

A hafnium és cirkon dúsulási lehetőségei a mecseki kőszenes összletben

HOCHREIN BENCE MSc hallgató ME MFK Ásványtani és Földtani Intézet
– HÁMORNÉ DR. VIDÓ MÁRIA okl. bányageológusmérnök, c. egyetemi docens
Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat

– DR. MÁDAI FERENC okl. geológus, intézetigazgató egyetemi docens ME MFK Ásványtani-Földtani Intézet
– DR. FÖLDESSY JÁNOS okl. geológus, professor emeritus



A tanulmány a magyarországi szenekben található ritka elemek (Hf, Zr, Nb, Ga, Ge etc.), kiemelten a cirkon és a hafnium kutatásával foglalkozik. [1] Érinti a Zr és Hf kémiai kapcsolatát. A Mecsek hegységi korábbi vizsgálatok mellett ismereti a 2012-14-ben végzett CriticEl kutatás fontosságát és eredményeit. [3] Ezek a kutatások egybehangzóan jelentős Zr és Hf dúsulásokat mutattak ki. Az előzetes kutatások további geológiai kutatások és mintavételek szükségességét mutatják.

Miért stratégiai fontosságú elem a hafnium?

A mai és főleg a jövőbeni modern világ elengedhetetlen elektronikus és ipari eszközeinek és szerkezeteinek rendkívül fontos alkotói közül a hafnium 2014-ben került fel az EU-ban stratégiai minősített nyersanyagokat felsoroló listára. [4] Az elem a cirkóniumhoz szorosan kapcsolódik kémiai szempontból, kinyerése a cirkónium melléktermékeként lehetséges. Az EU 2008 óta több lépcsőben bővített listát hozott létre, amelyben a kritikusként nyilvánított nyersanyagokat sorolják fel az előállítás, a piac és a technológia tükrében. Célja, hogy a meglévő belső lehetőségeket minél jobban kihasználják, illetve technológiai és kutatási fejlesztésekkel új lehetőségeket nyissanak meg. A hafnium esetében megemlítendő, hogy az Európai Unió országai közül csak Franciaországban folyik hafniumtermelés, importját 67%-ban Kanada, 33%-ban pedig Kína szolgáltatja. [5]

Hazai kutatási háttér

A magyarországi ritkaelem ásványvagyont kutatása az 1960-es években kezdődött, ezen belül is nagy hangsúlyt kapott a szenekből kinyerhető ritkafémek vizsgálata. Az akkori értékek ígéretes dúsulást mutattak [6], egészen 5% Zr-tartalmú maximális értékekig. A Zr-tartalom kiugró voltát a modern elemzésekben ennél egy nagyságrenddel kisebb értékekkel bár, de több későbbi mintavétel és értékelés is megerősítette. [7, 8, 9] A legújabb projekt, ami a magyarországi szenekben a ritkaelemek kutatásával új eredményeket szolgáltatott, a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium

megbízásából a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) irányításával készült. [10] A fő célkitűzése a projektnek a hazai szénvagyont hasznosítási lehetőségeinek vizsgálata volt. [2] Ehhez kapcsolódott a mecseki feketekőszén, a borsodi barnakőszén hasznosítható ritkaelemek vizsgálatát. [1]

Az 1. ábrán a mintavételi helyek láthatók, amely mintákat a CriticEl projektben a mérésekhez felhasználtak. Négyszöggel a nagymányoki, háromszöggel a vasasi, körrel pedig a Wildhorse szénkutató fúrásokból vett minták helyeit ábrázoltuk.



1. ábra: Mintavételi helyek a mecseki szenekből ritkaelem-kutatásra (adatok: CriticEl)

A cirkonról és a hafniumról dióhéjban

A cirkónium (Zr) rendkívül kemény, ezüstös színű fém, mely a legtöbb sav és lúg ellen nagy rezisztenciával rendelkezik. A keménysége a Mohs-skálán 8,5-ös értéket vesz fel, ami az egyik legkeményebb természetes anyaggá teszi. Olvadáspontja rendkívül magas: 1855 °C. A magas olvadáspont és a nagy korrózióval szembeni ellenállás miatt különböző ötvözetekben és kerámiákban, üvegekben alkalmazzák. Nem nyel el neutronokat, ez ideálissá teszi a nukleáris reaktorokbeli alkalmazásra. Az elem körülbelül 30 különböző ásványban fordul elő, de ezek közül két ásvány a fő cirkóniumforrás: a cirkon ($ZrSiO_2$), illetve a baddeleyit (ZrO_2).

A hafnium (Hf) ezüstösszürke fém, amely kémiaiilag rendkívül hasonlít a cirkóniumhoz. Önálló ásványt nem alkot, de a cirkónium ásványok minden esetben tartalmaznak legalább néhány százalék hafniumot. Keménysége, savakkal és lúgokkal szembeni nagy ellenállása a cirkóniuméhoz hasonló. Az olvadáspontja 2233 °C, nagyobb a cirkóniuménál. Felhasználása ezen tulajdonságai miatt az ötvözetekben, elektronikában, a nukleáris és a kémiai iparban elterjedt. [11]

Zr és Hf – szoros geokémiai kapcsolat

A cirkónium és a hafnium elemek szinte teljesen azonos töltéssel, ionsugárral és ion potenciállal rendelkeznek. Kationokként viszonylag nagy töltéssel rendelkeznek (Zr^{4+} , Hf^{4+}), viszont kis ionsugárral. Ezért ezek és a hasonló tulajdonságokkal rendelkező elemek – mint például niobium, uránium és tórium – erős elektrosztatikus mezőt alakítanak ki maguk körül, így nem tudják helyettesíteni a főbb elemeket az átlagos ásványokban. Ehelyett ezek a nagy térerejű nyom-elemek (High Field Strength Elements – HSFE) egyéb kevésbé gyakori kiegészítő ásványokban dúsulnak. A kéregbeni átlagos gyakoriságuk 100 ppm (Zr) és 3 ppm (Hf). [12]

A cirkon és hafnium földtani dúsulásai

A cirkon – és így a hafnium – dúsulása elsősorban a partmenti homokos nehézasvány torlat lelőhelyekhez köthető. Ez az ülepedési környezet főleg tengerek és óceánok partja mentén található, igen gyakori recens képződéssel. A nehézasványok különböző közetek mállástermékei, amiket a folyók a szárazföld belsejéből az erózióbázist jelentő vizekig szállítanak, ahol a hullámok, illetve a szél munkája által szétterül a part hosszában. A nehézasvány-koncentráció ezekben a torlatokban elérheti akár az összítőmög 20%-át is. Ugyanígy a cirkon koncentráció is változhat forrás-területől és lerakódási helytől függően 1 és 50% között. A legnagyobb ilyen előfordulások Ausztráliában és Afrikai déli részén találhatóak, de nagy lelőhelyekkel rendelkezik még Dél- és Délkelet-Ázsia, Kína is. [12] A hafnium nem jelenik meg a természetben önállóan,

mindig cirkon ásványhoz kapcsolódva található meg. A cirkon ásványok hafniumtartalma elérheti az öt százalékot.

Bányászat és feldolgozás

A nehézasvány homokokat a kavics-homok esetében szokásos termelési technológiákkal bányásszák. A homok nehézasvány-tartalmának kinyeréséhez a kitermelt anyagot előkészítik. Előosztályozásként a homok mosása a leggyakoribb, amivel 50 százalékosra dúsítható a nehézasványok aránya. A nehézasvány koncentrátumban a cirkon mellett több ásvány, a leggyakrabban ilmenit, magnetit, rutil, monacit, gránát vesznek részt. Ezt a koncentrátumot spirális osztályozókon tovább dúsítják, ezzel elérhető a nehézasványok 90%-os koncentrációja is. Végül a koncentrátumot kiszárítják, majd a különböző ásványok szétválogatása az eltérő fizikai tulajdonságaik alapján történik (mágneses szuszceptibilitás, elektromos vezetőképesség, szemcsenagyság, sűrűségkülönbség stb.). [13] Mivel a két elem kémiaiilag rendkívül hasonló, a szeparációjuk nehéz. A legtöbb kereskedelmi hafniumot a cirkónium finomítás melléktermékeként állítják elő. [14]

Alkalmazási területek

A cirkon ásványt, illetve a belőle előállított cirkóniumot sok területen alkalmazzák:

- Tűzálló anyagok: különböző kemencék és egyéb tűzálló eszközök anyagának, mivel nagyon nagy az olvadáspontja (2353 °C), rendkívül kemény (8,0-8,5 Mohs-érték) és nagyon kicsi a hővezető képessége, ami által védi a többi anyagot a túlhevüléstől.
 - Kerámiáipar: különleges, nagy hőállóságú eszközök adalékaként van jelen.
 - Polírozó és csiszoló anyagokban a nagy ellenállóságának köszönhetően.
 - Féldrágakő: a cirkon kristályok több színben is előfordulnak, és csiszolással nagy fényt és szépséget lehet elérni.
 - Elektromos szigetelő: a cirkónium más hasonló tulajdonságú elemekkel – magnézium és titánium – nagyon hatékony elektromos szigetelést képez.
 - Szilárd oxid üzemanyagcella: ebben a fajta üzemanyagcellában cirkónia réteget használnak szilárd oxid elektrolitnak.
 - Ötvözetekben főként a szilárdság erősítésében és a hőállóság növelésében van szerepe. Egyik fő felhasználási területe a nukleáris reaktorokban van, mint üzemanyag (uránium) tartócella alkotó.
 - A sebészetben a cirkónium savas környezetbeni ellenállóságát és a biológiai szövetekre való semlegességét használják ki például csavarokhoz, drótokhoz és lemezekhez, amiket implantátumokban használnak fel. [13]
- A hafnium felhasználhatósága szintén a fizikai tulajdonságaiban rejlik.
- Legnagyobb arányban – a föld hafnium igényének

közel 60%-a – nagy hőmérsékleten működő turbinák készítéséhez használt szuperötvözetek alkotója. Ezeket a turbinákat sugárhajtóművekben és az energia előállítására használt ipari gáz rendszerekben használják.

- Az űrkutatásban is fontos szerepet kap a nagy hőállósága miatt: hafniumtartalmú ötvözetekből készülnek a rakétahajtómű fűvókái, illetve a hővédő pajzs kerámiái is tartalmazzák a fémet. A hőállóságnak köszönhetően ideális a plazmavágók és hegesztő fáklyák hegyének.
- A műanyagiparban a polietilén és polipropilén hőálló műanyagok készítésekor hafnium bázisú katalizátorokat használnak.
- A kommunikációs iparban és a mikroelektronikában a fémet szigetelőanyagként használják mikrochipekben, optikai szálakban és dielektromos tükrökön. [14]

Cirkónium- és hafniumdúsulás a mecseki fekete-kőszekben

A korábbi geokémiai kutatások adatai

A 60-as évekbeli országos ritkafémkutatási program keretein belül a mecseki liász összletekről is készült részletes vizsgálati anyag. [6] A vizsgálati anyag 32 eleme közül itt a Be, Ge és a Zr jelentős dúsulását mutatták ki. Az 1. táblázatban a Zr értékei láthatóak.

A vizsgálat statisztikai értékelése 5 részterületre terjedt ki (Pécsbányatelep, Pécsszabolcs-Rücker, Pécs-Vasas, Komló-Zobák, Szászvár-Nagymányok), illetve vizsgálta a ritkaelemek dúsulását a mellékközetekben, azaz melyik elem kötődik a szenekhez és melyik inkább a befogadó kőzetekhez. Az értékelések szerint az ún. Északi Pikkely (Szászvár, Nagymányok) képződményeiben jellemzően nagyobbak a ritkaelem-dúsulások.

1. táblázat: Zr összesített adatok a mecseki ritkaelem kutatásból

	Zr g/t
Maximum	50 000
Mértani átlag	1 960
Átlagtól való közepes eltérés	3 601
Szórás %	183
Relatív hiba %	19

A témával kapcsolható következő értékelést a Máza-Dél kutatási program keretében [7] 100 darab minta elemzéséből végezte, amelyeket az 1970-es évektől Máza-Dél-Váralja-Dél területen mélyítettek. A kiválasztott elemek Hf, Pt, Pd, Re, Au, Ta, Os, Nb, Mo, Rh, La, Eu, Yb, Sc, Y és Zr voltak, amely elemekre csak maximum értéket közölt. Vizsgálatai szerint a Zr maximális koncentrációja 10 000 ppm volt. A MÁFI és a USGS közötti együttműködési program keretében két mintát elemeztek meg a USGS laboratóriumában [9], 1600 ppm Zr maximum értékkel.

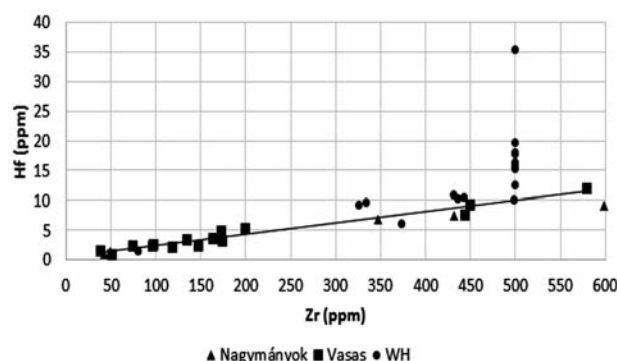
Kóbor vizsgálatai során a Vasas külfejtés kőzeteit vizsgálta. Az általa vett 41 mintában a legmagasabb értékek a szenes agyagokban jelentkeznek 1980 ppm Zr maximummal. [8]

A CriticEl program szolgáltatta a területen a legfrissebb méréseket. [3] A mecseki Vasas- külfejtés, a Wildhorse Energy CH4 (Pécs) és HH10 (Hosszúhétény) mélyfúrások, továbbá a Nm-30 mélyfúrás (Nagymányok) anyagából származnak a minták. Az elemzett mintaszám összesen 39 volt, az alábbi maximumokkal: Pécs-Vasas 1290 ppm Zr /12 ppm Hf, Wildhorse Energy fúrási minták 2290 ppm Zr/35 ppm Hf, Nagymányok 599 ppm Zr/9 ppm. [1]

A 2. ábrán a Zr és a Hf kapcsolatát ábrázoltuk a Nagymányokról, a Vasasról, illetve a Wildhorse (WH) korábbi szénkutatófúrásaiból származó minták alapján, amik a CriticEl projekt részét képezik. [1] A Hf és a Zr igen szorosan és pozitívan korrelál minden alkalommal, az összes lelőhelyen. Közel azonos az együttváltozás mértéke is. A diagramon látható, hogy a WH fúráshoz kapcsolódó Zr adatok egy része 500 ppm értéknél sorakozik, ezáltal rontva a korrelációt. Ezek az értékek mind 500 ppm feletti a valóságban, ám a mintákon végzett elemzés maximális határa 500 ppm, így az érzékenységi határ feletti értékek ábrázolása problémába ütközik. Eltérőek lehetnek lelőhelyenként a minták által reprezentált adatértékkészletek. Ezzel kapcsolatos lehet, hogy a mért Zr-Hf értékek legjobban a mázai és vasasi területeken húzódnak szét, ahol nagyobb a minták litológiai változatossága.

A Vasas fúrásokból származó adatok korrelációs egyenlete: $y=0,0189x+0,4982$; R_2 értéke 0,9549.

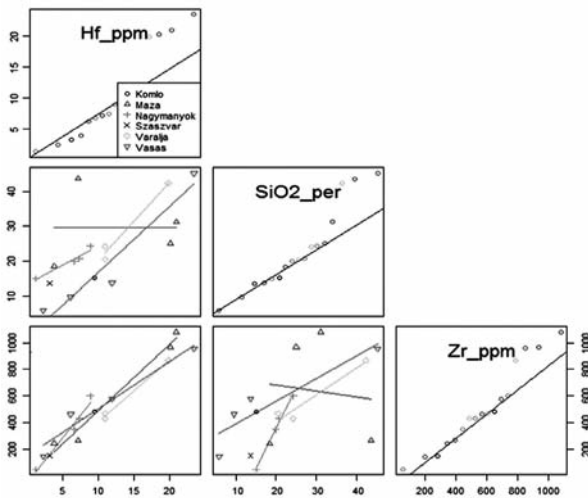
A 3. ábrán a Zr, a Hf és a SiO₂ kapcsolatát ábrázoltuk, a már fentebb említett adatokat is felhasználva.



2. ábra: A Hf (ppm) és a Zr (ppm) korrelációs kapcsolata (adatok: CriticEl)

A minták értékei megegyezően jó korrelációs értéket mutatnak a 3. ábrán jelöltekkel. A minták együttváltozás mértéke közel azonos, közel 45 fokos egyenes szakaszokat láthatunk. Eltérőek lehetnek lelőhelyenként a minták által reprezentált adatértékkészletek. Ezzel kapcsolatos lehet, hogy a mért Zr-Hf értékek legjobban a mázai és vasasi területeken húzódnak szét, ahol nagyobb a minták litológiai változatossága. A SiO₂ korrelációja mindkét vizsgált elemmel két sűrűsödést mutat, aminek oka lehet, hogy a mintahalmazokban

cirkongazdagabb és -szegényebb típusú, azaz törmelék vagy szenes kőzetek is szerepeltek. [1]



3. ábra: A Hf (ppm), az SiO_2 (%) és a Zr (ppm) kapcsolata (adatok: CriticEl)

A jelenlegi kőszénkutató program előzetes eredményei

A projekt során vizsgált összesen 22 db Pécs-vasasi mintában a cirkónium mennyisége 87,5 és 2250 ppm között változott, átlagosan 1216 ppm volt. A hafnium mennyisége 2,32–45,1 ppm között van, átlagban 24,3 ppm. A kőszénre becsült világszerte értékeket a Zr 6,3, a Hf 4,6 dúsulási tényezővel múlja felül. [2]

A dúsulások lehetséges gazdasági jelentősége

A világban 2003 és 2012 között mintegy 50 százalékkal nőtt a cirkónium kitermelt mennyisége, ami az USA-t nem számolva elérte az 1,45 millió tonna/év értéket. Ezzel párhuzamosan a rohamosan növekvő igénynek köszönhetően egy tonna átlagos minőségű cirkon ára 2012-ben már 2550-2750 USD volt az egy évtizeddel azelőtti 830-890 USD árhoz képest. [15] A USGS legfrissebb statisztikája szerint 2013 és 2017 között egy tonna cirkónium érc ára átlagosan 1025 USD körül mozgott. A hafnium fém átlagára 2017-ben 1917 USD/kg volt. [15] A folyamatosan növekvő nyersanyagszükséglet miatt az ár nagy valószínűséggel nem változik a közeljövőben negatívan.

Az EU Raw Material Group által (MOSS et. al. 2014) készített jelentés 27 olyan kritikus elemet sorolt fel, ami kritikus fontosságú az EU-energiaellátási és -hasznosítási technológiái számára. Ezek között a kiemelt kockázatúak: Ga, Te és egyes ritkaföldfémek (Dy, Eu, Tb, Y, Pr, Nd); nagy-közepes kockázatúak a Re, Pt, Hf, In, Ge és a grafit; közepes kockázatúak pedig a Ce, Cr, Co, Gd, La, Sm, Sn, Ta, V.

A világon nem ismerünk olyan szénlelőhelyet, amelyet egyedül a kőszén kiemelkedő cirkónium/hafniumtartalma miatt műveltek volna. Nem véljük, hogy a mecseki szénlelőfordulás lenne erre alkalmas.

Ha viszont egyéb ritkaföldfém-dúsulás kinyerése (pl. ritkaföldfémek, germánium, niobium, tantal) vagy alternatív szén-felhasználási módok (pl. szén elgázosítás) a kitermelést követően szén-előkészítési technológia (pl. mosással történő dúsítás) alkalmazására kerülne sor, a feldolgozás egyik lépésjeként a Zr-Hf dús frakciót is el kell majd különíteni. Hogy ez műszakilag lehetséges-e, további előkészítési kísérletekkel kell eldönteni.

A most zárult projekt során kapott 1216 ppm Zr és 24 ppm Hf átlagos tartalom és az idézett nyersanyagárak alapján becsülve a feketeszén termeléshez a Zr tartalom kinyerése mintegy 3 USD/tonna hozzáadott értéket, a vele együtt kitermelt Hf viszont 47 USD/tonna hozzáadott értéket képviselne. Ez a két érték közel van a szénből klasszikus energiahordozóként kinyerhető értékhez (kb. 52 USD/tonna világszerte áron), azaz a szén feldolgozása során a Hf és Zr hasznosítása akár megduplázhathatna a kőszénből kinyerhető értéket.

Jövőbeli vizsgálati irányok és várható eredményeik

Az eddigi eredmények alapján ismételtelen kijelenthető, hogy a mecseki szénekben és a körülöttük lévő meddőközetekben a kőszénre becsült világszerte 4,6 illetve 6,4-szer meghaladó értékben dúsul a cirkon és a hafnium. Mivel az elemek eloszlása egyenlőtlen, további részletes mintázással dönthető el a kinyerhető ásványvagyron Zr és Hf átlagtartalma és a befoglaló köztettőmeg mérete. A szén feldolgozási technológiája befolyásolja a Zr és Hf leválasztási lehetőségét, ezért a további szénelőkészítési vizsgálatokba ezt a lehetséges leválasztást is be kell építeni.

Egy lehetséges további kutatási irány a magmás intrúziók szerepének vizsgálata a Mecsek hegységben. A szenes összletekbe behatolt kréta kori alkáli bazalt intruzívumok közeléből vett minták anomális dúsulást mutattak a ritkaföldfémek, kiemelten a Hf és Zr szempontjából. Ebből a szempontból érdemes lehet további részletes vizsgálatokat végezni, hogy van-e tényleges kapcsolat a ritkaföldfém dúsulása és a szenes összletek magmás benyomulás általi alterációja között.

Köszönetnyilvánítás

A kutatások sikeréhez a Természeti Erőforrás Kutató és Szakkollégium nélkülözhetetlen segítséget nyújtott. Szeretném megköszönni a CriticEl projektben dolgozóknak, hogy rendelkezésünkre bocsátották a szükséges adatokat.

A cikkben/előadásban/tanulmányban ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

The article was carried out as part of the EFOP-3.6.1-16-2016-00011 „Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation” project implemented in the framework of the Szechenyi 2020 program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

IRODALOM

- [1] *Földessy J. – Mádai F. – Mádai V. – Fuchs P. – Török K. – Bertalan É. – Menich E. – Horváth Zs. – Falus Gy.*: Kritikus elemek kinyerési és hasznosítási lehetőségeinek vizsgálata (2018)
- [2] In: *Püspöki Z.* (főszerk.): A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei. – Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest, pp. 238–246. (2018)
- [3] *Horváth R. – Zajzon N. – Less Gy.*: New geochemical data from the Mecsek Hard Coal Formation. (in: Földessy J. ed: Basic Research of the Strategic Raw Materials in Hungary, Miskolc, Milagrossa) 66-69. (2014)
- [4] *Moss et al.*: Report on Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials (2014)
- [5] European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU, (2018)
- [6] *Csalagovits I. – Vighné F. M.*: A meddőközetek és a kőszén nyomelemei. – Ann. Inst. Geol. Publ. Hung. 51, pp. 518–574. (1969)
- [7] *Kádas M.*: A mecseki feketekőszén nyomelem vizsgálatának újabb eredményei. – Földtani Kutatás 26, pp. 81–82. (1985)
- [8] *Kóbor B.*: A liász kőszénes összlet radiológiai, geokémiai jellemzői és környezet-radiológiai hatásai Pécsbánya-telep környékén. – Kézirat, PhD értekezés, Szegedi Egyetem 90 p. (2005)
- [9] *Somos, L. – Zubovic, P. – Simon, F. O.*: Geochemical analyses of 12 Hungarian coal samples. – Geophysical Transactions 31, pp. 191–203. (1985) Püspöki, Z. (főszerk.) Debreczeni Á., Fancsik T., Hámorné Vidó M., Zelei G. (szerk.) (2018)
- [10] A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei. – Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest, 280 p.
- [11] *Jones III, J. V. – Piatak, N. M. – Bedinger, G. m.*: Zirconium and Hafnium, Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects of Future Supply, chapter V, (2017)
- [12] *Taylor, S. R. and McLennan, S. M.*: The geochemical evolution of the continental crust. Reviews in Geophysics 33: 241-265. (1995)
<https://www.zircon-association.org/zircon-sand.html>
- [13] *Chatterjee, K. K.*: Uses of Industrial Minerals, Rocks and Freshwater, 2009, 463-478 p. (2009)
- [14] *Pedersen, T.*: Facts about hafnium. www.livescience.com (2018)
<http://www.alkane.com.au/products/hafnium/>
<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zirconium/mcs-2018-zirco.pdf>
- [15] *Loferski, P. J.*: Platinum-group metals: U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries 2013, p. 120-121. (2013) <http://www.kitco.com/strategic-metals/>

HOCHREIN BENCE MSc műszaki földtudományi mérnökhallgató (Miskolci Egyetem MFK Ásványtani-Földtani Intézet).

HÁMORNÉ DR. VIDÓ MÁRIA a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat főmunkatársa, főtanácsosa. 1984-ben bányageológus-mérnöként végzett a Nehézipari Műszaki Egyetemen, ahol PhD fokozatát is szerezte 1996-ban.. Végzése óta a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) és jogutódjai kutatója, kutatási témák vezetője. 2008-tól 2010-ig a White Coal Energy Kft. kutatásvezetője a Keleti-Mecsekben. 2009 óta a Nemzetközi Szén és Acél Közösség (RFCS) Kőszén Kitermelési és Hasznosítási Munkacsoport felkért szakértője. 2004-2008 között a Nemzetközi Szén és Szerves Kőzettani Munkabizottság (ICCP) Földtani Alkalmazások Munkabizottság titkára, 1995-2004 között a Kőszénfácies Munkacsoport vezetője. Több mint száz publikáció szerzője. A Miskolci Egyetem címzetes egyetemi docense, az Eötvös Loránd Tudományegyetem doktori iskola és a Szegedi Egyetem felkért oktatója.

DR. MÁDAI FERENC 1989-ben végzett geológusként a Moszkvai Geológiai Egyetemen, azóta a Miskolci Egyetem Ásványtani és Földtani Intézet alkalmazottja, 2012 óta az intézet igazgatója. 2006 óta a Műszaki Földtudományi Kar oktatási dékánhelyettese. 1998-ban szerzett LL.M. fokozatot ásványi nyersanyag jog és igazgatás szakterületen a skóciai Dundee Egyetemen. 2005-2012 között az MSZT képviselőjeként részt vett a CEN TC292/WG8 munkacsoport munkájában a Bányászati Hulladék irányelv megvalósításához kapcsolódó szabványok, útmutató anyagok kidolgozásában.

DR. FÖLDESSY JÁNOS, okl. geológus (ELTE 1970), a Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézetének professzor emeritusa. Korábban több ipari földtani kutatási projekt résztvevője és irányítója volt itthon és külföldön.