

Földtudományok Doktori Iskola  
Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék  
Szegedi Tudományegyetem,  
Természettudományi és Informatikai Kar

**Környezeti modellezés és a tájmintázat elemzés  
érzékeny területek szennyeződésének kockázat  
értékeléséhez**

*Ph.D. disszertáció  
Magyar nyelvű összefoglaló*

**AHMED KORANY ABDELRAOF ABDELAAL**

**Témavezetők:**

**Dr. Szilassi Péter**  
egyetemi docens  
Szegedi Tudományegyetem  
Természeti Földrajzi és  
Geoinformatikai tanszék

**Dr. Jordán Győző**  
tudományos főmunkatárs  
MTA Csillagászati és  
Földtudományi Kutatóközpont  
Földtani és Geokémiai Intézet

A Kárpát-medencében több ezer olyan szennyezett területtel találkozhatunk, melyek az egykori bányászathoz köthetőek, valamint melyek e területek nem megfelelő környezetvédelmi kezelése miatt alakultak ki. A nyersanyag-kitermelésekhez kapcsolható sajátos környezeti problémák megoldása csak olyan speciális eszközökkel lehetséges, melyek a bányászati eredetű szennyeződések és környezeti problémákat komplex módon értékelik. A bányászat okozta környezeti kockázatok olyan új Európai Unió jogszabályok kimunkálását eredményezték, melyek révén minimalizálhatjuk a környezeti katasztrófák kialakulásának lehetőségét.

A bányászat okozta környezeti problémák csökkentésére szolgáló döntéstámogató módszerek áttekintése során, csak az alábbi holisztikus megközelítésű, értékelési eljárásokat hasonlítottuk össze egymással (Jordan és Abdaal 2013): 1, táj-ökológiai módszerek (TÖM), 2, ipari ökológia (IÖ), 3, táj-geokémia (TGK), 4, környezetföldtani modellek (KFM), 5, Környezeti hatásértékelés (KHÉ), 6, Környezeti kockázatértékelés (KK), 7, anyag áramlás modellek (AM), 8, életciklus elemzés (ÉE). A korábbi publikációink és e dolgozatban is közölt eredményeink szerint e módszerek egyike sem alkalmas önmagában a bányászat okozta környezeti problémák teljes körű elemzésére. A TÖM, IÖ, és a TGK, módszerek a természeti, míg a KHÉ, KK, AM és ÉE módszerek inkább - döntés előkészítő jellegük miatt - a társadalmi-gazdasági folyamatok felől közelítenek ehhez a kérdéshez.

Valamennyi módszer közös eleme, hogy igyekeznek hidat képezni a természeti és társadalomtudományok között, hogy ezáltal is támogassák a környezetmenedzsmenttel kapcsolatos döntések előkészítését. A természettudományos módszereken alapuló értékelési eljárások közül a táj-geokémiai (TGK) és az anyagáramlási modellek (AE) alkalmasak a leginkább a bányászat okozta szennyezések vizsgálatára. A társadalmi-

gazdasági rendszerek felől az életciklus elemzés (ÉE), a környezeti hatásvizsgálattal (KHV), valamint a környezeti kockázatelemzés (KKÉ) kísérli meg a legszélesebb körű holisztikus szemléletű elemzést. Az Európai Unió jogszabályok közül a Stratégiai Környezeti Vizsgálat Direktívája (2001/42/EC direktíva) jelenti azt a leginkább holisztikus szemléletű keretet, melyben számos, a dolgozatban is említett módszer megjelenik (Jordan and Abdaal 2013). A felhagyott bányák remediációjára vonatkozó döntések előkészítéséhez azonban sem a környezeti hatásvizsgálat sem a környezeti kockázatelemzés nem ad támpontot.

A Bányákra és Hulladéklerakókra vonatkozó EU direktíva kiemelt figyelmet fordít a különféle kulcs paraméterek összehasonlító elemzésére, mint például a nehézfém koncentrációra, a bányaterület lejtőszögére, mint a szennyezőforrást jellemző paraméterre, a legközelebbi NATURA 2000-es területekre, a bányaterületek alatti vízzáró rétegek jelenlétére, mint a szennyeződés szállítási útvonalaival kapcsolatos tényezőre, és végül ezeket a paramétereket együttesen értékeli az a 11 nemzetközileg elfogadott Előzetes Elemzési Protokoll, melyet bányászati eredetű hulladéklerakókra dolgoztak ki.

A Bányákra és Hulladéklerakókra vonatkozó EU direktíva (2006/21/EC) értelmében el kell végezni az Európai Unió összes bányájának környezeti kockázat alapú felmérését. A bányászattal érintett területek környezeti problémáinak azonosításához az Európai Unióban az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EKÜ) munkatársai standardizált kockázat-alapú előzetes értékelési eljárást (protokollt) dolgoztak ki. A protokoll 18 egyszerű kérdést tartalmaz a szennyezések forrásairól, valamint azok lehetséges szállítóközegével és felvevő közegével (receptorával) kapcsolatban, mint például a szennyezőforrásokra vonatkozó kérdések közül, hogy tartalmaz-e szulfid ásványokat vagy nehézfémet (K3) a meddő,

(K2), a szennyezések lehetséges útvonalával kapcsolatban, hogy található-e erősen vízzáró réteg a bányaterület alatt (K12), vagy hogy található-e 100 lakos feletti lakosságszámú település a bánya vagy hulladéklerakó 1 km-es körzetében).

A disszertáció **célja** egyrészt értékelni a vonatkozó EU direktíva által meghatározott kockázat-alapú előzetes értékelési eljárást (KAEÉE) (Stanley et al. 2011) valós esettanulmányok alkalmazásával, majd adaptálni azt az ország-specifikus jellemzők alapján.

A protokoll alkalmazásához szükséges adatokat, mint például a legközelebbi vízfolyástól mért távolságot, vagy a szennyezőforrás mérete a Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EKÜ) által elvégzett „A problémás területek előzetes elemzésére” alapját képező Európai Talajszennyezésekre vonatkozó Előzetes Kockázatelemzési Modell szerint, a szennyezett bányaterületekre kidolgozott értékelési eljárásokra adott válaszok alapján kaptam meg.

Összesen 145 bányászati hulladéklerakót választottam ki az EU direktíva által meghatározott kockázat-alapú előzetes értékelési eljárást KAEÉE protokoll tudományos alapú teszteléséhez, és értékeléséhez. Az EU direktíva (KAEÉE protokoll kérdéseit a Földrajzi Információs Rendszer segítségével előállított kulcs paraméterek alapján válaszoltam meg, kiszámítva és statisztikai módszerekkel értékelve például a vizsgált bányák és hulladéklerakók átlagos lejtőszögét, NATURA 2000 területektől, legközelebbi településtől, legközelebbi vízfolyástól, állóvíztől, talajvíztől mért távolságát azért, hogy a kockázat elemzési modell magyarországi adaptálását ország-specifikus adatok alapján végezhessük el.

A protokoll kérdéseire adott IGEN válaszok száma alapján sorba rendezve a kockázat alapján a helyszíneket, 127 kapott „TOVÁBBI VIZSGÁLAT SZÜKSÉGES” minősítést (lejtőszöge  $\leq 5^\circ$ , a hulladéklerakó 1km-nél

közelebbi távolságra a szállítóközegetől vagy érzékeny „receptor” területtől). 129 helyszínt kapott „TOVÁBBI VIZSGÁLAT SZÜKSÉGES” minősítést a helyi tényezők kumulatív hisztogramján látható természetes töréspontjai és medián-alapú küszöbértékei alapján: (1) A legmagasabb értékű természetes töréspont a lejtőszög (K10) és a legalacsonyabb természetes töréspont a legközelebbi távolságok (K11, K15-18) hisztogram minimumjához legközelebbi értékei, illetve (2) a fenti paraméterek medián alapú küszöbértékei alapján (medián-alapú értékelési eljárás). Ehhez hasonló módon 18 illetve 16 helyszínt minősíthetünk „kockázatmentes”-nek, (mivel nincs lehetőség a szennyeződések mozgására). A helyi adatok értékelését a legalacsonyabb csoport-határ értékeit figyelembe véve a K10 kérdésnél (5°), K11 kérdésnél (270m), K15 kérdésnél (319m), K16 kérdésnél (0m), K17 kérdésnél (0m) 118 helyszínt „TOVÁBBI VIZSGÁLAT SZÜKSÉGES” kategóriába, és 27 helyszínt a „nincs kockázat” kategóriába (19 helyszínt a szállítási útvonal hiánya miatt, 8 helyszínt, pedig a receptor hiánya miatt). Ha az adatok értékeléséhez a legmagasabb csoport-határ értékeit vettem figyelembe, a K10 kérdésnél (29°), K11 kérdésnél (3643m), K15 kérdésnél (4083m), K16 kérdésnél (13635m), K17 kérdésnél (2732m) K18 kérdésnél (3956m) határértékek mellett az összes 145 helyszínt a „TOVÁBBI VIZSGÁLAT SZÜKSÉGES” kategóriába került. Nyilvánvaló, hogy ez utóbbi értékelési eljárás adja a legkedvezőtlenebb kockázati eredményt egyben ez jelenti legóvatosabb scenáriót is.

Az EU kockázat-alapú előzetes értékelési eljárást (KAEEÉ) protokoll kérdéseire adott bizonytalan válaszok statisztikai eloszlásának vizsgálata révén képet kaphatunk a modell általános és speciális bizonytalanságáról is. Gyakorlati szempontból is érdekes, hogy a kapott eredmények bizonytalanságára a zagytározók (hulladéklerakók) esetében a kialakításuk

főbb paramétereivel (mint például a gátak magasságával és méretével) is összefüggést mutat.

Ehhez hasonlóan az is érdekes, hogy a protokoll kérdései közül a szennyeződés forrásaira, a szállítási útvonalakra, és a szennyeződést felvevő receptorokra vonatkozó külön-külön feltett IGEN válaszok számának növekedése együtt jár az e forrásokból származó szennyeződések többszöröződésével. Kutatásaim alapján a KAEÉE protokoll összegzett eredményeire gyakorolt hatásai alapján K3, K10 és K12-es és a K 18-as kérdésekre adott válaszokat tekinthetjük kulcs paramétereknek.

Az előzetes értékelési eljáráshoz kidolgozott EKÜ PRAMS modell szerint a potenciális környezeti problémával jellemezhető helyszínek száma 19-ről 88-ra emelkedett a B4 kérdés alapján. A B kritérium kérdése a döntésekhez szükséges adatbázisok elérhetőségére kérdez rá. Fontos megjegyeznünk, hogy a dolgozatom eredményei nem mutatnak semmiféle adategyezt semmilyen korábbi felméréssel, a bányászati és hulladéklerakó helyszínekre vonatkozó adatokat nem a korábban publikált adatokból, hanem az általam felépített adatbázis elemzése révén nyertem.

Dolgozatom **második célja** a magyarországi bányaterületekből, és hulladéklerakókból származó nehézfém terhelés környezeti kockázatának értékelése (KKÉ). Összesen 30 területet (felhagyott és jelenleg is működő bányákat) vizsgáltam az EU kockázat-alapú előzetes értékelési eljárása (KAEÉE) szerint. Összesen 93 terepi helyszínről (andezit, riolit, lignit feketeszen, tőzeg, alginit, bauxit, agyag és mészkőbányákból) gyűjtöttem mintát. A minták összes toxikus elemre vonatkozó laboratóriumi elemzését királyvizes feltárással végeztem, a mobilis toxikus elemeket pedig desztillált vízzel történő kioldással tártam fel a bányászati hulladékok kezeléséről szóló 14/2008. (IV.3)-as GKM rendelet szerint. A részletes geokémiai vizsgálatok mellett ArcGIS 10® szoftver segítségével elemeztem

a bányaterületekről származó szennyezések környezeti kockázatát. Olyan kulcs paramétereket elemeztem, mint amilyen a nehézfém koncentráció, a legkisebb távolság a legközelebbi felszíni és felszín alatti vizektől, vagy az érzékeny területektől (receptoroktól) vagy védett természeti területektől mért távolsága.

A bányaterületekről származó minták királyvizes feltárása során kapott összes nehézfém koncentráció (mg/kg) becült értékeit összehasonlítottam a magyarországi talajok szennyezettségére vonatkozó jogszabályi határértékeivel, illetve az EU Geokémiai Atlaszában a feltalajra vonatkozó alábbi geokémiai háttérértékekkel. Az arzén (As) koncentráció átlaga (18,17 mg/kg) meghaladja a magyarországi talajokra vonatkozó (15 mg/kg) határértéket és az EU FOREGS Geokémiai Atlasz határértékét is (10 mg/kg). Ugyanakkor a kadmium (Cd) koncentráció átlaga (0,33 mg/kg) alacsonyabb a magyarországi határértéknél (1 mg/kg). A nikkel (Ni) átlaga (61 mg/kg) meghaladja a magyarországi határértéket, és meghaladja az EU FOREGS Geokémiai Atlasz határértékét is (30 mg/kg). Ezen kívül a réz (Cu) átlag értéke, (12,3 mg/kg) meghaladja az EU FOREGS atlasz határértékét (12 mg/kg).

A minták nehézfém-tartalma tekintetében az egyes elemek koncentrációinak átlagai az alábbi sorozatot szerint változnak: Zn>Ni>Cr>Cu>V>Pb>Co>As>Mo>Cd. A minták cink (Zn) tartalma a legmagasabb (átlagosan 84,28 mg/kg), míg a kadmium (Cd) a legalacsonyabb koncentrációban előforduló elem (átlagosan 0,33mg/kg), és a kadmiumnak van a legalacsonyabb medián értéke is (0,11 mg/kg). A vizsgált elemkoncentrációk relatív szórása az IQR/MED (Interkvartilis/medián) módszer alapján, az alábbi módon alakul: Ni>As>Cr>V>Pb>Co>Cd>Zn>Cu. Nyilvánvaló, hogy a nikkel (Ni) esetében a legnagyobb a koncentrációk szórása (5,11), míg a réz (Cu)

esetében a legkisebb (1,11). Spearman korreláció segítségével vizsgálva a királyvízes feltárással kapott eredményeket, az elemek közötti kapcsolatra az alábbi értékeket kaptam. Míg a desztilláltvízes feltárás során kapott eredmények közti kapcsolat erőssége (As és Co,  $r=0,2$ , Cd és Ni,  $r=0,3$ , Cu és Zn,  $r=0,47$ ) értékű volt  $P < 0,05$  szintű szignifikanciaszinten.

A desztillált vízzel történő feltárás eredményeit Ficklin-diagramon ábrázoltam, mely szerint a savképző potenciál ( $\text{pH} < 5,5$ ) a feketekőszén, a lignit és a tőzeg, valamint a bauxit esetében van jelen. A megnövelt mobil nehézfém-tartalom a kőszén, az andezit és néhány agyag és bauxit minta esetén kimutatható.

A dolgozatomban a meddőhányók minősítésére kidolgozott többszintű döntéstámogató módszer az alábbi lépéseket tartalmazom: 1) szakértői döntéshozatal 2) adatbázis felülvizsgálata 3) reprezentatív terepi mintavétel és laboratóriumi elemzések, majd a kőzettani formációk listájának elkészítése a Nemzeti Meddőhányó Kataszter szerint, 4) újabb laboratóriumi vizsgálatok igénylése a kiválasztott bányákból. A szakértői vélemények alapján a kőzet formációkat az alábbi három kategóriába soroltam: A) inert, B) valószínűsíthetően inert, de további ellenőrzést igénylő, C) valószínűleg nem inert, további vizsgálatot igényel. A dolgozatomban szereplő geokémiai elemzések alapján a kőszén (feketekőszén és lignit) és tőzeg minták inertnek minősíthetők, így a C kategóriába sorolhatók. Ezzel szemben az alginit, bauxit és riolittufa, valamint agyagminták a B csoportba, azaz a valószínűleg inert kategóriába sorolhatjuk. Csupán a mészkő és az agyagminták sorolhatók az inert (A) kategóriába. Eredményeim alapján 5 magasabb nehézfém koncentrációjú andezit mintát át kell sorolni a B és C csoportokba. Eredményeim rámutatnak arra, hogy a regionális léptékű kockázat elemzések részletesebb térbeli, és kőzettani



vizsgálatot igényelnek, különös tekintettel a kőzetek és ásványok keletkezési körülményeire.

Kutatásaim **harmadik célja** a bányaterületek vízfolyásainak vízminőség adatai (nehézfémek Ni, Mn, Cr, Zn, és az elektromos vezetőképesség) és a tájmintázat közötti kapcsolat vizsgálata és elemzése 33 vízgyűjtőterületen. Vízminőség adatok közül a Ni, Mn, Cr, Zn és az elektromos vezetőképességet vizsgáltam, melyek reprezentálják Magyarország felszíni vizeinek pontszerű forrásból származó összegzett vízminőségét is. Az utóbbi években számos publikációban mutattak ki szoros statisztikai összefüggést a vízgyűjtőterületek diffúz szennyezései, mint például a nitrit, nitrát szennyezések, és a felszínborítás típusok (pl. erdő) százalékos aránya között (Pl. Wu et al. 2012; Xiao and Ji 2007; Romic et al. 2007; Uemaa et al. 2005; 2013).

Ez okból a tájmintázat jellemzőit leíró tájmetriai paraméterek mellett a főbb felszínborítás típusok százalékát is vizsgáltam. Kiszámoltam a főbb CORINE felszínborítás kategóriák százalékos arányait, és vizsgáltam vízminőséget befolyásoló szerepüket. A mesterséges felszínek (CLC1), mezőgazdasági területek (CLC2), erdők és félig természetes felszínek (CLC3) százalékos értékeket valamennyi vizsgált vízgyűjtőterületre kiszámoltam.

Az alábbi tájmetriai paramétereket: Total Number of Patches (NP), Core Area (CA), length of Total Edge (TE) Splitting Index (SPLIT), Division Index (DIVISION), Effective Mesh Size (MESH), Main Patch Size (MPS), Patch Size Standard (PSSD), Deviation Mean Patch Ratio (MPE), Mean Shape Index (MSI) Mean Perimeter Area Ratio (MPAR) and Mean Fractal Dimension Index (MFRACT), az 1: 100 000 méretarányú CORINE felszínborítási adatbázis 2000-ben és 2006-ban készült digitális térképei alapján számítottam ki. Az ArcGIS 10® V-late kiegészítésével, valamint a

STATGRAPHICS® szoftver segítségével végeztem el a térbeli és statisztikai elemzéseket.

A Spearman korreláció segítségével vizsgáltam az összes tájmetriai mutató és a vízminőség mutatók minimum, medián, átlag és maximum adatpár értékei közötti kapcsolatot 2000, és 2006 években. A 2000 évi adatok alapján a nikkell (Ni), minimum és maximum a cink (Zn) és az elektromos vezetőképesség átlagai szignifikáns korrelációt mutatnak az MSI, mediánjával a mangán (Mn) a MESH indexszel, az átlagos mangán (Mn) a CA, TE, MPE és MPAR indexekkel, a mangán (Mn) maximuma a mesterséges felszínek (CLC1) értékeivel, az elektromos vezetőképesség az MPS, PSSD, MFRACT indexek pedig a mezőgazdasági területekkel (CLC2) és az erdőkkel, félig-természetes területekkel (CLC3) mutatnak összefüggést. A króm (Cr) egyik tájmetriai mutatóval sem mutat összefüggést.

A 2006-os adatok esetében a nikkell minimum és átlag értékei szignifikánsan korrelálnak a DIVISION és a SPLIT indexekkel, Mn a minimum értéke a NP, PSSD, CA, TE, MPE és a MESH, tájmetriai mutatókkal, A mangán koncentráció (Mn) a CA és TE indexekkel, az elektromos vezetőképesség minimuma a MFRACT indexszel, elektromos vezetőképesség mediánja az MPAR indexszel, elektromos vezetőképesség átlaga az MSI és a MFRACT indexszel, elektromos vezetőképesség maximuma az MSI, MPAR és a MFRACT. Ebben az évben a króm (Cr) és a cink (Zn) vízminőség értékek nem mutatnak szignifikáns korrelációt a tájmetriai értékekkel. Emellett ebben az évben az egyik vízminőség paraméter sem korrelál a Main Patch Size (MPS), mesterséges felszínek (CLC1), mezőgazdasági területek (CLC2), és az erdők és félig-természetes területekkel (CLC3).

Konklúzióként megállapíthatjuk, hogy a Mean Shape Index (MSI) a legfontosabb “kulcs metrika” 2000-os adatok alapján, és a Fractal Dimension Index (MFRACT) a 2006, a vízminőséget befolyásoló tájmetriai paraméterek közül. A fenti statisztikai elemzések alapján megállapíthatjuk, hogy a környezeti kockázatelemző módszerek jövőbeli fejlesztése során e két tájmetriai mutatószámot figyelembe kell venni, és integrálni kell a kockázatelemzési eljárásba. A nikkelt (Ni) és a mangánt (Mn) medián értéke, a cinkt (Zn) átlaga és az elektromos vezetőképesség minimuma mutatta a legerősebb korrelációt 2000-ben. Ezzel szemben 2006-ban a minimum és átlagos nikkelt (Ni), minimum és medián mangánt (Mn), átlagos és maximum elektromos vezetőképesség mutattál a legerősebb korrelációt.

## A disszertáció témájában megjelent publikációk listája:

- Abdaal A.**, 2014. Preliminary contamination Risk Assessment of mining waste using spatial analysis and geochemical characterization of rock formations: Key study in Hungary. Journal of Environmental Geography, in press.
- Abdaal A.**, Jordan G. and Szilassi P., 2013. Testing contamination risk assessment methods for mine waste sites. Water, Air and Soil Pollution, 224:1416. (*IF: 1.748*).
- Jordan, G., and **Abdaal A.** 2013. Decision support methods for the environmental assessment of contamination at mining sites. Environmental Monitoring and Assessment, 1859:7809-7832. (*IF: 1.4*).
- Abdaal A.**, Jordan G., Bartha A., Fugedi U. 2013. Toxic element mobility assessment and modeling for regional geo-scientific survey to support Risk Assessment in a European Union context. The EGU General Assembly 2013, Vol. 15, EGU2013-13517, Vienna 07-12 April 2013. (Poster presentation).
- Abdaal A.**, Jordan G., Selba I., Karapinar N. 2013. Pre-selection Methodology for the EU Mine Waste Directive Inventory of mine waste sites to support risk assessment in a European Union context. Case studies from EU Member States and Turkey. 23th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET), Antalya 16-19 April 2013. (Oral presentation and paper in press).
- Kiss J. and Jordan G., 2012. Inventory and risk ranking of closed mine waste facilities. MBFH-ELGI Co-operation Project (E7). Final Report on the National Programme, 2012. MFGI Archives, Budapest. Contributors: Detzky G., Vertesy L., **Abdaal A.**, Muller T., Zsámbok I., Paszera G., Gulyas A., Ori G., Sores L., Radi K., Albert J., Hermann V. and Jerabek C.  
<http://www.mbfh.hu/home/html/index.asp?msid=1&sid=0&hkl=547&lng=1>
- Abdaal A.**, Jordan G., Szilassi P., Kiss J., Detzky G. 2012. Ranking and testing of contamination risk assessment methods for toxic elements from mine waste sites. 9th International Symposium on Environmental Geochemistry, Aveiro, Portugal, 15-21 July 2012. (Oral presentation).
- Abdaal A.**, Jordan, G., Szilassi, P., Kiss, J., and Detzky, G. 2012. Testing contamination risk assessment methods for toxic elements from mine waste sites. The EGU General Assembly 2012, Vol. 14, EGU2012-6522, Vienna 22-27 April 2012. (Poster presentation).