

A Kritikus Nyersanyagok Maraton Adatgyűjteményéből. Földpát, Mg, He, F, Ga, bauxit, foszfát – stratégiai és kritikus ásványi nyersanyag potenciál – globális és hazai körkép

From the Critical Raw Materials Marathon Data Collection. Feldspar, Mg, He, F, Ga, bauxite, phosphate – strategic and critical mineral raw material potential – global and domestic overview

PATAKY CSILLA, BSc-hallgató; RICHMOND KOJO KYEI, MSc-hallgató; FÖLDESSY JÁNOS, professzor emeritusz;
MÁDAI FERENC, egyetemi docens, intézetigazgató

Miskolci Egyetem Nyersanyagkutató Földtudományi Intézet, Miskolc

A cikksorozat utolsó tanulmányában olyan kritikus ásványi nyersanyagok helyzetét tekintjük át, amelyeket az előző cikkekben tárgyalt csoportokba nem lehetett besorolni. Ezek között van jelenleg is termelt anyag (földpát), jól ismert, bár jelenleg nem termelt nyersanyagok – bauxit, fluorit – melléktermékként korábban jelentős mennyiségben termelt fém (gallium), nemesgáz (hélium), illetve fémkinyerésre korábban alkalmatlannak tekintett ásványi anyagok (magnézium). A lényegesen különböző földtani helyzetű, halmazállapotú és alkalmazási területű előfordulásokat külön fejezetekben tekintjük át, fő hangsúllyal a hazai lelőhelyek tulajdonságaira.

Kulcsszavak: stratégiai ásványi nyersanyag, magnézium-, földpát-, hélium-, fluorit-, gallium-, bauxit-, foszfát-előfordulások, ásványvagyon potenciál

In the last review of the article series we present the status of a group of critical mineral raw materials that could not be classified into the groups discussed in the previous articles. These include currently produced materials (feldspar), well-known (although currently not produced) raw materials – bauxite, fluorite – metals produced in significant quantities as by-products (gallium), noble gases (helium), and minerals previously considered unsuitable for metal extraction (magnesium). Materials with significantly different geological settings, states of matter, and areas of application are reviewed in separate chapters, with a main emphasis on the properties of domestic occurrences.

Keywords: strategic raw material, magnesium, feldspar, helium, fluorite, gallium, bauxite, phosphate occurrences potential

Bevezetés

A kritikus ásványi nyersanyagok hazai palettájának utolsó csoportja kerül sorra ebben a tanulmányban, kiegészítve a nyersanyagok EU-beli, illetve világ méretű helyzetének felvillantásával. Az áttekintés pillanatkép. A jelenleg – egyelőre tervek és javaslatok formájában – alakuló Nemzeti Feltérési Terv részeként olyan alapkutatások, felderítések, minősítő értékelések fognak születni, amelyek ezt a képet – remélhetően az előnyös irányba – jelentősen átforgatják majd.

Az áttekintésünk egyúttal figyelem felhívás is, az állami kutatásoktól független iparvállalatok, befektetők felé. Jelezni szeretnénk, hogy ez a generációk óta elhanyagolt szektor igen jelentős gazdasági lehetőségek forrása lehet, egyúttal az ország olyan régióiban is, ahol a szociális leszakadás egyetlen menekülő útja egy helybe érkező jelentős, természeti erőforrást érintő tevékenység – földtani kutatás és bányászat, feldolgozás – lehetne. Az előzetes gazdasági becslések azt mutatják, hogy az előfordulások közül több olyan van, ami jelen állapotában is vállalható, gazdaságos befektetési cél lenne.

Földpát

A földpát a nem fémes ipari ásványok csoportjába tartozó nyersanyag. Információit főként az EU adatlap alapján állítottuk össze [1]. A világon szinte mindenütt termelt, az üvegipar és a kerámia gyártás számára alapvető fontosságú ásványi nyersanyag. Fő szerepe az olvadáspont csökkentése. A világ mintegy 31 Mt össztermeléséből az EU fogyasztása 9,8 Mt/év, bányászati termelése 4,9 millió tonna. A világ három legnagyobb termelője Törökország (32%), India (20%), Kína (8%).

Különféle magmás kőzetek mállásával létrejött üledékekből, üledékes kőzetekből származik. A fő forráskőzetek nefelinszienit, szienit, gránit, a földpát leggyakoribb fajtája albit, nefelin, mikroklin, ortoklász, szanidin.

A termék árakat a helyi piac alakítja, a világon jelentős fogyasztónak számító USA-ban a földpát anyag átlagár 2024-ben 110 USD/tonna, nefelinszienit 200 USD/t [2].

7720 Pécsvárad

Az ország egyetlen előfordulása, ahol földpát ipari méretekben és kitermelésre érdemes minőségben ismert, itt található (*I. ábra*). Földtani kutatása 2006-ban zárult. Jelenleg éves termelési kapacitása 59 000 tonna [3]. Az előfordulás pliocén felső pannoniai korú, keleti 10–15 fokos dőlésű folyóvízi homok, melynek fedőjében agyag és kavics, fekvőjében agyagos homok, majd alsó pannoniai korú márga található. A 30 m vastag jó minőségű homok földpát és földpát pótló tartalma 30–40% (ebből kb 60% mikroklin, 30% albit, 10% nefelin). A 0,1 mm alatti szemcsefrakció 10–30%, vastartalma 1,2–3%. A homokot mosással készítik elő végtermékké. Ennek során a finom frak-



I. ábra. A pécsváradai földpátos homokbánya (Forrás: hu.mineral.eu)

ciót hidrociklonokkal leválasztják, a vastartalmat a szemcse felületekről koptató keverő berendezésekben attritálással lekoptatják. A végterméket szemcseméreti osztályozás után javarészt üvegipari alkalmazásra értékesítik.

Magnézium

Alkáli földfém, a földkéreg nyolcadik leggyakoribb eleme (2,5 súly%). 2011 óta szerepel a kritikus nyersanyagok európai listáján. A fémek között a legkisebb fajsúlyú, nem-toxikus, nem-mágneses, nagy törőszilárdságú. Fontos biológiai elem. A világ magnézium-termelése 2002-ben közelítőleg 419 ezer tonna volt. 2011-re ez az érték majdnem duplájára nőtt.

Magnéziumot ásványi nyersanyagok feldolgozásával magnezitből (MgCO_3), dolomitból és helyenként brucitból ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) állítanak elő, ultrabázitokból, evaporitokból, tengervízből, nagy sótartalmú felszínalatti vizekből [4].

Legfontosabb hordozó nyersanyaga a magnezit. Az ásvány MgO-tartalma 47,8 súly% (52,2% szén-dioxid-tartalommal). A természetes magnezit kőzet az uralkodó magnezit ásvány mellett mindig tartalmaz bizonyos mennyiségű kalcium karbonátot, és egyéb karbonátásványokat, például dolomitot, szideritet. A magnézium másik ipari méretekben kitermelt ásványos hordozója dolomit, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ennek MgCO_3 -tartalma 45,65% (egyenértékű 21,7% MgO-val).

Üledékes kőzetként bepárlódó sóstavi és lagúna üledéksorozatokban, a kalcium-karbonát kiválását követően keletkezhet. Az úgynevezett Veitsch típusú magnezittelepek metaüledékes kőzetsorozatokban találhatóak. Mészke és dolomit metasztatikus kiszorítása útján durvakristályos magnezit keletkezik. A létrehozó tényező hidrotermális eredetű, Mg-gazdag fluidum. A kiszorítási folyamat a kőzet közlekedő pórustereiben, repedései, réteglapjai, elválásai mentén terjed. *Ultrabázisos kőzetek átalakulási termékeként, illetve telérkitöltésként* serpentinisedett ultrabázisos kőzetekből jön létre, ha a kőzetből mállás során infiltrálódó csapadékvíz vagy CO_2 -tartalmú hidrotermális oldatok a Mg-tartalmat mobilizálják. *Magas oldottanyag-tartalmú vizek Mg-dús változataiban (keserűvíz)* ionos állapotban van jelen. A dolomit kőzetet – főként építőipari nyersanyagként – számos helyen bányásszák. A magnézium dolomitból való előállítására gazdaságos technológiákat elsősorban Kínában alkalmaznak.

A nyilvános hazai ásványvagyon nyilvántartási adattáblázatok nem tartalmaznak külön adatokat magneziumra, magnezitre.

Magnezit-előfordulásaink

9794 Felsőcsatár

A Kőszegi hegységben Felsőcsatáron a korábban bányászott szerpentinben talktelepben magnezitet tartalmazó erek ismertek. A magnezit csak lokális elterjedésű, ezenkívül dolomit és kevés ankerit, kalcit, sziderit is fellelhető.

3735 Alsótelekes, 3756 Perkupa

Perm és triász korú evaporit sorozatokban magnezit-gazdag üledékes közbetelepülésekről van információ, érdemleges mennyiségi, kiterjedési adatok nélkül.

Dolomit-előfordulásaink

2085 Pilisvörösvár

Magyarország legjelentősebb dolomitbányája. Az előfordulás a Dorogi- és a Pilisvörösvári-medencét elválasztó kiemelt helyzetű triász karni fődolomit zónába tartozik, az ország legtisztább és legjobb minőségű dolomitja. A kitermelhető ásványvagyon (2010) 28,4 Mt darabos dolomit és 37 Mt dolomitliszt. Termelése 2007-ben 232 ezer tonna volt [5]. A dolomitot az építőipar – például nemesvakolat-gyártás – mellett az üvegipar, a kohászat és a műtrágyagyártás használja fel.

Egyéb jelentősebb dolomit-előfordulásaink: **8043 Iszkaszentgyörgy, 3735 Alsótelekes, 8082 Gánt.**

Keserűvizek

A keserűvizek Mg- és szulfát-ionokat nagyobb mennyiségben tartalmazó ásványvizek.



2. ábra. A nagyigmándi keserűvíz címkéje (Forrás: <https://hu.museum-digital.org/object/27083>)

2942 Nagyigmánd

A legismertebb Mg-dús keserűvíz felfedezése felszíni talajvíz kutakból 1862-ből datálódik, gyógyvízként termelése 1989-ben fejeződött be. Legelső közölt elemzése szerint a víz 5,5% Mg-tartalmú, a palackozáson közölt kémiai elemzés alapján MgSO_4 -tartalma 2,6%, Na_2SO_4 -tartalma 1,0% (2. ábra). Gyógyvízként történt termelését a víztartó nitrátos szennyeződése miatt hagyták abba. Lehetséges vízhozama, genetikája, nem ismert. MgSO_4 formában gyógyhatású készítményként, talajjavítóként, műtrágyaanyagként alkalmazzák. Ilyen sós vizetből (főként tengervízből) előállítása ipari technológiával megoldott [6]. A magas Mg-szulfát-tartalom a szomszédos község (2898 Kocs) talajvízkútjaiban is jelentkezett.

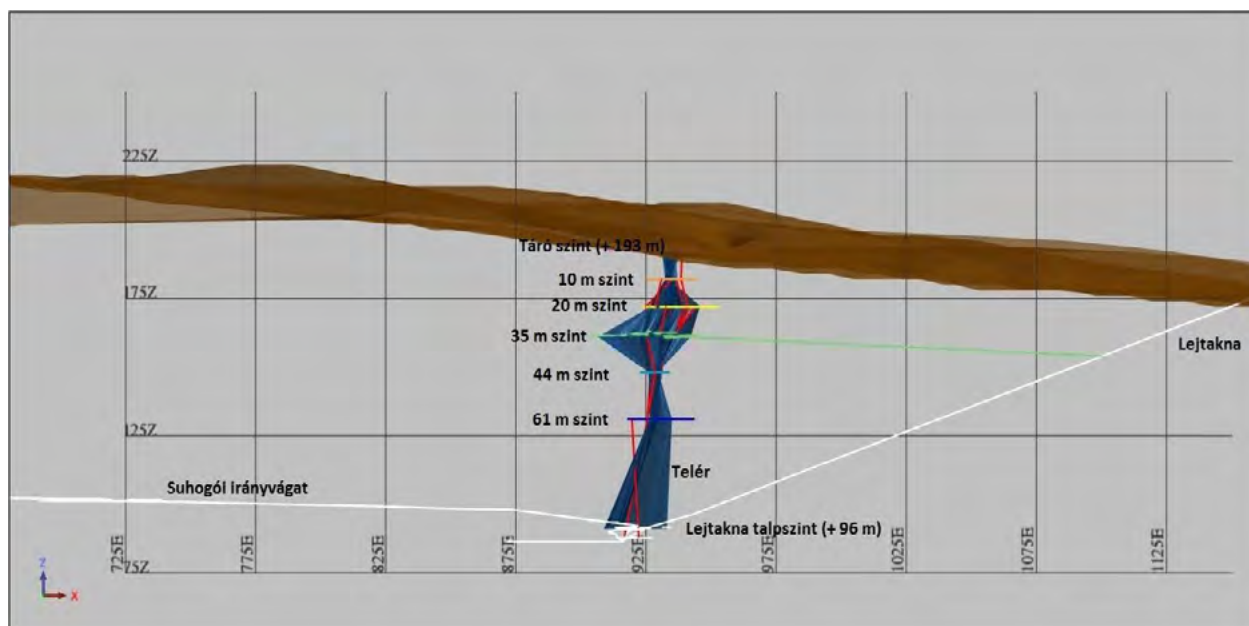
Hélium

A hélium a hidrogén után a második legkönnyebb gáz, és a második leggyakoribb elem az univerzumban.

Kémiaiilag inert, nem mérgező, és az abszolút nulla hőmérséklethez közeli hőmérsékleten folyékony állapotban marad. Csak a közelmúltban kezdte el a globális közösség felismerni stratégiai jelentőségét és a felelősségteljesebb gazdálkodás szükségességét. Főként a földgáztermelés melléktermékeként állítják elő, és ezért rendelkezésre állása a fosszilis tüzelőanyagok termeléséhez kötődik. A globális héliumtermelés 2024-ben meghaladta a 160 millió köbmétert. Katar és az Egyesült Államok együttesen adják a termelés több mint 75%-át. Egyedülálló tulajdonságai miatt pótolhatatlan számos ágazatban, többek között a felfezőtőgyártásban, az űrhajózásban és a védelmi iparban. Használják továbbá a kvantumtechnológiákban is, ahol lehetővé teszi a kvantumadatok stabilizálásához szükséges rendkívül alacsony hőmérséklet elérését. Ezeknek az alkalmazásoknak nincs közvetlen helyettesítője [7].



3. ábra. A hélium egyik legnépszerűbb alkalmazása



4. ábra. Pátka Kőrákáshegy fluorittelér modellje, Surpac (Forrás: Tompa R. kéziratosa)

A természetes hélium hazai előfordulásaival kapcsolatosan kevés nyilvános közlésről van tudomásunk.

8000 Székesfehérvár

A múlt század első felében közölték az első átfogó mintavételek nyomán készült He-koncentrációkat Magyarországról [8]. A legnagyobb értékek a Székesfehérvári fúrás 820 m mélyről, paleozoikumból származó gázmintájában jelentkeztek 1,54% maximális He-koncentrációval 30% metán mellett.

4200 Hajdúszoboszló, 9653 Répcelak, 5520 Szeghalom

Szórványos mérési adatok ismertek az Alföld és a Kisalföld fúrásaiból. Az alföldi kutakban Szeghalomnál 192–310 mg/kg [9], a Kisalföldön Répcelaknál 200–1462 mg/kg közötti volt [10] az összesen mintegy tucatnyi elemzett gázminta He⁴-tartalma.

A legújabb időkben a hazai héliumdúsulások lehetőségének körvonalazására végzett földtani elemző vizsgálatok szerint Hajdúszoboszló már letermelt mezőjének becsült hidrogénvagyona 23 Mm³ volt. Hajdúszoboszló mély zónájának, illetve Répcelak felső szintjeinek He-tartalma meghaladta az 1000 mg/kg-et. Az elemzés a legígéretesebb feltáratlan területként a Szolnoktól K-re NyDNY-KÉK irányban húzódó 20–30 km-es kevertgáz övet tartja [11].

Fluorit

Az EU 2023-as adatösszegzése [12] szerint a fluorit (CaF₂) a kohásban folyósítószerként működik, csökkenti a nyersanyagok olvadáspontját és megkönnyíti a szennyeződések eltávolítását az acél- és alumíniumgyártás során. A vegyiparban a hidrogén-fluorid a

gyógyszerekben, hűtőközegekben, nagy teljesítményű műanyagokban és atomerőművi fűtőelemek feldolgozásában használt fluorozott vegyületek elsődleges prekursoraként szolgál. A globális fluoritpiac 2024-ben körülbelül 2,57 milliárd USD volt, a becsült növekedési ütem 2032-re eléri a 3,41 milliárd USD-t, ami körülbelül 3,6%-os növekedési ütemet jelent. Kína, Mexikó és Dél-Afrika a fő termelők. A termelők és a kereskedők a fluoritot három fő minőségbe sorolják:

- ❑ Floursav-gyártási minőség (≥97% CaF₂): floursav előállítására;
- ❑ Kohászati minőség (60–85% CaF₂): olvadáspont csökkentésre;
- ❑ Kerámiai minőség: üveg, kerámia, zománc gyártására

Magyar előfordulások

8092 Pátka, 8095 Pákozdi

A Velencei hegység Pátka környéki három kis bányájában (Pátka Szűzvár, Malom, Pákozdi) folyt bányászati termelés 1952 és 1973 között, kezdetben fluorit, majd Pb-, Zn-érc nyersanyagokra. Az egyes üzemek éves kitermelése 2–5 ezer tonna körül változott, az élettartamuk végén a 20 ezer t/év mennyiség körüli volt [13]. Ásványvagyona az állami nyilvántartások szerint nincs.

Az előfordulások adatait – a földtani kutatástól a dúsítás technológiáig bezáróan – egy áttekintő monográfia adja közre. Az összefoglalóból kiderül, hogy a régi üzem 3D-rekonstrukciója és az új földtani modell szerint a fluoritdúsulás a mélység felé nem csökken, hanem nő (4. ábra). Kémiai összetétele kevésbé ismert, a CriticEl elemzési adatok szerint jelentősebb In- és Ag-tartalom is jelentkezhet [14].

Bauxit

A bauxit intenzív laterites mállással képződik alumínium-szilikát kőzetekből. Ásványtanilag Al-hidroxidokból (gibbszit, böhmít, diaszpor), valamint felszíni mállással szemben további stabil fázisokból – vasoxidok és -hidroxidok, kvarc, szilikátok – áll. Tipikus Al_2O_3 -tartalma 40–60%, amely régióként és lelőhely típusonként változik. A világ elsődleges alumíniumérce, és az egyetlen gazdaságilag életképes alumínium-oxid forrás.

Két fő lelőhelytípus létezik:

- ❑ A karsztbauxitok karbonátos térszínen fejlődnek ki, ezek jellemzőek Európában a Földközi-tenger medencéjére, beleértve Görögországot, Franciaországot, a volt Jugoszlávia több országát és Magyarországot is.
- ❑ Laterit-bauxitok trópusi régiókban képződnek, és ezek ma dominánsak a globális bauxittermelésben, beleértve Guineát, Ausztráliát és Braziliát.

A USGS [2] adatai szerint a bauxitkészlet globális szinten 30 milliárd tonnára becsülhető, és főként Guineában (25%), Ausztráliában (17%), Vietnamban (12%) és Brazíliában (9%) koncentrálódik. Az Európai Unión belül Görögország rendelkezik a legjelentősebb lelőhelyekkel, a becslések szerint ezek teljes készlete körülbelül 250 millió tonna. Az EU kevesebb mint 2 millió tonna/év bauxitot termel (2016–2020 átlag), Görögország adja ennek 93%-át.

A magyarországi bauxitok kutatásának és bányászatának jelentős irodalma van. A földtani kutatásáról szóló utolsó áttekintő összefoglalás 2020-ban jelent meg [15]. Korábban jelentős karsztbauxitlelőhelyekkel rendelkezünk, amelyek zöme a Dunántúli-hegység karsztrendszereihez kapcsolódik. A magyarországi jelenlegi földtani vagy 124 millió tonna [16].

Fő termelő helyek a Bakonyban és a Vértesben **8454 Nyírád, 8452 Halimba, 8581 Iharkút, 8432 Fenyőfő 8082 Gánt, 8044 Kincsesbánya** voltak. Bauxit termelésünk 2018-ban megszűnt, az utolsó bánya a **8427 Bakonyoszlop II.** volt. Az ország korábban jelentős timföldgyári kapacitással rendelkezett (**8400 Ajka, 2931 Almásfüzitő**), ezek bezártak.

Bár alumíniumtermelésre a jelenleg ismert források elégtelenek, ritkaföldfém-, gallium- és szkandiumtartalmuk [17] kinyerésével együtt gazdasági potenciáljukat érdemes újraértékelni. A még lehetséges kitermeletlen lelőhelyek a Dunántúli Középhegység mezozoós karbonátos sorozataiban várhatóak [18].

Gallium

A gallium, a bauxithoz közvetlenül kapcsolódó kritikus ásványi nyersanyag. Az alumíniumot képes he-

lyettesíteni a hasonló ionrádiusz és töltés miatt oxid- és hidroxidásványokban – különösen a böhmítben és a gibbszitben. Önállóan nincsenek számottevő dúsulásai, telepei, hanem más nyersanyagok feldolgozásának melléktermékeként állítják elő. Elemi állapotban nagyon széles hőmérséklet tartományban, 29–2400 °C között folyékony. Gallium esetében az EU importfüggősége 97%-os. A gallium nélkülözhetetlen elem integrált áramkörökben (70%), LED-világításban (25%) és CIGS fotovoltaiikus rendszerekben (5%). A bauxitokban átlagban 30–80 mg/kg gallium fordul elő. A bauxit mellett a gallium másik forrását a cinkérczek jelentik [19]. Világpiaci átlagára (2024) 220 USD/kg [2].

Hazai előfordulások

Magyarország egykor jelentős galliumtermelő volt az 1970-es években, az akkori világtermelési rangsorban a 10. helyen állt, évi 1-2 tonna fém gallium termeléssel. A galliumot a bauxitból a timföldgyártás során vonták ki.

Magyarországon az 1970–80-as években végzett szinképelemzések – esetleg az eltérő kiértékelési eljárások nyomán – jelentősen magasabb Ga-tartalmaikat mutattak, mint a jelenlegi ICP-OES-, ICP-AES-, ICP-MS-mérések. A mai hazai földtani laboratóriumok a CriticEl program során végzett összemérés eredményei is jelentős hibával terheltek, e téren módszerfejlesztésre van szükség.

8581 Iharkút

317 minta elemzése alapján a Ga_2O_3 -tartalom 22 és 104 mg/kg között volt (16–77 mg/kg Ga) [18].

8454 Nyírád, 8427 Bakonyoszlop

A CriticEl program során végzett modern szinképelemzésekben a legmagasabb Ga-koncentrációkat a hazai bauxitmintákban mértük, 4 lelőhelyen, 16 mintából, 44 mg/kg átlagértékkel, 55 mg/kg maximummal.

8092 Lovasberény

A Velencei-hegység hidrotermálisan elváltozott paláiban Li- és Ba-dúsulást kísért 200–300 mg/kg gallium [20].

7691 Pécs

A Mecseki Kőszén Formáció „1–2 rétegtani szintjében” 1237 (!) mintában átlagosan 80 mg/kg, néhány mintában 0,1%-ot elérő Ga-tartalmat találtak. A mecseki feketekőszén területéről 326 kőszénhamu-mintát vizsgáltak, átlagértékük 137 mg/kg [21].

7353 Szászvár

A liász kőszenes összletből vett mintákban a maximális Ga koncentráció az Sz-12 fűrásból vett egyik mintában jelentkezett, 55 mg/kg értékkel [22].

2509 Dorog, 8056 Bakonycsérnye

A fiatalabb kőszének hamujában is mutattak ki Ga-dúsulást [21]: – 76 mg/kg a Dorogi Formációhoz tartozó eocén barnakőszénben, – 133 mg/kg a Csatkai Formációhoz tartozó oligocén barnakőszénben, – 96 mg/kg a bakonycsérnyei eocén barnakőszénben.

8092 Pátka, 2634 Nagybörzsöny

Az ólom-cinkérccek szfaleritjében a következő Ga-tartalmakat közölték [21]: Pátka 1600 mg/kg, >1% (szűzvári dúsító szinpora: 0,1%), Nagybörzsöny, al-táró: 1600 mg/kg,

A CriticEl mintázásaiban [22] a legnagyobb Ga-koncentráció egy szűzvári fluorittelér-mintában fordult elő, 94 mg/kg értékkel.

3244 Parádfürdő

Parádfürdő környéke: 600–4000 mg/kg Ga-tartalom jelentkezett szfaleritben [21].

Foszfát

A foszfátkőzet és az elemi foszfor (P_4) az EU által kritikus nyersanyagnak minősül nagy gazdasági jelentőségük és ellátási kockázatuk miatt. Fő felhasználási területei közé tartoznak a műtrágyák (az EU foszfátkőzet-felhasználásának 86%-a), az állati takarmányok kiegészítői, valamint a speciális vegyi anyagok (pl. égésgát). Világszinten a készletek több mint 70%-a Marokkóban, Kínában és az Egyesült Államokban koncentrálódik. Finnország ad otthont az egyetlen működő európai foszfát bányának (Siilinjärvi), amely 1,6 milliárd tonna, 3,7% P_2O_5 -tartalmú magmás foszfát-ásványagyont tartalmaz.[23].

8245 Pécsely

Az 1950-es években az első áttekintő uránérc kutatás során derítették fel az előfordulást [24]. A triász anizuszi Megyehegyi Dolomit és a felette települő triász ladini brachiopodás mészkő határfelületén alakult ki, néhány tized méter vastagságú tömeges és 1-2 m vastagságú infiltrációs foszforit dúsulás, 22–24%



5. ábra. Üledékes foszforit, Bükk-szentkereszt (Forrás: Criticel 2013)

P_2O_5 -koncentrációval, kísérő fluorittal. A fő foszfortartalmú ásvány F-apatit. A határfelületet későbbi kutatások a Tagyoni Platform kiemelt tengeralfatti blokkjaként értelmezték [25].

8409 Úrkút, Eplény

Foszforit-betelepülések találhatók az úrkúti és az eplényi mangánérc telepeken, melyek szintén kiemelt RFF-tartalmúak (0,5 tömeg%-ig) [17]. Kiterjedésük, vastagságuk, koncentrációjuk nem ismert.

3557 Bükk-szentkereszt

Szintén az 1960-as évek felderítő térképezései során légi U-anomália felszíni ellenőrzésével azonosították bükk-szentkereszt urántartalmú üledékes foszfátot triász tengeri üledékes rétegsorban (5. ábra). A foszforit F-apatitból épült fel. A kőzetben nagy RFF-koncentráció is jelentkezett [17]. Kiterjedése, P-koncentrációja nem ismert.

Bór

2023 óta szerepel a CRM listán. Az EU-ban 100%-os az importfüggőség. A világ legnagyobb bórát ásványvagyoni Törökországban (a globális tartalékok 75–80%-a) és az Egyesült Államokban koncentrálódnak [26]. Néhány termelési fázis előtt álló regionális projekt van Európában, mint a szerbiai Jadar lítium-bórát lelőhelye, de ezek a környezetvédelmi tiltakozások és az engedélyezési akadályok miatt késedelmekkel szembesülnek. [27].

A Kárpát-medence neogén vulkanitjaiban a bór-koncentráció 4,4–90,3 mg/kg között változó, a legnagyobb értéket a Cserhát-hegységben mérték [28]. Datolit (kalcium boroszilikát) ismert **3321 Egerbaktáról** [29] és vonsenit tús kristályai találhatók a cserhádi Zsúnyi-hegy andezitbányájának szanidingazdag üregkitöltéseiből [30].

A mélységi formációvizek bórtartalma a rendelkezésre álló adatok [31] alapján.

Néhány kútból és rétegből jelentősebb koncentrációk ismertek: **3131 Sóshartyán** 600 m: 115 mg/kg, **5731 Nyékpusztai Nypu-6** 314,2 mg/kg (hát-térérték 1–2 mg/kg).

Összefoglalás

Az áttekintésünkben említett 3 fémként azonosítható kémiai elem, 1 nemesgáz és 3 ásványbányászati nyersanyag szerepelt. Az előfordulásokat a szövegben a postai irányítószámukkal kiegészítve listáztuk, és ilyen formában jelenítjük meg a mellékelt térképen (6. ábra). Az előző áttekintések mintáját követve azokat tekintettük említésre méltó dúsulásoknak, amelyekben a kritikus nyers-

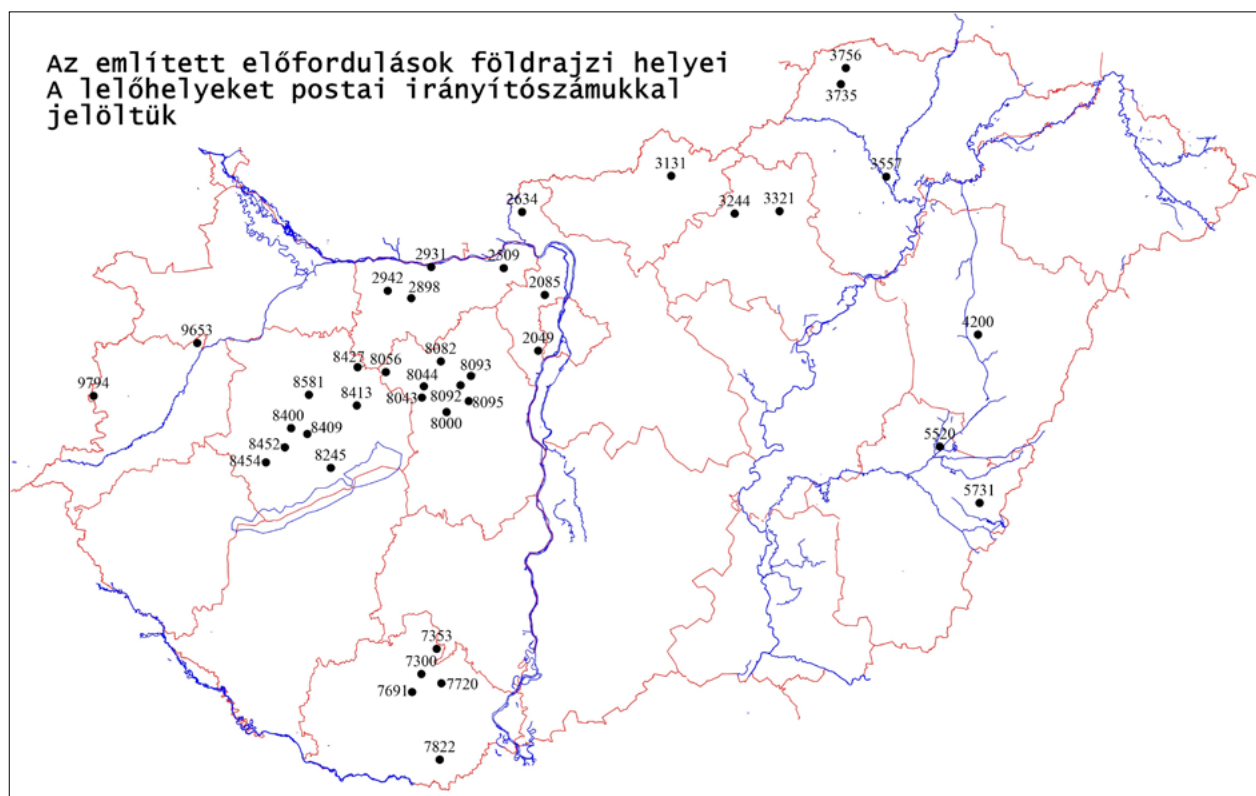
1. táblázat. A tanulmányban szereplő kritikus nyersanyagok piaci árai

Ár		USD/gramm	USD/tonna	Küszöb g/t	Küszöb %
Bauxit	Al ₂ O ₃		30		33
Bór	B ₂ O ₇		560		2
Földpát			44		23
Magnézium	MgCO ₃		895		1
Hélium*	He ₂		14		
Fluorit	CaF ₂		400		3
Gallium	Ga	0,22		45	
https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025.pdf https://www.echemi.com/productsInformation/pd20160530143440098-magnesium-ca??? *USD/m ³					

anyag közetben megjelenő koncentrációjának mai piaci értéke a befoglaló közet egy tonnájában eléri vagy meghaladja a 10 USD-t. A koncentrációértékek esetében a maximumokat vettük alapul, az árak esetében a USGS éves jelentésében alkalmazott átlagárakat használtuk. A nyersanyagok hozzávetőleges pillanatnyi áráról az 1. táblázat ad tájékoztatást. Tömegre, a termelés mennyiségére csak hivatkozható közlésben megjelent adatot fogadtunk el.

A területi korlátok miatt az általános áttekintés rovására inkább a hazai előfordulások néhány fontosabb jellemzőjét soroltuk fel, megadva néhány hivatkozást, amelyek kiindulási pontként szolgálhatnak a

további adatfeldolgozásokhoz. A hét nyersanyagból egy (földpát) ma is aktív termelő, három nyersanyagot korábban is termeltek (bauxit, gallium, fluorit), illetve ma is termelnek, de nem fém kinyerés céljára (dolomit, magnézium). Alig vannak ismert adatok a bór-, hélium- és foszfát-előfordulásainkról. Nem találtunk elegendő adatot arra, hogy ezeknek a felismert lelőhelyeknek a gazdasági értékét akár nagyságrendben is becsülhessük. További adatfeldolgozási és adatgyűjtési munkák szükségesek. Minden újabb lépést annak fényében kell tervezni, hogy a feldolgozott adatok születése (jórészt a 20. század közepe, vége) óta az igények, az információ feldolgozási módszerek a mi-



6. ábra. A tanulmányban említett előfordulások földrajzi helyzete

nősségi követelmények, a feldolgozási technológiák, illetve a külső és belső piacok egyaránt jelentős változásokon mentek át.

Az adatok forrása részben a MÁFI/MGSZ/SZTFH adattárában lévő jelentések, részben folyóiratokból származó és szakkönyvi közlések, részben (főleg a CriticEl program során végzett mintavételekből) csak részlegesen vagy nem közölt vizsgálati jegyzőkönyvek voltak. A munka messze áll még az összes adatforrás felderítésétől és feldolgozásától, csak az írás időpontjában rögzíthető pillanatnyi állapotot mutatja be.

Az áttekintésben szereplő kilenc nyersanyagfajta közül a bauxit, és a földpát esetében ismerünk korábbi ásványvagyonadatokat, a többi hét anyagfajtára nem.

Köszönetnyilvánítás

A pécsváradi földpátos homok-előfordulás adatait a Strabag Mineral KÖKA Kft. (Sütő Róbert, Szutor András) bocsátotta rendelkezésünkre. A cikksorozatban szereplő térképek összeállításáért dr. Mikita Viktóriát illeti köszönet.

Hivatkozások

- [1] https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/08/SCREEN2_factsheets_FELDSPAR-1.pdf
- [2] <https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2025>
- [3] https://hu.mineral.eu/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=39331627155EEC08C1258AC4003E9796
- [4] https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/02/SCREEN2_factsheets_MAGNESIUM_update.pdf
- [5] Zelenka T. (2011): Helyzetkép a hazai nemfemes ásványbányászati (ipari ásványok) nyersanyagokról. BKL Bányászat, 144(3), 20–24. https://epa.oszk.hu/04600/04602/00050/pdf/EPA04602_banyaszat_2011_03.pdf
- [6] https://hu.wikipedia.org/wiki/Igm%C3%A1ndi_keser%C5%B1v%C3%ADz
- [7] https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/08/SCREEN2_factsheets_HELIUM.pdf
- [8] Szelényi Tibor, Csajághy Gábor (1941): Magyar földgázok héliumtartalma. M. Kir. Földtani Intézet Évkönyve, 35(4), 65 p.
- [9] Sherwood B. L., O’Nions R. K., Ballentine C. J. (1993): Helium and neon isotope systematics in carbon-dioxid-rich and hydrocarbon-rich reservoirs. Geochimica et Cosmochimica Acta, 58(23), 5279–5290. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90311-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90311-5)
- [10] Palcsu L., Veto I., Futó I., Vodila G., Papp L., Major Z. (2014): In-reservoir mixing of mantle-derived CO₂ and metasedimentary CH₄-N₂ fluids. Noble gas and stable isotope study of two multistacked fields (Pannonian Basin System, W-Hungary). Marine and Petroleum Geology 54, 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.03.013>
- [11] Vető I. (2023): Hélium magyarországi földgázokban. Varga A. (szerk), In: 13. Közettan, Geokémiai Vándorgyűlés. Előadások és absztrakt.
- [12] https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/12/SCREEN2_factsheets_FLUORSPAR-update.pdf
- [13] Kun B. (1989): 25 éves az Országos Érc- és Ásványbányák. Magyar Elektronikus Könyvtár – MEK-09718. <https://vmek.oszk.hu/09700/09718/index.phtml>
- [14] Molnár J. (2013, szerk.): A Pátka-Szűzvár egykori fluorit- és ércelőfordulásunk újraértékelése. Milagrossa, Miskolc, 159 p.
- [15] Mindszenty A. (2020): A magyarországi bauxitok kutatásának rövid története (1903–2020). Földtani Közlöny, 150(4), 529. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2020.150.4.529>
- [16] <https://sztfh.hu/nyilvantartasok/asvanyvagyon-nyilvantartas/>
- [17] Balassa Cs., Pataky Cs., Tátrai Cs., Antal K., Gyenes I., Szakáll S. (2025): Critical Raw Materials Hungary Data Collection: Rare earth elements indications in Hungary [A Kritikus Nyersanyagok Maraton Adatgyűjteményéből: Ritkaföldfém-indikációk Magyarországon]. Bányászati és Kohászati Lapok 158(1), 26–36. <https://doi.org/10.63457/BKL.158.2025.1.3>
- [18] Szantner F., Knauer J., Mindszenty A. (1986): Bauxit-prognózis. MTA VAB, Veszprém, 472 p.
- [19] https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/12/SCREEN2_factsheets_GALLIUM.pdf
- [20] Böjtösné Varrók K. (1966): Wolfrám a Velencei-hegységben. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1964, pp. 293–300.
- [21] Földváriné Vogl M. (1970): Összefoglaló értékelő jelentés a területi ritkaelemkutatás tájékoztató jellegű kutatási fázisának eredményeiről. M. Áll. Földtani Intézet, Budapest, pp. 5–95.
- [22] Németh N., Hajdú I., Hartai É. (2013): Gallium. In: Less Gy. (szerk), Stratégiai fontosságú ásványi nyersanyagok I. Milagrossa, Miskolc. 209 p.
- [23] https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/01/SCREEN2_factsheets_PHOSPHATE-update2.pdf
- [24] Kiss J., Virágh K. (1959): Urántartalmú foszfátos kőzet a balatonfelvidéki (Pécsely) triász összletben. Földtani Közlöny 89, 85–97. https://epa.oszk.hu/01600/01635/00148/pdf/EPA01635_foldtani_kozlony_1959_1_085-097.pdf
- [25] Hargitainé Molnár Zs. (2019): Nyersanyagok és indikációik geológiai és ásványtani vizsgálata, különös tekintettel az Észak-Dunántúlon észlelt urán és ritkaföldfém nyomokra. Doktori értekezés. ELTE Budapest.
- [26] https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/12/SCREEN2_factsheets_BORON-update.pdf
- [27] <https://www.vg.hu/nemzetkozi-gazdasag/2025/11/szerbia-litium-banya-felfuggesztes-rio-tinto>
- [28] Gmeling K. (2010): A Kárpát-Pannon térség miocén-kvarter mészkáli vulkáni kőzeteinek bór geokémiai összetétele és kapcsolata a szubdukciós folyamatokkal: prompt-gamma aktivációs analitikai vizsgálatok. PhD-értekezés, ELTE. <https://m2.mmt.hu/gui2/?mode=browse¶ms=publication;1459663>
- [29] <http://geomania.hu/asvany.php?asvid=275>
- [30] Szakáll S., Fehér B., Kristály F., Kasztovszky Zs., Maróti B. (2018): Vonsenite from Nagylóc-Zsunypusztá, Cserhát-Mts., Hungary. In: Joint 5th Central-European Mineralogical Conference, abstract volume, 121.
- [31] <https://brineris.pwr.edu.pl/>