkitűzések a következők voltak:

- A szálló porok ($PM_{2,5}$ és PM_{10}) tér- és időbeli alakulása Románia összes régiójában, valamint relatív kockázat (RR) számítása.
- A PM_{10} -ből származó As és nehézfémek (Cd, Ni, Pb) tér- és időbeli változásainak elemzése Románia összes régiójában, valamint a veszélyességi hányados (HQ) és a rákkockázat (CR) értékelése gyermekek és felnőttek esetében, három különböző expozíciós útvonalon: belézés, lenyelés és bőrfelszívódás.
- Összehasonlító tanulmány készítése az ipari szempontból Románia egyik legszennyezettebb térségében, a Szeben megyei Kiskapuson, a PM_{10} -ből származó nehézfémek koncentrációjának alakulásáról és egészségügyi hatásainak becsléséről.
- A finom ($PM_{2,5}$) és a durva (PM_{10}) szálló porokból kimutatható nehézfémek (Cd, Ni, Pb) időbeli elemzése és egészségügyi hatásainak tanulmányozása Bukarestben.
- További kutatásaim során vizsgáltam a szélesendes körülmények között a csapadék kimosódása általi PM_{10} -koncentráció csökkentését a Csíki-medencében, figyelembe véve a csapadék erősségét, időtartamát és a meteorológiai paramétereket.
- Lezáró tanulmányként vizsgáltam a Csíki-medencében a szálló por (PM_{10}) időbeli eloszlásának alakulását 2008-2016 között, összefüggéseket keresve a meteorológiai paraméterek, szállópor-koncentráció, valamint a napi légúti valamint szív- és érrendszeri megbetegedésekkel történő beutalások között.

2. Alkalmazott módszerek

A kutatásaim során Románia összes régiójában vizsgáltam a szállóporok As- és nehézfém (Cd, Ni, Pb) tartalmának tér és időbeni alakulását. A feldolgozott légszennyező adatokat az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózatból töltöttem le. A szállóporok-koncentrációja az EN 12341 szabvány alapján gravimetriás módszerrel határozható meg. Az As-, Cd-, Ni- és Pb-koncentrációjának mérésére szolgáló referencia-módszer megfelelt az SR EN 14902 "A környezeti levegő minősége a PM₁₀ részecskék frakciójából" megnevezésű szabványoknak.

A légszennyezettségi szint tér- és időbeli változásának elemzéséhez statisztikai módszereket: leíró statisztika, doboz diagram elemzés, hőtérkép, Pearson, Spearman korreláció, fő komponens elemzés, Hierarchikus Klaszterelemzést valamint koncentrációvak súlyozott pályákat (CWT) alkalmaztam.

Az egészségügyi hatások tanulmányozása érdekében a szállóporok PM_{2,5} és PM₁₀ rövid és hosszú távú egészségügyi kockázatértékelési modellét alkalmaztam.

$$RR = \exp[\beta(X - X_0)] \quad (1)$$

ahol: X - a PM₁₀ éves átlagos koncentrációját jelenti ($\mu\text{g m}^{-3}$), X_0 - a PM₁₀ háttér-koncentrációját ($10 \mu\text{g m}^{-3}$), β - a kockázati függvény együtthatója.

$$RR = [(X + 1)/(X_0 + 1)]^\beta \quad (2)$$

ahol: X - a PM_{2,5} éves átlagos koncentrációja ($\mu\text{g m}^{-3}$), X_0 - a PM_{2,5} háttér-koncentrációja ($3 \mu\text{g m}^{-3}$), és β - a kockázati függvény együtthatója.

A szállóporok As- és nehézfém (Cd, Ni, Pb) tartalmára vonatkozó egészségkárosító mutatókat számoltam három különböző útvonalra: belégzés, lenyelés és bőrön keresztüli felszívódás során.

$$CDI_{ing} = (C \times IngR \times EF \times ED \times CF)/(BW \times AT) \quad (3)$$

$$EC_{inh} = (C \times ET \times EF \times ED)/AT \quad (4)$$

$$DAD_{derm} = (C \times SA \times AF \times EV \times ABS \times EF \times ED \times CF)/(BW \times AT) \quad (5)$$

ahol: CDI_{ing} - a lenyelés útján bevitt napi vegyianyag-bevitel,
 EC_{inh} - a belégzés útján történő expozíció koncentrációja,
 DAD_{derm} - a bőrön keresztüli felszívódás dózisa.

A kockázatértékelést külön elemeztem a nem rákkeltő és a rákkeltő hatásokra vonatkozóan. A nem karcinogén kockázatot a veszélyességi hányadossal (HQ), a karcinogén hatás pedig a rákkockázattal (CR) jellemezhető. A PM₁₀-ben lévő As és nehézfémek HQ és CR kockázatát a következő egyenletek segítségével fejezhetjük ki a belégzés, a lenyelés és a bőrrel való érintkezés esetén:

$$HQ_{ing} = CDI/RfDo \quad (6)$$

$$HQ_{inh} = EC/(RfCi \times 1000 \mu\text{g mg}^{-1}) \quad (7)$$

$$HQ_{derm} = DAD/(RfDo \times GIABS) \quad (8)$$

$$CR_{ing} = CDI \times SFo \quad (9)$$

$$CR_{inh} = IUR \times EC \quad (10)$$

$$CR_{derm} = DAD \times (SFo/GIABS) \quad (11)$$

A CR értékelése során a vegyi anyagokat akkor tekinthetők rákkeltő kockázatúnak, ha a CR-értékek 10^{-4} és 10^{-6} között mozogtak.

A csapadék kimosó hatásának tanulmányozására a légkörtisztító hatás hatékonyságát vizsgáltam különböző intenzitású és időtartamú esőzések esetében: szélmentes állapot (szél sebesség $< 1 \text{ m s}^{-1}$); három különböző esőintenzitási szint (alacsony: $0,2-0,4 \text{ mm h}^{-1}$, mérsékelt: $0,4-3,9 \text{ mm h}^{-1}$, és heves esőzések: $> 3,9 \text{ mm h}^{-1}$); eső időtartama 1-6 óra. Az elemzéseket külön a hideg (október-március) és a meleg időszakra (április-szeptember) számítottam ki.

Lezáró tanulmányként egy epidemiológiai tanulmányt készítettem, amely során a Csíki medence PM_{10} szállópor koncentrációjának alakulását hasonlítottam össze a Csíkszeredai Megyei Sürgősségi kórházban beutalt légúti, szív- és érrendszeri betegségekkel, valamint a meteorológiai paraméterekkel. A hét vizsgált betegség a következő: 1. tüdőrák - LC (ICD-10 kód C33–C34); 2. akut miokardiális infarktus - AMI (ICD-10 kód I21); 3. ischaemiás szívbetegségek - IHD (ICD-10 kód I20-I25, kivéve I21); 4. krónikus kardiopulmonális betegség - CCP (ICD-10 kód I27.9); 5. felső légúti fertőzések - URTI (ICD-10 kód: J00-J06); 6. tüdőgyulladás - P (ICD-10 kód: J12-J18); 7. krónikus obstruktív tüdőbetegségek - COPD (ICD-10 kód: J44). A kórházi felvételeket férfiak és nők esetében öt korcsoportra bontva ([0-5 év], (5-14 év], (14-40 év], (40-60 év], illetve (60+ év) vizsgáltam. A következő meteorológiai paramétereket tanulmányoztam, illetve számítottam ki: levegő hőmérséklet, csapadék mennyiség és a relatív páratartalom, továbbá a hőmérséklet-páratartalom index (THI), a szél hűvösség egyenértékű diagram indexe (WCT).

3. Eredmények

A doktori értekezésemben a szálló porok ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}) nyomelem-koncentrációjának (As, Cd, Ni, Pb) tér- és időbeli eloszlása valamint az emberi egészségre gyakorolt hatását mutatom be Romániában.

Elért eredményei a következő pontokban foglalhatók össze:

1. A szállóporok és a nyomelem koncentrációk időbeli alakulása

Lényeges eltérés mutatkozik a szálló porok és a tanulmányozott nyomelemek időbeli eloszlásában. A PM_{10} és az As, Cd és Pb nyomelemek szezonális mintázata télen magas, nyáron pedig alacsony koncentrációt mutat, kivéve a Ni-t, ami ellentétes tendenciát mutat. A szennyezőanyagok szezonális változása erősen összefügg különböző tényezőkkel, elsősorban a meteorológiai paraméterekkel és a kibocsátási forrásokkal, így a téli időszak magasabb PM_{10} -koncentrációi a lakossági fűtéssel és a kedvezőtlen meteorológiai viszonyok, valamint a termikus inverzió, köd és alacsony

határréteg magasság jelenlétével magyarázhatók. Másrészt, a nyári időszak emelkedett Ni-koncentrációja a megnövekedett ipari termeléssel és a közlekedés intenzitásával hozható összefüggésbe.

2. A szállópor- és nyomelem koncentrációk térbeli alakulása

A nyomelemek legmagasabb koncentrációját Szeben megyében azonosítottam, As: $1,69 \text{ ng m}^{-3}$, Cd: $2,32 \text{ ng m}^{-3}$, Ni: $5,19 \text{ ng m}^{-3}$, Pb: $0,292 \text{ ng m}^{-3}$, amelyek főként az egyik legszennyezettebb régióból Kiskapusról származnak. A kiskapusi légszennyező anyagok koncentrációja az országos átlag többszöröse: Pb 10,5 x, Cd: 4 x, As és Ni 2,5 x. A legmagasabb szállópor-koncentráció (PM_{10}) Iași megyében és Bukarestben mutatható ki $> 32 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$.

A PM_{10} és a finom részecskék aránya szintén nagyfokú változékonyságot mutat (0,52-0,76). A legmagasabb arányt (0,76) a legszennyezettebb régióban Bukarestben találtam, jelezve, hogy a $\text{PM}_{2,5}$ nagy része az ipari kibocsátásokból származik, továbbá magas érték a fejlett iparosodott régiókban (ÉNY, NY) is megfigyelhető, ahol a $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ arány is magas (0,73). A legkisebb arányt viszont a DK régióban azonosítottam (0,52).

3. A szállóporok és nyomelemek egészségügyi hatásai:

A PM_{10} által okozott átlagos relatív kockázat a teljes halálozás tekintetében $1,020 (\pm 0,0024)$ volt, a nyugati régió (1,017) és a bukaresti régió (1,025) közötti értékeket véve fel. Továbbá a szív- és tüdőrákos megbetegedések magas relatív kockázata volt megfigyelhető, ami elsősorban a $\text{PM}_{2,5}$ -expozíciónak tulajdonítható; az országos átlagértékek szerint a relatív kockázat $1,26 (\pm 0,023)$, illetve $1,42 (\pm 0,037)$ volt.

Veszélyhányados és rákkockázati számítások alapján Romániában beléggzéssel a HQ-értékek mind felnőttek, mind gyermekek esetében magasabbak voltak a biztonságos határértéknél (=1). A legmagasabb nem rákkeltő kockázatot a Cd esetében volt kimutatható (9,53). A Ni szintén nem rákkeltő kockázatot mutat 1,92-es értékkel. Figyelembe véve, hogy a három nyomelem összege (HI) elérte az $1,22 \times 10^1$ értéket, a nyomelemek keverékének a beléggzése viszont már nem rákkeltő egészségügyi kockázatot jelent. A Romániára számított rákkockázati értékek a beléggzés útján $2,00 \times 10^{-5}$ -re nőtt a gyermekek esetében és 8×10^{-5} -re a felnőtteknél, ami az elemek keverékének beléggzés útján történő expozícióból eredő kumulatív rákkockázatot jelzi. Kiskapuson a felnőttek és a gyermekek esetében a beléggzés útján jelentkező összesített rákkockázat $9,34 \times 10^{-5}$ és $2,34 \times 10^{-5}$ volt.

4. A szállóporok csapadék kimosó hatásának a tanulmányozása

A PM_{10} koncentrációja a csapadékos időszakokban alacsonyabb volt, mint a csapadékmentes időszakokban, a hideg és meleg időszakokban pedig érezhető különbség volt az átlagos PM_{10} -koncentrációkban: $2,8 \mu\text{g m}^{-3}$, illetve $2 \mu\text{g m}^{-3}$. A legnagyobb PM_{10} -koncentráció csökkenést minden vizsgált esetben a hideg évszakban tapasztaltam alacsony és közepes csapadékkéntesség esetén, 6 órás folyamatos esőzés után (35,61%, 32,46%).

5. Epidemiológiai vizsgálat eredményei

A betegségek a leggyakrabban a 60 év feletti idős korcsoportban fordulnak elő, ami 41,3%-ot jelent. A második legmagasabb számban előforduló beutalások az 5 év alatti gyerekek esetében volt megfigyelhető, 28,9%-kal, majd a (40-60 éves) betegek következtek, ami 20,4%-ot tesz ki. A leggyakrabban előforduló betegség a felső légúti megbetegedések (URTI) voltak 13,55%-kal, a leginkább érintett korosztályt a [0-5] év közötti gyermekek 9,12%-kal. Jelentős különbséget találtam a férfiak és a nők közötti beutalások számát tekintve. Pearson féle korrelációt alkalmazva mérsékelt korrelációt találtam a PM_{10} és P (0,51), illetve a PM_{10} és az URTI (0,39) között. A PM_{10} mérsékelt negatív korrelációt mutatott a határréteggel (-0,61). A szállóporok forrásterületeinek meghatározása során a koncentrációval súlyozott trajektória elemzése (CWT) kiemeli a fő potenciális forrásterületeket, amelyek befolyásolják a regionális PM_{10} koncentrációt. A fő potenciális forrásterületek északra, északnyugatra és délkeletre találhatóak. Ukrajna és a Moldvai Köztársaság mérsékelt forrásterületnek azonosítható.

Tézispontok:

A PhD dolgozat a szállóporok és azok nyomelem tartalmának tér és időbeni alakulását mutatja be Romániában, kiemelve az ipari szempontból legszennyezettebb Kiskapust, valamint a fővárost Bukarestet. Továbbá a csapadék szállópor kimosó hatását és az epidemiológiai vizsgálatokat tanulmányoztam a Csíki medencében.

1. A szállóporok időbeni alakulását tekintve elmondható, hogy a szennyezőanyagok szezonális változása erősen összefügg különböző tényezőkkel, elsősorban a meteorológiai paraméterekkel és a kibocsátási forrásokkal.
2. A PM_{2,5}-nek tulajdonított relatív kockázat (szív- és érrendszeri betegségek, valamint tüdőrák) szignifikánsan magasabb volt, mint a PM₁₀ által okozott relatív kockázat az össz elhalálozás tekintetében. A finom szállóporban (PM_{2,5}) lévő összes nyomelem magasabb dúsítású volt, mint a durva szállóporban (PM₁₀).
3. Kiskapuson vizsgált nyomelemek koncentrációja az országos átlag többszöröse (As: 2,64 szerez, Cd: 4,01 szerez, Ni: 2.44 szerez, Pb: 10,52 szerez).
4. Belégzéssel és bőrön keresztüli felszívódással a potenciális rákkeltő kockázat meghaladta a rákkeltő anyag elfogadható szintjét, ami a vizsgált területen élő felnőtteknél megnövekedett rákkockázatot jelez. A hosszabb expozíció miatt a felnőtteknél nagyobb valószínűséggel merült fel a rákkeltő kockázat, mint a gyermekeknél.
5. A legnagyobb PM₁₀-koncentráció csökkenést minden vizsgált esetben a hideg évszakban, az alacsony és mérsékelt esőintenzitás esetén, 6 órás folyamatos esőzés után tapasztaltam.
6. A Csíki medencében szállóporok rövid távú expozíciója pozitív összefüggést mutatott a felső légúti megbetegedésekkel és a tüdőgyulladással. A hosszú távú expozíciót tekintve megállapítható, hogy a PM₁₀ negatív hatással volt a szív- és érrendszeri betegségekre, azonban a dózis-válasz jelentős késleltetést mutatott. Emellett a PM₁₀ és az komfort indexek (WCT, THI) fontos szerepet játszanak a betegségek gyakoriságának növekedésében.

4. Tudományos közlemények, előadások

Az értekezés témakörében készült tudományos közlemények:

1. **Katalin Bodor**, Róbert Szép, Zsolt Bodor, The human health risk assessment of particulate air pollution (PM_{2.5} and PM₁₀) in Romania, *Toxicology Reports*, 9, 2022.
IF: 4.81 (2021)
2. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Róbert Szép, Spatial distribution of trace elements (As, Cd, Ni, Pb) from PM₁₀ aerosols and human health impact assessment in an Eastern European country, Romania, *Environ Monit Assess.*, 193:176, 2021.
IF: 3.2 (2021)
3. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Alexandru Szép, Róbert Szép, Human health impact assessment and temporal distribution of trace elements in Copşa Mică- Romania, *Scientific Report*, 11:7049, 2021.
IF: 4.996 (2021)
4. **Katalin Bodor**, Miruna Mihaela Micheu, Ágnes Keresztesi, Marius-Victor Birsan, Ion-Andrei Nita, Zsolt Bodor, Sándor Petres, Attila Korodi, Róbert Szép, Effects of PM₁₀ and Weather on Respiratory and Cardiovascular Diseases in the Ciuc Basin (Romanian Carpathians), *Atmosphere*, 12, 289, 2021.
IF: 3.12 (2021)
5. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Róbert Szép, The trend of trace elements (Cd, Ni, Pb) from PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols and its effect on human health in Bucharest, Romania, *Revista de Chimie*, 71, 2020.
6. **Katalin Bodor**, Róbert Szép, Zsolt Bodor, Time series analysis of the air pollutions around Ploiesti oil refining complex, one of the most polluted regions in Romania, *Scientific Reports* 12 (1):11817, 2022 .
IF: 4.996 (2021)
7. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Ágnes Keresztesi, Róbert Szép, PM₁₀ concentration reduction due to the wet scavenging in the Ciuc Basin, Romania, *Acta Univ. Sapientiae, Agriculture and Environmnt*, 12, 1-8, 2020.
8. Zsolt Bodor, **Katalin Bodor**, Ágnes Keresztesi, Szép Róbert, Major air pollutants seasonal variation analysis and long-range transport of PM₁₀ in an urban environment with specific climate condition in Transylvania (Romania), *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 2020.

IF: 3.957 (2020)

9. **Katalin Bodor**, Réka Boga, Tímea Pernyeszi, Szende Tonk, György Deák, Variation of PM₁₀ concentration depending on the meteorological parameters in two Bucharest monitoring stations (In green areas), *Present Environment and Sustainable Development*, Volume 14, no.1, 2020.

Az értekezés témakörén kívül készült tudományos közlemények:

1. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Alexandru Szép, Róbert Szép, Classification and hierarchical cluster analysis of principal romanian bottled mineral waters, *Journal of Food Composition and Analysis*, 103903, 2021.
2. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Róbert Szép, Alexandru Szép, Characterization of some bottled Romanian mineral waters on the basis of the total mineral content, *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*, 13 85-98, 2020.
3. Zsolt BODOR, Andrea (Iuhász) FAZAKAS, **Katalin BODOR**, Erika KOVÁCS, Ildikó MIKLÓSSY, Beáta ALBERT, Using genome-scale model to predict the metabolic engineering impact on *Escherichia coli* metabolism during succinic acid production optimization, *Romanian Biotechnological Letters*, 25 (3), 1666-1676, 2020.
4. Ágnes Keresztesi, Réka Boga, Zsolt Bodor, **Katalin Bodor**, Szende Tonk, György Deák, Ion-Andrei Nita, The analysis of the chemical composition of precipitation during the driest year from the last decade, *Present Environment and Sustainable Development*, Volume 13, no.1, 2019.
5. Réka BOGA, Zsolt BODOR, **Katalin BODOR**, Szende Tonk, György Deák, Tímea Pernyeszi, Ion-Andrei Nita, The influence of evapotranspiration and wet deposition on the variations of PM₁₀ concentration in the Ciuc basin, *Present Environment and Sustainable Development*, Volume 13, no.1, 2019.
6. Zsolt Bodor, Szabolcs Lányi, Beáta Albert, **Katalin Bodor**, Aurelia Cristina Nechifor, Ildikó Miklóssy, Model driven analysis of the biosynthesis of 1,4-butanediol from renewable feedstocks in *Escherichia coli*, *Revista de Chimie*, 353, 2019.

IF: 1,755 (2019)

7. Zsolt Bodor, Lehel Tompos, Aurelia Cristina Nechifor, **Katalin BODOR**, *In silico* analysis of 1,4-butanediol heterologous pathway impact on *Escherichia coli* metabolism, *Revista de Chimie*, 9, 2019.

IF: 1,755 (2019)

Az értekezés témájához kapcsolódó konferenciák:

1. Zsolt BODOR, **Katalin BODOR**, Ildikó MIKLÓSSY, Róbert SZÉP, Time series analysis of PM_{2.5}, PM₁₀ and Total Suspended Particle (TSP) in the Ciuc basin (2010-2019), *SGEM International Scientific Conferences on Earth & Planetary Sciences*, 6-9 December, 2022, Viena, Austria.
2. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Róbert Szép, Time series analysis and human health effect of air pollution in the most polluted regions in Romania, *3rd International Congress on Advanced Materials Sciences and Engineering (AMSE-2022)*, 21-25 July, 2022, Opatija, Croatia.
3. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Alexandru Szép, Róbert Szép, Human health impact assessment and time series analysis of trace element content of particulate matter in Copsa Mică Romanian, *European Young Chemists' Meeting 2022*, 19-22 January, Fribourg, Switzerland.
4. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Alexandru Szép, Róbert Szép, Ágnes Keresztesi, Human health impact assessment and time series analysis of lead content of PM₁₀ particulate matter in Copsa Mică, *27th International conference on chemistry*, 29. Oktober, 2021, Romania.
5. **Bodor Katalin**, Légszennyezések egészségügyi vonatkozásai, *5. Csíkszeredai Kórháznapok*, July 1-4, Csíkszereda, 2021, Romania.
6. **Bodor Katalin**, Bodor Zsolt, Szép Róbert, Keresztesi Ágnes, PM₁₀ concentration reduction due to the wet scavenging in the Ciuc Basin, Romania, *16th Carpathian Basin Conference for Environmental Sciences In memoriam: Prof. Mária Szabó*, DSc. 30 March - 1 April 2021, Budapest, Hungary.
7. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Gabriella Schmutzer, Ágnes Keresztesi, Róbert Szép, The assessment of human health effects of particulate air pollution (PM_{2.5} and PM₁₀) in Romania, *5th International Conference on Chemical Engineering*, 28-30 October, 2020, Iași, Romania.

8. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Szép Róbert, Human Health Risk Assessment of Particulate Air Pollution in Romania, *14th International Conference on Environmental Science Applications (ICESA 2020)*, 30-31. July. 2020, Istanbul, Turkey.
9. **Katalin Bodor**, Szép Róbert, Zsolt Bodor, Spatial and temporal characterization of trace elements (As, Cd, Ni, Pb) in PM₁₀ aerosols and human health effects calculation in Romania, *11st International Conference on Environmental Science and Development (ICESD 2020)*, 10-12. February 2020, Barcelona, Spain.
10. **Katalin Bodor**, Miruna Mihaela Micheu, Ágnes Keresztesi, Marius-Victor Birsan, Zsolt Bodor, Robert Szép, Studiul prafurilor în suspensie asupra vegetației și a sănătății umane din depresiunile închise din grupa centrală a Carpaților Orientali, *Conferință zona montană- principalul furnizor de produse de calitate*, 10. December, 2019, Cristian -Sibiu, Romania.
11. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Robert Szép, The trend of trace elements (Cd, Ni, Pb) from PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols and its effect on human health in Bucharest, Romania, „*Cercetare științifică și inovare în contextul extinderii agriculturii de precizie și modernizării sistemelor tehnologice*”, 27-28 November, 2019, INCDCSZ Brașov, Romania.
12. **Bodor Katalin**, Bodor Zsolt, Szép Robert, A szállóporok nehézfém (As, Cd, Ni, Pb) koncentrációinak tér és időbeni változásai és egészségkárosító hatásainak tanulmányozása Romániában, *Kutassunk Együtt Tudományos Konferencia*, 22 November, 2019, Csíkszereda, Románia.
13. **Katalin Bodor**, Miruna Mihaela Micheu, Agnes Keresztesi, Marius-Victor Birsan, Zsolt Bodor, Robert Szep, Effects of PM₁₀ and Weather on Respiratory and cardiovascular diseases in the Ciuc Basin, *25th International conference on chemistry*, 24-26 October, 2019, Cluj Napoca, Romania.
14. **Zsolt Bodor**, Katalin Bodor, Agnes Keresztesi, Robert Szep, Seasonal variation and long-range transport of major air pollutants in the Ciuc basin (Romania) with specific climate condition, *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019*, 28. June- 07. July, 2019, Albena, Bulgaria.
15. **Katalin Bodor**, Zsolt Bodor, Ágnes Keresztesi, Réka Boga, Time series analysis from 2008 to 2018 of PM₁₀ evaluation of Bucharest region, Romania *14th PESD*:

Present Environment & Sustainable Development, 7-9 June, 2019, Iași, Romania.

Az értekezés témakörén kívüli konferencia:

1. Bărăscu Nina, Donescu Daniela, Keresztesi Ágnes, **Bodor Katalin**, Bogyó Attila, The influence of climatic factors on the dynamics of vector aphid populations in the seed potato crop in mountainous areas, *SGEM International Scientific Conferences on Earth & Planetary Sciences*, 6-9 December, 2022, Viena, Austria.
2. Zsolt Bodor, **Katalin Bodor**, Alexandru Szép, Szilvia László, Róbert Szép, Ágnes Keresztesi, Classification and Hierarchical Cluster Analysis of Principal Romanian Bottled Mineral Waters, *15th International Conference on Nutrition Research and Food Chemistry*, 16-17 September, 2021, Amsterdam, Netherlands.
3. **Bodor Katalin**, Bodor Zsolt, Szép Róbert, Keresztesi Ágnes, Szép Alexandru, Néhány palackozott romániai ásványvíz jellemzése a teljes ásványi anyag tartalom alapján, *26. Online Nemzetközi Vegyészkonferencia*, 30 October, 2020, Romania.
4. Ágnes Keresztesi, Róbert Szép, Zsolt Bodor, **Katalin Bodor**, TÁNCZOS Szidónia, Long-term analysis of rainwater chemistry over the conterminous United States 27. *Online Nemzetközi Vegyészkonferencia*, 29 October, 2021, Romania.
5. Keresztesi Ágnes, Szép Róbert, Bodor Zsolt, **Bodor Katalin**, Schmutzer Gabriella, Bálint Kinga, Csapadékvíz kémiai összetételének hosszútávú elemzése az európai kontinensen, *26. Nemzetközi Vegyészkonferencia*, 30 October, 2020, Kolozsvár, Romania.
6. Zsolt Bodor, Hunor Bartos, **Katalin Bodor**, Márta Both-Fodor, Csongor Orbán Kálmán, Szabolcs Lányi, Ildikó Miklóssy, Quantitative prediction of *Basfia succiniciproducens* metabolic potential, for succinic acid and 1,4-butanediol production with constraint-based model, *International Conference on Mathematical Methods and Models in Biosciences (Biomath)*, Sofia, 24-29 June, 2018, Sofia, Bulgaria.