

Kritikus nyersanyagok dúsulása melléktermékként – kutatási és fejlesztési lehetőségek Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyében

Földessy J.¹

¹Miskolci Egyetem, Ásványtani és Földtani Intézet, foldfj@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Az Európai Unió országaiban 2008 óta került előtérbe a saját területeken kitermelt energiahordozók és nyersanyagok hiányából fakadó gazdasági és biztonsági kockázat. Erre válaszul az EU sokoldalú stratégiai irányokban meginduló tevékenységek ösztönzésével válaszolt. A hazai helyzet hasonlóan sok problémát hordoz, ennek egyik – a lehetőségek felmérését is célzó – projektje volt a Miskolci Egyetem által koordinált CriticEl alapkutatói program. A program az indulásakor ismert 14 kritikus nyersanyagcsoport előfordulásait, másodlagos nyersanyag helyzetét vizsgálta sokoldalúan, 2012-2014 között. Az eredmények lényeges csoportja Észak-Magyarországról származik. Az 1980-as évek végéig Borsod-Abaúj-Zemplén megye hagyományos iparága volt az ásványi nyersanyag-termelés. A mintegy 40 éves hanyatló időszak után a kontinens egészét érintő változó nyersanyag ellátási és energia válság az itt ismert, de nem fejlesztett lehetőségeket újra a figyelem középpontjába emelte. A tanulmány ezek közül emel ki néhány fontos szakmai példát. Az itt ismert kritikus elemek dúsulása érint olyan – korábban egyéb nyersanyagok termeléséhez kötődő – előfordulást, mint a Borsodi barnaszénmedence, illetve Rudabánya, de szól egyúttal korábbi barnaszéntermelés és erőművi felhasználás maradványanyagainak hasznosításában rejlő nyersanyagtermelési lehetőségekről, és példát említ a régió felderítetlen, valószínűleg jelentős ércelőfordulásai közül az Irota környéki kutatásokra. Végül röviden rávilágít a kitermelés esetleges újraindításának gazdasági és társadalmi előnyeire is.

1. Bevezetés

Az EU hét magyarországi tervezési-statisztikai régiója közül az Észak-magyarországi Régió, s benne Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye kitüntetett helyzetben van a jelenleg is termelő és a már leállított ásványi nyersanyag-lelőhelyek, egyéb ipari termelők és a hozzájuk kapcsolódó maradványanyagok kínálta gazdasági lehetőségek területén. Ezeket a még alig vizsgálták, közülük egyesek komoly gazdasági előnyöket ígérő nyersanyagforrásnak is tekinthetők.

Különösen fontossá vált a helyi ásványi nyersanyagok termelésének, hasznosíthatóságának kérdése a klímaváltozás, energiaválság, és az orosz-ukrán háború egybeeső, egymást erősítő kedvezőtlen hatásainak mérséklése érdekében [1] Pl. EU Green Deal, RMIS). Ezek egyúttal a helyi gazdaság több szintjén lényeges jövedelemforrásokat, a helyi munkaerő számára biztonságos munkahelyeket jelenthetnek. A feldolgozóipar számára szükséges, vagy piaci keresletű nyersanyagok forrásai az elsődleges (ásványi) anyagok mellett a bányászati hulladékok és egyéb maradványanyagok lehetnek.

A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara által koordinált kutatás-fejlesztési munkák során vizsgált hasznosítási lehetőségek közül ismertetem itt azokat, amelyek Borsod-Abaúj-Zemplén megyében kritikus nyersanyagok előállítására gazdaságos fejlesztési lehetőséget ígérnek.

2. Kritikus nyersanyagok az EU-ban és Magyarországon

A nyersanyagok és energiahordozók minden országban a nemzeti vagyon jelentős elemei és gazdaságuk alapjai. Az Európai Unió országai mintegy 15 éve dolgoznak a kutatás, innováció, oktatás, tömegtájékoztatás területén, hogy a nyersanyag igények és belső ellátás között akkumulálódott hiányt és hátrányt saját belső nyersanyagforrások feltárása, fejlesztése révén is csökkentsék. A kritikus fontosságú, nagy ellátási kockázatú nyersanyagok listája (a fosszilis energiahordozókat nem számítva) először 2011-ben került nyilvánosságra [1]. Ekkor 14 féle nyersanyag szerepelt a listán. 2020-ra a felújított lista [2] harminc tételt sorol fel, ezek mindegyike (a természetes gumit kivéve) ásványi eredetű.

1. táblázat: Az EU kritikus nyersanyagfajták 2020-ban kiadott listája [2]

antimon	hafnium	foszfor	germánium	szkandium
barit	nehéz ritkaföldfémek	természetes grafit	platina fémek	szilikon fém
berillium	könnyű ritkaföldfémek	kaucsuk	foszfát kőzet	tantál
bizmut	indium	niobium	titán	stroncium
borát	kokszolható szén	fluorit	lítium	vanádium
kobalt	magnézium	gallium	bauxit	volfram

Ezek bármelyikének hiánya, illetve az import jelentős árnövekedése teljes iparágakat béníthat meg részlegesen vagy teljesen. A közelmúlt válságjelenségei arra is rávilágítottak arra a korábban már felismert veszélyre, hogy a természeti erőforrások rendelkezésre állása a legfontosabb geopolitikai tényezők egyike, hiányuk kiszolgáltatottságot, növekedő importárait versenyképtelenséget jelenthetnek a feldolgozóipar számára.

Az e területen zajló hazai K+F tevékenységről máig kevés publikus anyag készült. 2012-2014 között a Miskolci Egyetemen zajlottak ilyen irányú alapkutatások a CriticEl projekt keretében. Ezek azóta is több területen és nyersanyag esetében folyamatosak. A kutatások első szakaszának eredményeit egy 10 kötetből álló monográfia-sorozat foglalja össze [3].

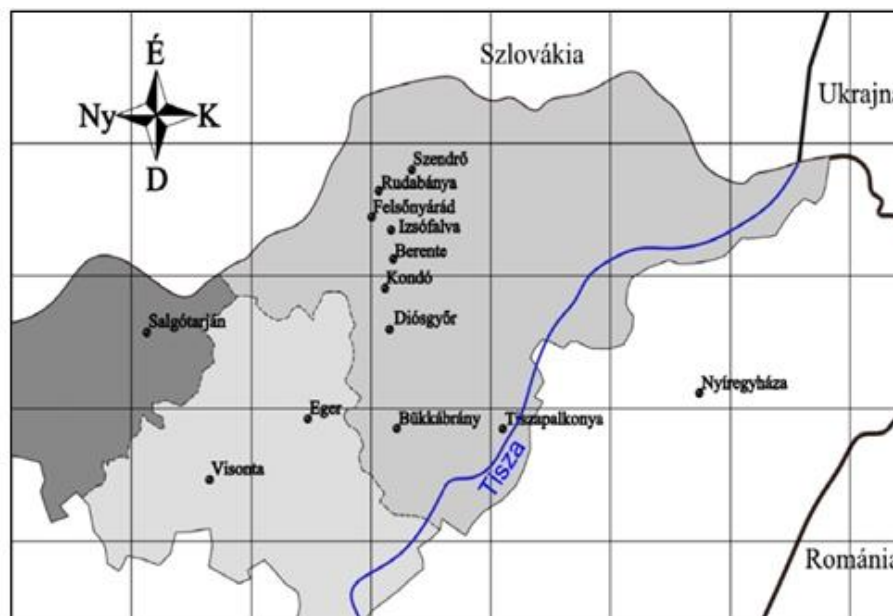
A CriticEl projekt vizsgálatai két irányban zajlottak: az elsődleges és a másodlagos nyersanyagforrások vizsgálatával. A jelen közlemény a másodlagos nyersanyagforrásokkal foglalkozik. Ezek döntően maradványanyagok, azaz valamilyen főtermék (pl. vasérc) termelése során hulladéknak tekintett és felhalmozott anyagok. Különös hangsúlyt kaptak a közelmúltban azok a kutatási irányok, amelyek valamelyik energiahordozó anyagfajtaéhoz kapcsolódnak. Az esetükben bányászat tervezett újraindítása, növelése adhat alkalmat technológiai fejlesztésre, a maradványanyagokból kritikus elemek egyidejű kivonására és hasznosítására.

A maradványanyagokat az ipar és mezőgazdaság korábban hulladéknak minősítette, és az anyagokat a termelőhelyek közelében létesített lerakókban helyezte el. Ilyenek létesültek a szénbányák és hőerőművek környékén (meddőhányók, pernyetavak), az ércbányák mellett (bányászati és ércelőkészítő hulladékkezelő létesítmények: meddőhányók, zagyártározók), de kőbányák és homok-kavics-termelő üzemek mellett (iszaptározók) is, bányászati hulladék minősítéssel. Az anyagokra vonatkozó kémiai ismeretek a legtöbb

esetben csak a környezetvédelmi szempontból megkövetelt (potenciálisan szennyezőnek tekintett) kémiai elem és egyéb összetevő koncentrációkra vannak.

A modern technológiák keltette nyersanyagigények idővel olyan komponensekre is kiterjedtek, amelyeket akár az ilyen nagy tömegű ipari és bányászati hulladékok feldolgozásával is elő lehetne állítani. Ha ez megtörténhet, az előállított új nyersanyag értékéhez még további hozzáadott értékek járulnak, részben az addig elfoglalt területek felszabadításával, részben a lerakott hulladékok okozta környezeti károk megszüntetésével kapcsolatban.

A közlemény további részében megjelenő, a maradványanyagok lerakóinak helyet adó Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyei településeket az 1. ábrán térképen foglaltam össze. Az ábrán néhány szomszédos megye fontosabb települését is bejelöltem. Ezen a korabeli adatoknak való megfelelés érdekében Miskolc helyett Diósgyőrt tüntettem fel.



1. ábra: A cikkben említett helységek térképi helyzete

3. Barnaszemek kritikus ritkaelemei - germánium

A terület szenes képződményeiben legfontosabb kritikus ritkaelemként a germánium jelentkezik. A germánium 2008 óta szerepel az EU kritikusnyersanyag-listáján, mai piaci értéke kb. 1,3 USD/gramm [3].

A germánium az 1950-es évektől a félvezetőgyártás fontos alapanyaga volt. Később a szerepét ezen a területen teljesen átvették a szilícium lapkák. A 2000-es években viszont egyre jelentősebb mértékű lett a felhasználása a LED technológiák, a polietilén, napkollektorok, optikai szálak előállításánál. A hagyományos technológiákban a germánium a cinkércék mellékterméke, de az elsődleges dúsulások esetében legnagyobb termelője Kína, itt ma szenes képződményekből választják le a germániumot. Az adatok szerint a termelt germánium 65-90 %-a származik szén eredetű termékek – jórészt erőművi pernye – feldolgozásából [4].

A borsodi barnaszemek ritkaelemtartalmának kutatása az 1960-as években kezdődött [5]. Ebből az időszakból származik az az információ, hogy a Miskolc és Berente környéki barnaszemek germániumtartalmát részletesen, fúrások és vágatminták elemzésével vizsgálták, és bizonyos területrészekon jelentős, 100 g/t értéket meghaladó germániumdúsulásokat találtak [6]. A vett és

megvizsgált minták száma meghaladta az ezret. A mintákból a fémeket a félüzemi kísérletek során ki is vonták, s a kinyerési technológiát részletesen kidolgozták, de ipari bevezetésére nem került sor [7].

A korai mintavételek során klasszikus nedves-analitikai módszereket alkalmaztak. A kritikus elemek kutatási programja (CriticEl) során az elemzések ICP-AES és ICP-MS technológiákkal történtek, savas feltárásból. Ezekkel a módszerekkel a korábban kimutatott germániumtartalmat sokáig nem tudták kimutatni, a meghatározásokhoz a feltárási és elemzési technológiát jelentősen módosítani kellett, s a Pécsi Egyetem, illetve a Miskolci Egyetem kémiai tanszékeinek laborjaiban készültek el a germániumelemzések, de ezek száma a korai nagyszámú mintavétellel szemben kicsi volt.[8]. A mintázásokat 2020-ban működő két külfejtésben, Izsófalván és Felsőnyárádon tudtuk elvégezni. A vizsgálatokat a PTE Kémiai Tanszéke (AAS), illetve a ME MAK Kémiai intézete (ICP OES) készítette. Ennek germánium elemzési eredményei láthatók a 2. táblázatban [8].

2. táblázat: Germánium-koncentráció értékek a Borsodi-medence barnaszeineiben [8]

Mintázás helye	Elemző	Mintaszám	Ge koncentráció tartomány (g/t)	Ge átlag koncentráció
Felsőnyárád	PTE	16	2,94 – 26,2	7,1
Izsófalva	ME	8	1,84 – 5,93	3,8

A korábbi mérések során a legnagyobb Ge anomália értékek 100 g/t feletti tartományba is estek, 158 g/t maximális értékkel (Kondó, mélyfúrásban), a jelenlegi mintázástól jelentősen eltérő területen. A korábbi minták elemzésének megismétlésére most nem volt mód, mert sem az előfordulások bányüzemei, sem az elemzett kutatófúrások mintaanyaga nem voltak már elérhetőek [5].

4. Ritkaelem dúsulások erőműi pernyékben

A széntüzelésű erőművek mellett lerakott pernye hulladéknak minősül. Jelenleg a felhasználása Magyarországon kis arányú, a keletkezett mennyiség kb. 20 %-át érinti, szemben a nyugat-európai erőműveknél keletkező pernye 100% hasznosulásával. A felhasználás döntően építőanyagként történik [9].

Az egyik legnagyobb tömegben keletkező ipari hulladékfajta a hőerőműi szállópor lekötéséből felhalmozódott pernye. Ezeket zagy állapotban, ülepítőkben tárolják, állandó felügyeletet igényelve. A BAZ megyei hőerőművek mellett mintegy 40 millió m³ pernye halmozódott fel, döntően három helyen (3. táblázat).

3. táblázat: A Borsod megyei erőműveknél tárolt pernye mennyisége [9]

Hely	Tárolt mennyiség, millió m ³
Berente	19,1
Visonta	7,6
Tiszaújváros/Tiszapalkonya	14,1

A fentiek közül a visontai és a tiszaujvárosi pernyére van néhány közölt adat [9], de ezek között csak a tiszaujvárosi pernye $-0,063$ mm alatti szemcsefrakcióban van kritikus elemek jelentős dúsulására utaló érték, 351 g/t összes ritkafém tartalomként [9].

Egy bükkábrányi lignitből vett technológiai nagyminta anyagában következetesen magas szkandiumtartalom jelentkezett. A hamutartalom alapján pernyére átszámított szkandiumtartalom meghaladja a 60 g/t értéket [10], így ez a ritkaelemtartalom a pernye 1 tonnájára vetítve 140 USD értéket jelenthet (amennyiben a fenti átlagérték további részletes mintázással a felhalmozott pernye egészére igazolható).

A szkandium a ritkaföldfémek csoportjához tartozó elem. Melléktermékként nyerik ki más fémek (nióbbium, ritkaföldfémek) érceiből. Alumíniumötvözetek, üzemanyagcellák gyártásában kap lényeges szerepet. A Sc legkevésbé értékes termékformája (szkandium-oxid) a piacon kb. 2200 USD/kg áron jegyzett [11].

5. Rudabányai érctermelés maradványanyagai – barit és stroncium

Rudabánya egykor az ország legnagyobb vasérctermelő bányahelye volt, vasérctermelése 1985 -ben szűnt meg. A vasérc bányászata során felismert, de a termelés miatt háttérbe szorított egyéb nyersanyagdúsulásokról sorra kiderült, hogy úgy kiterjedésben, mint koncentrációban jelentősek lehetnek. Ezek a vasérctermelés során vagy érintetlenül a föld alatt maradtak, vagy a vasérc kitermelésekor a vasérctől elválasztva a meddőhányóra kerültek.

Rudabánya térségében számos ponton vannak meddőhányók. Ezek részben a bányászat során meddőként letakarított vegyes kőzetanyagok (mintegy 80 millió tonna), részben a vasérc feldolgozása során keletkezett pörkölési maradékok (mintegy $3,5$ millió tonna), részben a flotálási technológia során keletkezett maradványanyagok (kb. 100 ezer tonna) [12].

Két kritikus anyagfajta gazdaságilag jelentős előfordulásával számolhatunk a meddő anyagokban: ezek a barit (BaSO_4 , bárium-szulfát) és a stroncium (Sr, stroncium, barithoz kapcsolódó mikroelem). A baritot a fúrési technológiák izzapadalékként, a nukleáris technológiák sugárzáselnyelő anyagként vakolatokban, burkolatokban, a papír- és gyógyszeripar inert töltőanyagként, az építőipar nehézbeton-adalékként használja fel. A stroncium a kerámia mágnesek gyártásához, alumíniumötvözetekhez, orvosi alkalmazásokhoz, pirotechnikai anyagok előállításához szükséges [1].

Csak a felhalmozott bányászati hulladék anyagok kis részére készültek eddig anyagminősítő vizsgálatok. A legrészletesebb ismerettel a pörkölési maradványanyagok esetében rendelkezünk. Ebben a különféle időben végzett mintázások 3 – 19% közötti barit-tartalmat igazoltak. A barit az előzetes technológiai kísérletek szerint egyszerű technológiai folyamatokkal elválasztható a kísérő egyéb anyagoktól [12].

A barit 180 USD/tonna körül mozgó világpiaci átlagára [13] alapján a rudabányai maradványanyagokban lévő barit értéke tonnánként 6 – 36 USD körül becsülhető, így 18 – 110 millió USD összértékű barit vonható ki a maradványanyagból. A kivonás költségei – új technológiai kísérletek hiányában – még nem becsülhetők. A barit jövőbeli kinyerésének, feldolgozásának további időszerepét ad a tervezett Paks II atomerőművi beruházás előrehaladása, ahol erre az anyagra jelentős mennyiségben és jó minőségben lesz szükség, amelynek kielégítésére jelenleg csak 100% importból lenne lehetőség.

A stroncium a barithoz kapcsolódva $0,02$ – $0,2\%$ mennyiségben fordul elő állandó elemkíséretként. A leggyakoribb stronciumnyersanyag – stroncium-szulfát – 80 USD/tonna értékű [14].

6. Egyéb nem vizsgált, jelentős tömegű ipari maradványanyagok

Vannak olyan, barnaszének kísérő üledékes kőzeteként előforduló ásványi eredetű anyagok, melyeknek úgy az ásványos, mint a kémiai összetétele gyakorlatilag ismeretlen, de olyan jelentős tömegűek, hogy komoly gazdasági lehetőséggé válhat, ha bennük mikroelemek eddig nem vizsgált dúsulását lehetne azonosítani. Ilyenek például az alginitek, amelyek a Borsodi-medence szenes összletében, illetve a szendrői földtani térképezés kapcsán váltak ismertté [15]. Ezek lényegében olajpalaanyagok, amelyek a mikroelemek dúsításában a szénekhez hasonlóan viselkednek, de nyersanyagként termelésükre nem került sor, így a föld alatt maradtak érintetlenül, vagy a barnaszén felhasználással kapcsolatba hozható bányászati hulladéktároló létesítményekbe kerültek.

A ritkaelemek dúsulása szempontjából lényegében ismeretlen tömegűek és összetételűek az egykori kohászati üzemek: Ózd, Diósgyőr, Sajókeresztúr meddőlerakói, salakhányó anyagai. Ezek – jelentős tömegük miatt – ipari méretű feldolgozásra lehetnek alkalmasak, ha kémiai/ásványos összetételükben kritikus elem dúsulása jelentkezik.

7. Következtetések

Az ismertett kutatásaink néhány nagy tömegű bányászati hulladékanyag lerakójára korlátozódtak, és ezekből kisszámú minta eredményei adtak információt. Az előzetes ismeretek szerint az anyagok egy része olyan elem- és ásvány dúsulást tartalmaz, vagy tartalmazhat, amelyek miatt ezek a kutatások, illetve technológiai fejlesztések nyomán kitermelhető kritikus nyersanyag forrásokká minősíthetők majd át.

A maradványanyagok feldolgozása a kivont haszonanyag értékén túlmenően további kettős előnnyel járhat: területet szabadít fel, környezetterhelést csökkent. Így az ásvány-kőzettani, fizikai és kémiai paramétereik megismerése ugyan további kutatásokat igényel, de egyúttal jelentős gazdasági hasznot is ígér.

8. Köszönetnyilvánítás

A tématerületi kutatás a Miskolci Egyetem „Társadalmi hasznosság növelő fejlesztések a hazai felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása területén” című, az Innovációs és Technológia Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatási okirat (Támogatási Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján zajló projektje részeként valósult meg.

9. Irodalomjegyzék

- [1] European Green Deal: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal_en
- [2] EU (2020): COM (2020) 474 final: A Bizottság közleménye az európai parlamentnek, a tanácsnak, az európai gazdasági és szociális bizottságnak és a régiók bizottságának Reziliencia a kritikus fontosságú nyersanyagok terén: a nagyobb biztonsághoz és fenntarthatóságához vezető út feltérképezése. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>
- [3] Földessy J (szerk) (2012-2014): Criticel Monográfia sorozat I-X. Milagrossa, Miskolc
- [4] Madhav P., Athanasios K., Karamaidis O. (2021): Germanium: A review of its US demand, uses, resources, chemistry, and separation technologies. Separation and Purification Technology, 275, nov 2021, 118981.

- [5] Száva J., Szúcs Zné (1963): Adatszolgáltatás az Észak-magyarországi fúrásminták germánium tartalmáról. BKI Budapest Kéziratoss jelentés. 10 p.
- [6] Gagy-Pálffy A (1962): A járulékos és nyomelemek kutatásának helyzete Magyarországon. KGST Színesfémkohászati Kormánybizottság. Kéziratoss jelentés 44p.
- [7] Nádasy M. és Takács P. (1967): Germánium előállítása a szénfeldolgozás termékeiből. MTA Budapest 114 p. http://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/?p=critical_monografia_sorozat
- [8] Földessy J., Máday F., Máday V., Fuchs P. (2018): Korábbi adatok és mintavételezések áttekintése . in: Püspöki Z.(szerk) (2020): A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei. Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, 219-229, https://mbfsz.gov.hu/sites/default/files/file/2018/06/07/a_hazai_szenvagyon_es_hasznositasi_lehetosegei.pdf
- [9] Horváth R. (2014): A magyarországi szenek és széntüzelési pernyék nyomelemek adatai. in: Mucsi G. (szerk): Erőművi pernye komplex hasznosítása. Milagrossa, Miskolc, 27-44. [http://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/files/files/monografia_6\(1\).pdf](http://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/files/files/monografia_6(1).pdf).
- [10] ME ÁFI (2018): PTE és ME-MAK elemzési jelentések (kézirat, ME Ásványtani-Földtani intézet adattára)
- [11] USGS (2022): Scandium, <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-scandium.pdf>
- [12] Kasó A. ifj (2020): Rudabánya barit kutatás. Zárójelentés. Kéziratoss jelentés. Rotaqua KFT.
- [13] USGS (2022): Barite - <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/barite-statistics-and-information>
- [14] USGS (2022): Strontium - <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/strontium-statistics-and-information>
- [15] Szentpétery I. (1986): A Rudabányai-hegység és környezetének oligocén, alsó-miocén képződményei. M. Áll. Földtani Intézet Éves Jelentése az 1986. évről. Budapest, 121-128. https://epa.oszk.hu/02900/02934/00015/pdf/EPA02934_mafi_evi_jelentes_1986_121-128.pdf