

Persze a magyar kutatók között is afféle különbségek figyelhetők meg, mint abban a példázatban, melyet a posztmodern episztémé tanmeséjének is tekinthetünk. A példázatban három vonalbíró (baseballbíró) beszélget. A legfiatalabb így ígér szakértelmet: „Én azt jelzem, hogyan van” (*I call them the way they are*). A második így szól: „Én mindig azt

jelzem, amit látok” (*I always call them the way I see them*). Mire a harmadik, az öreg, a tapasztalt bíró így válaszol: „Addig az nincs is, amíg én nem jelzem” (*They aren't, until I call them*).

Kulcsszavak: *amerikanisztika, új amerikanisztika, paradigmaváltás, modern episztémé, posztmodern episztémé*

#### IRODALOM

- Bercovitch, Sacvan (1986): *America as Canon and Context: Literary History in a Time of Dissensus. American Literature*. 58, 1, 99–108.
- Bertens, Hans (1986): *The Postmodern Weltanschauung and its Relation to Modernism: An Introductory Survey*. In: Natoli, Joseph – Hutcheon, Linda (eds.) (1993): *A Postmodern Reader*. State University of New York Press, New York, 25–70. <http://books.google.hu>
- Defert, Daniel – Ewald, F. – Lagrange, J. (1994): *Biographical Notes*. In: Foucault, Michel (éd. établie sous la dir de Daniel Defert et François Heward avec la collab. de Jacques Lagrange): *Dits et écrits, 1954–1988*. Gallimard, Paris
- Deleuze, Gilles (1986): *Foucault*. Les Éditions de Minuit, Paris. (Angol ford. Hand, Seán. University of Minnesota Press, Minneapolis) <http://books.google.hu>
- Foucault, Michel (2001): *A tudás archeológiája*. (Ford. Perczel István) Atlantisz, Budapest
- Jay, Gregory S. (1997): *American Literature and the Culture Wars*. Cornell University Press, Ithaca <http://books.google.hu>
- Kerber, Linda K. – Kessler-Harris, A. – Kish Sklar, K. (eds.) (1995): *U. S. History as Women's History. New Feminist Essays*. University of North Carolina Press, Chapel Hill <http://books.google.hu>
- Lyotard, Jean-François (1984): *The Postmodern Condition: A Report on Knowledge*. University of Minne-

- sota Press, Minneapolis <http://www.marxists.org/reference/subject/philosophy/works/lyotard.htm> (az első öt fejezet)
- Megill, Allan (1985): *Prophets of Extremity: Nietzsche, Heidegger, Foucault, Derrida*. University of California Press, Berkeley <http://books.google.hu>
- Pease, Donald (1990): *New Americanists: Revisionist Inventions into the Canon*. *boundary 2*. 17, 1–37.
- Pells, Richard (1998): *Not Like Us. How Europeans Have Loved, Hated, and Transformed American Culture Since World War II*. Harper Collins Publishers, New York <http://books.google.hu>
- Potter, David (1973): *American Women and the American Character*. In: Fehrenbacher, Don E. (ed.): *History and American Society: Essays of David M. Potter*. New York, 277–303.
- Radway, Janice (1999): *What's in a Name? Presidential Address to the American Studies Association, 20 November 1998*. *American Quarterly*. 51, 1, 1–32.
- Rorty, Richard (1991): *Solidarity or Objectivity? In: Cahoone, Lawrence (ed.) (1996): From Modernism to Postmodernism. An Anthology*. Blackwell, Oxford, 573–88. <http://books.google.hu>
- Wise, Gene (1979): *“Paradigm Dramas” in American Studies: A Cultural and Institutional History of the Movement*. In: Maddox, Lucy (ed.) (1999): *Locating American Studies. The Evolution of a Discipline*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 166–210. <http://books.google.hu>

## A VILÁG ATOMERŐMŰVEINEK URÁNÉRC-ELLÁTOTTSÁGA

Bárdossy György

az MTA rendes tagja  
bar4750@iif.hu

#### Bevezetés

A világ működő atomerőműveinek uránérc-ellátottságáról a hazai és a nemzetközi sajtóban, rádióban, tévében rendkívül ellentmondó híradások jelennek meg. Többek szerint Földünk uránérckészletei néhány évtized alatt kimerülnek, tehát nem érdemes az atomenergiaival mint távlati energiaforrással számolni. Mások hosszú távra elegendő uránérckészleteket valószínűsítene. A következőkben mint geológus szeretnék e kérdéssel szakmailag megalapozott áttekintést adni, és egyben az elkerülhetetlen bizonytalanságokat is bemutatni. Az urán mellett a tórium is alkalmas atomenergetikai felhasználásra, de gazdaságilag kedvezőbb az uránérc használata. Ezért a tóriumércokről csak röviden szólok.

Az urán a földkéregben igen elterjedt elem. Átlagos koncentrációját a geokémikusok 3–4 ppm-re becsülik. Az urán a természetben elemi formában nem ismeretes, eddig mintegy 150 ásványát mutatták ki oxidok, foszfátok és vanadátok formájában. Leggyakoribb ásványai az *uraninit*, („szurokérc”), *brannerit*, *autunit*, *carnotit*, *torbernit* és *tyuyamunit*.

#### Az uránérc előfordulásai

Az uránérc-előfordulások az üledékes közetekben a leggyakoribbak: homokkővekben,

konglomerátumokban, breccsákban, szenes agyagban, fekete agyagpalákban, lignitben és foszforitokban. Magmás kőzetekben is előfordulnak, főként gránitban és annak kontaktzónájában. Ritkábban hidrotermális telérekben is feldúsul az urán. Vulkáni és átalakult (metamorf) kőzetekben ritkák az uránérc feldúsulásai. Rendkívül fontos, különleges típusú jelentenek a prekambriumi diszkordancia (lepusztulási) felületekhez kötött kanadai előfordulások, például Cigar Lake. További különleges típusú jelentenek a „roll” elnevezésű előfordulások, amelyeknél az urán homokkőben csapódott ki oxidatív és redukzív zóna határán. Főleg az Egyesült Államokban (Colorado, Wyoming, Texas) található.

Figyelemreméltó, hogy a legnagyobb uránérc-előfordulások a földtörténeti őskorból (prekambrium) származnak, 600 millió évnél idősebbek, például Ausztrália, Saskatchewan tartomány Kanadában, Dél-Afrika stb. A perm és jura időszakban, valamint a harmadkorban is jelentős előfordulások jöttek létre. Az urán oxidatív környezetben jól oldódik a talajvízben, és akkor csapódik ki, ha redukzív környezetbe kerül. A vízben oldott urán egy része a folyóvizekkel a tengerbe kerül. Átlagos koncentrációja a világóceánokban 3,3 ppb, ami kb. 5 milliárd tonna uránnak felel meg. A legtöbb uránérc-előfor-

dulás jellegzetessége, hogy környezetétől nem határolódik el élesen, hanem koncentrációja környezete felől fokozatosan növekszik. Ez a körülmény alapvetően befolyásolja az uránérckészletek meghatározását és bányászatát.

#### Az uránérckészletek osztályozása

A nemzetközi szakirodalomban az uránérckészleteket gazdaságosságuk szerint három kategóriába sorolják:

- termelési költségük < 40 dollár/kg U
- termelési költségük 40–80 dollár/kg U
- termelési költségük 80–130 dollár/kg U

A termelési költség magában foglalja a bányászati kitermelés, dúsítás, szállítás, valamint a kötelező természetvédelem és rekultiváció költségeit. Természetes, hogy minél nagyobb az urán koncentrációja egy előfordulásban, annál kisebbek a fajlagos költségek. E tekintetben az alábbi nemzetközileg elfogadott osztályozás van érvényben:

- Igen jó minőségű érc 20% átlagos U-tartalom felett
- Jó minőségű érc 2% átlagos U-tartalom felett
- Gyenge minőségű érc 0,1% átlagos U-tartalom felett
- Igen gyenge minőségű érc 0,01% (azaz 100 ppm) átlagos U-tartalom felett

Ennél kisebb urántartalom mellett a képződés nem tekinthető uránércnek. Említést érdemel, hogy a gránitok átlagosan 4–5 ppm uránt tartalmaznak. Az előfordulások gazdaságos kitermelhetőségét az érc minőségén felül a telep mérete, felszín alatti mélysége és földrajzi helyzete is befolyásolja.

A kutatás és készletszámítás során a készleteket megbízhatóságuk szerint is osztályozzák az alábbiak szerint:

1. *Ismert (kimutatott) készletek*, amelyeket fúrásokkal kimutattak

2. *Igazolt (reasonably assured resources – RAR) készletek*. Bizonytalanságuk < 30%

3. *Valószínű (probable, inferred resources) készletek*. Bizonytalanságuk ±30–80%

4. *Feltételezett készletek*, fúrásos kutatás nélkül, földtani térképezés és geofizikai mérések alapján

4.1 *Reménybeli (prognostic resources) készletek*. Helyi földtani információk alapján

2.2 *Hipotetikus készletek*. Nagy léptékű, általános földtani ismeretek alapján.

Mindez a föld mélyén jelen levő uránérc-re vonatkozik. Ebből atomenergetikai felhasználásra csak a bányászatiilag kitermelhető rész kerül (recoverable reserves).

Gyakori és rendkívül káros hibaforrás a fenti kategóriák összekeverése, különösen az, ha az ismert és a feltételezett készleteket összegezve „készletekről” szólnak, mintha mindezek kimutatottak lennének.

#### Az uránérckutatás alakulása

A rendszeres uránérckutatás a második világháború éveiben kezdődött az atombomba kifejlesztéséhez kapcsolódva. Ez a főként katonai célú kutatás az Egyesült Államokban és a Szovjetunióban 1958-ig tartott, majd fokozatosan lecsökkent. Egy második kutatási hullám az egész világra kiterjedően 1974-től 1985-ig tartott. Ezután újból lecsökkent a kutatás üteme, és csak 2003 után erősödött fel újra az urán világpiaci árának növekedésével. Ez a pozitív tendencia máig is tart. A kutatások költsége is növekedett. A World Nuclear Association 2010. augusztusi tájékoztatója szerint 2008-ban 1641 millió dollár volt, ami fajlagosan az urán értékesítési árának csupán kb. 2%-át tette ki. Ezzel együtt a kutatások eredményessége is megnőtt geofizikai és fúrásos módszerek együttes alkalmazásával. Különösen fontosnak tartom a föld-

tani kutatási ismeretek bővülést, az uránérc-előfordulások földtani ismérveinek egyre sokoldalúbb megismerését. Ez különösen a reménybeli és a hipotetikus készletek kutatásának eredményességét növelheti meg.

#### A készletek áttekintése

A kimutatott uránérckészletek alakulása a mindenkori világpiaci ár függvénye: minél magasabb volt a világpiaci ár, annál több uránércet lehetett a fent ismertetett készletek kategóriákba besorolni. A világon uránércben eddig kimutatott legnagyobb uránkoncentrációt a kanadai Saskatchewan tartományban levő McArthur River előforduláson észlelték 24%  $U_3O_8$  tartalommal. Az ugyancsak kanadai Cigar Lake előforduláson 21% az  $U_3O_8$  koncentráció. Ugyanakkor az előfordulások többségében 1%-nál kisebb az urántartalom.

A világon jelenleg 43 országban tartanak nyilván fúrásokkal igazolt, „ismert” uránkészleteket. A legnagyobb ismert (kimutatott) készletek országos bontásban a következők (OECD/NEA 2009-es jelentés szerint):

Ország	tonna U	részeseledés
Ausztrália	1 673 000	31%
Kazahsztán	851 000	12%
Kanada	485 000	9%
Oroszország	480 000	9%
Dél-Afrika	295 000	6%
Namíbia	254 000	5%
Brazília	279 000	5%
Niger	272 000	5%
USA	207 000	4%
Kína	171 000	3%
Jordánia	112 000	2%
Üzbegisztán	111 000	2%
Ukrajna	105 000	2%
India	80 000	1,5%
Mongólia	49 000	1%
többi ország össz.	50 000	3%

A világ teljes ismert készlete ezek szerint 5 564 000 tonna 130 dollár/kg U-t meg nem haladó termelési költség szinten. Francia kutatók számításai szerint (2010) ebből 4,4 millió tonna 80 dollár/kg U-nál kisebb költségen kitermelhető, 3,0 millió tonnát pedig 40 dollár/kg U-nál kisebb költségen lehet kitermelni. Az OECD/NEA (2008) jelentés szerint ezen felül még kb. tízmillió tonna reménybeli készlettel lehet számolni. Bár ez a becslés igen bizonytalan, véleményem szerint földtani analógiák alapján még jelentős uránérckészletek kimutatására van remény.

Magyarországon Pécsről nyugatra a felső perm korú Kővágószőlősi Homokkő Formációban találtak uránércet, amit 1955 óta mélyműveléssel bányásztak. Az érc kis uránkoncentrációja és az egyre nagyobb mélység (500–1000 méter) miatt a kitermelés egyre gazdaságtalanabbá vált, és a kormányzat 1997-ben a bányát bezáratta. Összesen 16,4 millió tonna uránércet termeltek ki átlagosan 0,116% urántartalommal. A Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (MBFH) a bezárt bánya területén még 31 000 tonna uránt tart nyilván az ércben átlagosan 0,17% urántartalommal. 2006-ban az ausztráliai Wildhorse cég több területre kutatási koncessziót szerzett és kutatásokat indított. A Mórággy-hegység déli előterében folyt kutatásokról Barabás András, Balogh Zoltán és Malik Jenő számolt be (2008). Az újabb eredményekről Barabás András és Konrád Gyula készített részletes értékelést az interneten (Barabás – Konrád, 2009).

További, ma még nem gazdaságos, „nem konvencionális” uránérckészletek vannak az üledékes foszforit telepeken, elsősorban Floridában és Marokkóban. Ma még elég bizonytalan becslések szerint a foszforit telepek 22 millió tonnát is elérő uránt tartalmaznak. Egy

további potenciális, nem konvencionális uránforrás a kőszenek hamuja. Kínában a becslések szerint a fekete kőszenek hamuja átlagosan 210 ppm uránt tartalmaz, de egyes helyeken az 1000 ppm-et is eléri.

#### Az uránérc bányászata

A világon eddig összesen 2,4 millió tonna uránt termeltek ki. A kitermelt urán mennyisége 1965 óta évről évre növekszik. 2009-ben a világ uránérctermelésének 57%-a hagyományos külfejtéssel és mélyműveléssel történt, 36%-át ún. kioldásos módszerrel (in-situ leaching) nyerték ki, 7%-a pedig más nyersanyag kitermelésének ún. bányászati mellékterméke volt. Figyelemreméltó, hogy a kioldásos módszer nagyobb gazdaságossága miatt évről évre nagyobb arányt ér el. 2009-ben a világ urántermelő országai a következők voltak:

Ország	tonna U	részesedés
Kazahsztán	14 020	27%
Kanada	10 173	20%
Ausztrália	7982	16%
Namíbia	4626	9%
Oroszország	3564	7%
Niger	3243	6%
Üzbegisztán	2429	5%
USA	1453	3%
Ukrajna	840	2%
Kína	750	1%
Dél-Afrika	563	
Brazília	345	
India	290	
Cseh Köztársaság	258	
Malawi	104	
Románia	75	
Pakisztán	50	
Franciaország	8	

Az utolsónak felsorolt nyolc ország termelésének együttes aránya 3%. A világtermelés összesen 50 772 tonna volt. Figyelemre-

méltó, hogy a legnagyobb ismert készlettel rendelkező Ausztrália csak a 3. helyet foglalja el. Az is figyelmet érdemel, hogy a világtermelés 59%-a tíz bányüzemre korlátozódott. Közülük az öt legnagyobb a következő:

McArthur River (Kanada)	mélyművelés • 7339 tonna U
Ranger (Ausztrália)	külfejtés • 4444 t
Rossing (Namíbia)	külfejtés • 3620 t
Krasznokamenszk (Oroszország)	mélyművelés • 3004 t
Olympic Dam (Ausztrália)	mélyművelés • 2955 t

Ezek a bányüzemek főként prekambriumi homokkővekből, breccsákból és konglomerátumokból termelik az uránt.

#### A felhasználás és az ellátottság mértéke

A fentiekben ismertetett természetes „földtani” készleteken túl a kiegészítő fűtőelemek reprocessálása is megnöveli az atomerőművek ellátottságát. Új reaktortechnológiák, például ún. gyorsreaktorok kifejlesztése, a fűtőelemek teljesebb felhasználását teszi lehetővé. Minderről Vajda György munkái (Vajda, 2001, 2004) adnak részletes tájékoztatást. Az ellátottság egy további fontos forrását jelentik világszerte a nukleáris fegyverek felhasználására már nem alkalmas készletei. E fegyverek 90% fölé dúsított uránt és egyes esetekben plutóniumot tartalmaznak. A katonai eredetű és az atomerőművek kiegészítő üzemanyagából származó plutóniumból és uránból kevert oxidalapú (mixed oxide – MOX) fűtőelemek gyárthatók, melyeket már számos ország atomerőműveiben fel tudnak használni.

2009-ben a világ atomerőművei összesen kb. 68 000 tonna uránt használtak fel a World Nuclear Association 2010. évi felmérése sze-

rint. Ez a 2009. évi termelésnél 17 000 tonnával több. A különbséget világszerte a meglévő, főként katonai készletekből pótolták.

A jelenlegi felhasználási szint fenntartása esetén az összes ismert (kimutatott) készlet 81,8 évig lesz elegendő. Amennyiben a kutatások során a feltételezett tízmillió tonna reménybeli készlet is realizálódik, úgy az ellátottság 229 évre növekszik. Ugyanakkor a szakmai szervezetek egybehangzó véleménye szerint a jövőben egyre növekvő uránigénnyel, illetve atomerőművi felhasználással kell számolni. Ennek mértékéről igen eltérő becslések láttak napvilágot, ezért értékelését ma még túlságosan bizonytalannak tartom.

#### Tóriumérc

Tóriumot (Th) ma egyetlen atomerőműben sem használnak fűtőelemként gazdasági okok miatt, a távolabbi jövőben mégis az uránérc tartalék nyersanyaga lehet. A tóriumérc kutatása eddig az uránércnél jóval korlátozottabb volt.

A US Geological Survey és az OECD Atomic Energy Agency felmérései szerint a kimutatott készlet kb. 2,2 millió tonna Th. Brazíliában, Törökországban és Indiában vannak a legnagyobb készletek. Ezen felül szakértői becslések 15–20 millió tonna reménybeli Th-készlet meglétét tetelezik fel.

#### Összefoglalás

A fenti adatok alapján az uránérckészletek korai kimerülése nem igazolható feltételezés. Sőt a korábbiakban ismertetett nem konvencionális készletek és a tórium alkalmazása esetén az atomenergetika felhasználásának fejlesztése hosszú távon biztosítottak látszik. Ezért a Gadó János, Aszódi Attila és Holló Előd által kifejtett magyarországi fejlesztési elképzeléseket (2010) földtudományi szempontból reálisnak és indokoltaknak látom.

Kulcsszavak: *uránérckészletek, uránércbányászat, uránérc-ellátottság, tóriumérc*

#### IRODALOM

- Barabás András – Balogh Z. – Mazik J. (2008): Uránérc telepek kutatása a Mórággy-hegység délkeleti előterében. *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat*. 141, 6, 2–9.
- Barabás András – Konrád Gyula (2009): *A mecseki uránérc és kőszén teleptana, kitermelésük feltételei és lehetőségei*. Wildhorse Energy – PTE • [http://foldrajz.ttk.pte.hu/foldtan/segedanyag/mecseki\\_banyaszat.pdf](http://foldrajz.ttk.pte.hu/foldtan/segedanyag/mecseki_banyaszat.pdf)
- Gadó János – Aszódi A. – Holló Előd (2010): *A magyar nukleáris kutatás-fejlesztési program jövőképe*. Kézirat, Budapest
- Vajda György (2001): *Energiapolitika. Stratégiai Kutatások a Magyar Tudományos Akadémián*. MTA, Bp.

- Vajda György (2004): *Energiaellátás ma és holnap. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián*. MTA, Budapest
- OECD, NEA and IAEA Publications (2009): *Uranium 2008 Resources, Production and Demand. (Red Book)*. Nuclear Energy Agency
- L'uranium. *Géochronique. Magazine de Géosciences* (Paris). (2010) 113, 13–55.
- Wikipedia (2011) *Uranium ore deposits* • [http://en.wikipedia.org/wiki/Uranium\\_ore\\_deposits](http://en.wikipedia.org/wiki/Uranium_ore_deposits)
- Wikipedia (2011): *Thorium* • <http://en.wikipedia.org/wiki/Thorium>
- World Nuclear Association (2010): *Supply of Uranium*. <http://www.world-nuclear.org/info/>