

**Neumann János Egyetem
Gazdaságföldrajzi és Településmarketing
Központ**

**Tózsza István
Fémek a gazdaságtörténetben
és a geopolitikában**



**Magyar Gazdaságföldrajzi és
Településmarketing Műhely
Kiadványsorozat 16.
2025**

Fémek a gazdaságtörténetben és a geopolitikában

Szerkesztette
Tózsá István

**Neumann János Egyetem
Kecskemét
2025**

Sorozatszerkesztő:
Tózsza István

Szerkesztő:
Tózsza István

Technikai szerkesztő:
Catherine R. Feuerverger

Szerzők:

**Bartha Erik
Becsei Jewelry
Csizmadia Norbert
Forman Balázs György
Gere László
Herczeg János
Kardos Ádám
Korompai Attila
Matus Tibor
Schuchmann Júlia
Topercer Péter
Tózsza István
Trautmann László
Vekerdi László**

Lektorok:

Korompai Attila
Tózsza István

ISBN: 978-615-6435-97-2

ISSN: 2939-516X

Kiadó:

Neumann János Egyetem
Gazdaságföldrajzi és Településmarketing Központ
Felelős kiadó: Fülöp Tamás Ferenc rektor

**Kecskemét
2025**

Tartalom

Előszó a fémekhez (Tózsza István)	6
A fémek forradalmi szerepe (Trautmann László)	10

Stratégiai fontosságú nyersanyagok és az arany geopolitikája

A Föld stratégiai fontosságú nyersanyagai (Gere László)	13
Nemesfémek – érdekes jellemzők, tényezők röviden (Becsei Jewelry)	29
Az arany ugyanúgy fénylik, mint hétezer éve (Csizmadia Norbert)	31
Az arany oda megy, ahol a pénz van – erősödnek a keleti országok (Matus Tibor)	41

A fém őskor

Rézkor (Trautmann László)	49
Bronzkor (Trautmann László)	53
Vasérclelőhelyek és vaskohászati központok a vaskorszakban (Topercer Péter)	56

A fém „középkor”

Az új vaskor: a vas és az acél kora (Kovács Antal Ferenc)	62
---	----

A fém „újkor”

Az alumínium, mint a könnyűfém korszak meghatározó eleme (Korompai Attila, Bartha Erik, Schuchmann Júlia)	68
Az elektronika korszaka – az új rézkor (Korompai Attila)	79
Az atomkorszak – az urán és a plutónium kora (Kardos Ádám)	84
Az atomerőművek környezeti kockázata (Tózsza István)	102

A fém jövő

A „chipkorszak” az alkáli és ritkaföldfémek kora (Forman Balázs György)	117
Az űrkorszak fémfelhasználása (Trautmann László)	131

A fémek geopolitikája

A fémek geostratégiai helyzete a reneszánsz és az I. ipari forradalom óta eltelt 500 éves történelmi ciklusban (Korompai Attila, Kovács Antal Ferenc, Tózsza István)	136
---	-----

Irodalmi és kultúrtörténeti kitekintés

A fémek titkai (Vekerdi László, Herczeg János)	143
--	-----

Előszó a fémekhez

Az emberiség őskora, a kőkorszak fa-, csont- és kőeszközök több tízezer éves használata után a fémek használata volt az, ami az embert az állatvilág fölé tudta emelni és a Föld urává tudta tenni. A régészeti leletek szerint az első rézeszközök időszámítás előtt 5 - 7 ezer évvel, azaz immár több mint hétezer évvel ezelőtt jelentek meg. Az emberek megtanulták, hogyan készítsenek szerszámokat, díszeket és kezdetleges fegyvereket ebből a meglehetősen puha fémből. Ennek során megtanulták az olvasztást, hogy az ércekből rezet nyerjenek. Amikor a rezet a tűzön megolvasztották, megtanulták, hogyan ötvözzék az ónnal, és hogyan készítsenek olyan ötvözetet, amelyet bronznak neveztek, és amely sokkal keményebb és erősebb, mint a réz. Az emberi történelemnek ez az időszámítás előtt 3300 utáni időszaka a bronzkor, vagyis a bronzeszközök és -fegyverek ideje. Krisztus előtt 1200 évvel néhány ember a Közel-Keleten megtanult vasszerszámokat és fegyvereket készíteni. Ezek sokkal keményebbek és erősebbek voltak, mint a bronz, és ez előnyt jelentett a harcokban. A vasszerszámok és -fegyverek kora a vaskor.

Az európai kultúra egyik lényeges oszlopa a görög mitológia. Ez tükrözi a vaskor megjelenését is. A görög mitológia főistene, Zeusz (Jupiter), fiatal isten. A mitológia szerint, előtte mások is „kormányozták” a világot. Elsősorban maga a Földanya, Gaia istennő, aki a kavargó ősanyagból, a Káoszából merült fel. Őt követte Uranosz, az Égbolt. A Föld és az Ég, Gaia és Uranosz egyesüléséből született Kronosz (latinul Szaturnusz, az Idő titánja), aki apját letaszítva az égről, szintén a világot kormányozta. Az Időt és a titánok uralmát a halhatatlanok nevében a legfiatalabb isten, Zeusz győzte le, akit anyja titokban szült meg, nehogy az Idő őt is „felfalja” mint előzőleg már 5 testvérét. Zeusz Kréta szigetén nevelkedett titokban, de valójában Árkádiában, a Lyakón-hegy barlangjában szülte meg Rhea titanisz, a Tölgyfa istennője. Zeusszal született meg az európai vaskor. Ennek kulturális „bizonyítéka” az, hogy amikor Rhea titokban megszülte Zeuszt – bátyjai, Hádész és Poszeidón után a „legkisebb királyfit” – hogy Kronosz előtt eltitkolhassa az újszülöttet, csendben kellett maradnia. Ráharapott tehát egy tölgyfa ágra, és fájdalmában ujjait belevájta a barlang agyagos talajába. Mivel Rhea hatalmas istennő volt, az öt ujjá nyomán kiforduló agyagdarabokból azonnal kis istenségek születtek: a Daktyloszok (az Ujjak). Ők a Vas, az Acél, az Üllő, a Kalapács és a Kés szellemei. Az ő jegyükben született meg a vaskor, és Zeusz hatalma, aki megölte az Időt, és uralma alatt az emberiség elindulhatott a technikai fejlődés és – sajnos – a háborúk útján.

A fémek tehát fontos szerepet játszottak az emberiség történelmében és a civilizációk kialakulásában. A réz után a vas és az acél vált a legfontosabbá a gépek készítésében. Az aranyat és az ezüstöt pénzként is használták, hogy az emberek kereskedhessenek, azaz nagy távolságokon keresztül cserélhessenek árukat és szolgáltatásokat.

A kémiai elemek legnagyobb része tartozik a fémek csoportjához. Az ún. transzurán elemekkel¹ együtt 88 elem tartozik ide. A fémek zöme a környezeti hatások következtében átalakul és valamilyen fémvegyületté alakul. A kevés, elemi állapotban előforduló fém: az arany (Au), az ezüst (Ag), a réz (Cu) és a higany (Hg). A fémvegyületek a kőzetekben, ill. ásványokban találhatók, ezért azokat a kőzeteket, ásványokat, amelyekből egy-egy fém gazdaságosan kinyerhető,

¹ Az urán 92-es rendszámánál nagyobb rendszámú elemek, melyek a természetben – ércekben – említésre méltó mennyiségben sehol sem találhatók; csak mesterségesen állíthatók elő, és radioaktív sugárzást bocsátanak ki magukból.

egy-egy fém ércének nevezik. A fémércek a fémeket általában oxidok, szulfidok, halogenidek és karbonátok formájában tartalmazzák.

Aszerint, hogy mivel ötvözik a fémeket, megkülönböztethetők színes-, nemes-, illetve fekete-fémek. A színesfémek csoportjába tartoznak a réz, és annak az ötvözőanyagai; leggyakrabban az ezüst, a cink, az ólom, a kadmium és a berillium (Ag, Zn, Pb, Cd, Be). Feketefémek a vas (Fe) és annak az ötvözőanyagai; leggyakrabban a mangán, vanádium, kobalt, króm és a nikkell (Mn, V, Co, Cr, Ni). Fehérfémek az ólom (Pb) és annak az ötvözőanyagai, mint az ón, antimon és a bizmut (Sn, Sb, Bi). A nemesfémek két csoportját egyrészt az arany és az ezüst jelenti (ötvözetük az elektrum); a másikat pedig az ún. platinacsoport; úgy, mint maga a platina, az ozmium, irídium, palládium, ródium és a ruténium (Pt, Os, Ir, Pd, Rh, Ru). A ritkaföldfémek (a lantanoidák) népes csoportját a periódusos rendszer 57–70. rendszámú tagjai jelentik (La, Ce, Pr, Nd, Mp, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb); hozzájuk számítják geokémiai értelemben még a rendszer 39. rendszámú elemét, az ittriumot (Y) is.

Sűrűségük alapján megkülönböztethetők az ún. könnyű-, és nehézfémek. Általában az 5 g/cm^3 -nél kisebb sűrűségűek a könnyűfémek, az ennél nagyobb sűrűségűek pedig a nehézfémek. Leggyakoribb könnyűfém az alumínium (Al), de egyes források ide számítják az alumínium ötvözőfémjeit, így pl. a titánt (Ti). Általában a vasnál nagyobb rendszámú (tehát 26 feletti) elemeket tekintik nehézfémeknek.

A régészet szerint az emberiség több, mint tízezer éve használ fémből készült eszközöket. A kezdetben ékszerként majd később pénzként használt arany és az ezüst mellett a réz, és annak ötvöze, a bronz volt az, amelyek „korszakalkotók” voltak az emberiség őstörténetében. Az emberiség ókori történelmétől kezdve a háborúkban és a gazdaságban kiemelkedő, és évszázadokon át meghatározó szerepe volt a vasnak. Használatba vétele alapvetően változtatta meg az emberiség életét.

Homérosz Iliászából ismerjük az emberiség első világháborújának, a tíz évig tartó trójai háború kulcsfontosságú eseményét; Akhilleusz haragját. Tudjuk, hogy Akhilleuszt édesanyja, az isteni származású hableány, Thetisz, születése után levitte az Alvilágba, és belemártotta a Styx (a Gyűlölet) folyó jéghideg, mozdulatlan, halandók számára mérgező vizébe. Ezzel vált teste sebezhetetlenné, a sarkát kivéve, ahol anyja fogta. Akhilleusz sarka – az európai kultúrában valaminek az egyetlen sebezhető, gyenge pontja. A sarkát kivéve tehát, tegyük fel a kérdést: valóban sebezhetetlen volt a legyőzhetetlen Akhilleusz?

Amikor barátja, Patroklosz, Akhilleusz fegyvereit, páncélzatát viselve nekiment a trójaiak seregére, amely már a görög hajókat veszélyeztette, Hektór, a trójai vezér legyőzte a harcban egyébként nem jeleskedő Patrokloszt, óriási harc bontakozott ki – nem is annyira Patroklosz holttestéért, hanem Akhilleusz csodálatos fegyvereiért. Menelaosz, a spártai király, már csak Patroklosz meztelen holttestét tudta kimenteni az öldöklő küzdelemből, ezt a pillanatot ábrázolja egy, az időszámítás előtti IV. században készült görög szobor római másolata, amely Firenzében, a Loggia dei Lanzi mellett áll.

Akhilleusz vagyont érő fegyverei tehát Hektór és a trójaiak kezébe kerültek. Akhilleusz isteni anyját kérte, hogy szerezzen neki új fegyvereket. Thetisz elment a kovácsistenhez, Héphaisztoszhoz, aki egyetlen éjszaka alatt csodálatos, remekmű fegyvereket és páncélzatot gyártott Akhilleusznak. Homérosz részletesen leírja, hogy mi mindent – egy egész hőskölteményre való történetet – kovácsolt az isten Akhilleusz új pajzsára.



Menelaosz kimenekíti a harcból Patroklosz holttestét

Ez az isteni kovácsműhelyben készült új fegyverzet is csodaerővel bírt, oly' annyira, hogy amikor később Akhilleusz elesett, a görög vezérek versengtek a fegyverekért. Annyira sokra becsülték, hogy a görögök közötti legnagyobb erejű, legkiválóbb vezér – Aiasz (Ajax) – egyenesen öngyilkosságot követett el, amikor nem ő, hanem Odüsszeusz nyerte el Akhilleusz fegyverzetét.

A fenti mitológiai kitérőből arra lehet következtetni, hogy amikor időszámítás előtt 1300 körül – immár több, mint 3 évezreddel ezelőtt – kitört az első világháború, mind az akháj görögök, mind a trójai hadsereg bronzfegyverekkel voltak felszerelve. Nyilvánvaló, hogy a bronzkorban, a legyőzhetetlenség és sebezhetetlenség látszatát keltő, és a bronzpáncélokat átütő, a bronzfegyvereknek ellenálló vas fegyverzet csodatévő erővel kellett, hogy bírjon. Az európai vaskor a régészeti adatok szerint időszámítás előtt 800 körül kezdett elterjedni. A trójai háború máig élő mítoszáét, az Iliász főszereplőjének, Akhilleusznek a legendás alakját – ha valóban élt ilyen hős – véleményem szerint a vasnak; a vaskor előfutárjának köszönhetjük.

Mai világunk összeomlana az elektromosság nélkül, amelyben meghatározó szerepe van a réznek, pontosabban annak ötvözetének, a sárgaréznek. Maga az áramfejlesztés, az elektromosság továbbítása és elosztása elképzelhetetlen sárgaréz nélkül. E nélkül a kommunikáció is megszűnne, a szárazföldi, tengeri és légi szállítás megbénulna. A réz – amellet, hogy a kőkorszaki technológiához képest sokkal fejlettebb eszközkészítésben a történelem előtti időkben – elindította a technológia fejlődését, az újkorban is megismételte ezt. Az iparban felhasznált fémek közül, a súlyához viszonyítva a réznek van a legjobb elektromos- és hővezető képessége. Erre a célra fordítják a teljes rézfelhasználás kb. 70 százalékát. Szilárdsága, könnyű formálhatósága és korrózióállósága az épületvillamosság, sőt a vízellátás legfontosabb alapanyagává teszi. Hétköznapi példa: egy családi autóban az elektromos árammal működtetett kiegészítőknek köszönhetően a rézhuzalok hossza manapság körülbelül 1 kilométer, míg ötven évvel ezelőtt – az 1970-es években – átlagosan csak 45 métert tett ki (*Forrás: Wikipédia*).

Az Európai Bizottság tervei szerint a városi közlekedésben a „hagyományos tüzelőanyaggal működő” gépjárművek használatát 2030-ig felére kell csökkenteni. 2050-re pedig teljesen ki kell küszöbölni ahhoz, hogy a hosszú távú energia- és klímacélokat elérjük. A réz az egyik kulcsfontosságú anyag, amely ezt az átmenetet lehetővé teszi. Egy akkumulátoros jármű

ugyanis átlagosan háromszor több rézet tartalmaz, mint egy hagyományos. A réz fele az akkumulátor energiatároló rendszerében jelenik meg. Nagy mennyiségű rézre van szükség a megújuló energiatermelésben, az átviteli és elosztó hálózatokban és az elektromos autók töltőhálózat-infrastruktúrájának kialakításához is. Szinte filozófiai munkát igényelne annak kimutatása, hogy az emberiség technológiai történelmében vajon a réz, vagy inkább a vas volt a leginkább meghatározó nyersanyag?

Az alumínium a 20. század fém „találmánya”, holott a Föld szilárd kérgének ez az egyik leggyakoribb alkotóeleme (8–10%); melyet csak az oxigén (48–50%) és a szilícium (28–30%) előz meg. Ez a fém, az aranytól, a réztől és a vastól eltérően tehát évezredekig rejtve maradt az emberiség előtt. Ennek az az oka, hogy nagyon könnyen reakcióba lép az oxigénnel, ezért a természetben csak kötött formában található.

Mivel az alumínium geopolitikai értelemben „fiatal” fém, azt is tudjuk, hogy 1807-ben bukkan rá Humphry Davy, de magát a tiszta fémet 7 évvel később, 1827-ben Friedrich Wöhler állította elő. Az ércet, a bauxitot Les Baux község határában fedezték fel és 1845-ben sikerült S. C. Deville-nek nagyobb mennyiségben előállítania alumíniumot. Évekig az ő drága eljárásával állították elő az akkor még különlegességnek számító fémet és neves francia, angol, amerikai és német tudósok kitartó munkájára volt szükség, hogy 1885–1900 között az alumínium előállításának gazdaságosabb módjait megteremtsék. Ezzel – a 20. században – lehetővé vált az új fém, az alumínium nagy tömegű és olcsó előállítása és a rá alapozott tömegtermelés megindítása. Talán már lassan feledésbe merül az a tény, hogy a „trianoni” Magyarország területén feltárt bauxit vagyona az 1960-1970-es években, akkori szovjet kooperációban olyan alumíniumgyártási vertikum épült, amellyel Magyarország a világ alumíniumtermelésében – volumenét tekintve – a hatodik helyet foglalta el. A rendszerváltás előestéjén, az 1980-as években megindulhatott a környezetvédők harca a Hévízi-tó megmentéséért – amely viszont a világ legnagyobb melegvízi forrás-tava – amelyet egyes bakonyi bauxit-bányák karsztvízszint csökkentő tevékenysége kezdett veszélyeztetni. A megoldást végül nem geotechnológiai beavatkozás jelentette, hanem az egész magyar bauxit-kitermelő, timföldgyártó, alumíniumkohászati és -gépgyártási vertikum leépülése az Unióhoz való csatlakozáshoz való felkészülés jegyében.

Lítium nélkül olyan lenne a huszonegyedik század, mint olaj nélkül a huszadik. Ma már elképzelhetetlen, hogy egy fejlett gazdaság ne használjon lítiumot, legyen szó akkumulátorokról, vegyiparról, hadiiparról, atomfizikáról vagy éppen gyógyászatról.

Amikor Johan August Arfwedson 1817-ben felfedezte a lítium oldatát, nem tudhatta, hogy két-száz évvel később késhegyig menő viták zajlanak majd arról, hogy a lítium alapú energiatárolás-e a megoldás az energetikai problémákra, és ha igen, mennyire etikus vagy környezetbarát valójában?

A ritkaföldfémek – a csúcstechnológiához nélkülözhetetlen nyersanyagok – kitermelésében Kína magasan vezet. Nem véletlenül jutott uralkodó piaci helyzetbe, hanem hosszú távú iparpolitikai fejlesztéseinek köszönhetően, tehát épp azon hosszú távú tervezés segítségével, amelyet a nyugati kapitalizmus következetesen elvet. A piaci erőfölénnyel pedig élni is szoktak, ebben viszont Kína sem más, mint a nyugati kapitalista országok. Elkezdődött a geopolitikai „nagy játszma”. Bővebben:

<https://www.magyardiplo.hu/2010-november/313-a-ritkafoeldfemek-es-kina.html>

A ritkaföldfémek kulcsfontosságú nyersanyagnak számítanak egy sor dolog előállításához az elektromos autók akkumulátorától kezdve a félvezetőkön keresztül a szélturbinákig. Európa e

téren jelenleg az importtól függ, pontosabban Kínától, amely a szükségleteinek 98 százalékát biztosítja. A svéd állami tulajdonú Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB) bányavállalat azonban most felfedezte a kontinens legnagyobb lelőhelyét Kiruna városában, egy vasbánya mellett, amely több mint egymillió tonna ritkaföldfém-oxidot tartalmaz. Érdeemes megemlíteni, hogy a cég által működtetett vasércbánya a világ legmodernebb mélyművelésű robotizált bányája. A ritkaföldfémek az Európai Bizottság szerint is a legkritikusabb erőforrások közé tartoznak a régió szempontjából, az irántuk való kereslet várhatóan több mint ötszörösére nő 2030-ig.

A fémek forradalmi szerepe

A természeti állapot

A közgazdaságtudomány számára a kiindulópont a természeti állapot fogalma volt, aminek a meghatározása mindig is élénk vitát okozott. A közgazdaságtan születésekor Adam Smith úgy írta le a gazdálkodás kiindulópontját, mint a magányos, egyedül termelő egyént, aki felismeri a szakosodás előnyeit és ezáltal a csere fontosságát. Smith és a skót felvilágosodás többi gondolkodója ezt a természeti állapotot nem idilliként ábrázolta, hanem annak a formának tekintették, ami lehetőséget ad az elmozdulásra a társiasság irányába kialakítva az együttműködést és az ehhez szükséges erkölcsi rendet. A társiasság a csiszoltság, az erkölcsösség a csere feltétele és következménye, Smith ezért a cserét és a munkamegosztást a civilizáció kiindulópontjának tekintette. A csere és a civilizáció összekapcsolása nem új koncepció volt, hiszen már a francia felvilágosodás is a kereskedelmet a szelídségre való ösztönzés eszközének tekintette. személyes erkölcs-filozófusként ehhez csak annyit tett hozzá, hogy kidolgozta a jól szervezett csere teljes elméletét, és ezzel a civilizációs küldetés gazdasági összefüggését is elemezte. A természeti állapotról folytatott vita a közgazdaságtudományban ezért nem értelmetlen volt, és semmiképpen sem tekinthető történelmietlenségnek, hanem az arra vonatkozó elméleti keret, ami a civilizált hódítást, az erkölcsök követését összhangba hozta a természeti törvényekkel.

Smith nem szembe állítani akarta a természetet és a társadalmat, hanem az átmenetet kereste a létfenntartás és a morál között. Az erre vonatkozó megoldásra az önszeretet csak félig meddig tekinthető jó megoldásnak, hiszen a nyers önzéshez képest ez valóban jobb megoldás, különösen a neoliberalizmussal szemben, amelyik az önzést és az önszeretetet azonosította és az önzést tekintette a gazdaság egyetlen hajtóerejének. Smith ennél kifinomultabb modellt alkalmazott, hiszen az önszeretet a szeretet és az önzés között áll, és azt a sztoikus hagyományt elevenítette fel, ami szerint saját testünkről, saját magunkról is gondoskodni kell, ha mások javát szeretnénk szolgálni. Ma már tudjuk, hogy ez nem a végső megoldás a problémára, hiszen az önszeretet és a szeretet nem választható el egymástól. A szeretet, ha a társadalom egészét áthatja, akkor a kölcsönös gondoskodás elveként tud megjelenni. Ez nála még nem tudott teljes rendszert alkotni, az önszeretet és a szeretet Smith-i megkülönböztetése ezért még arra az átmeneti állapotra vonatkozik, amikor a szeretet még kevés, meg kell védeni a tulajdont másoktól. A szabadság és a biztonság ellentmondásban áll, azaz a republikánus korszakról szól.

A politikai gazdaságtanban a természeti állapotról vonatkozó másik jelentős elméleti teljesítmény David Ricardo nevéhez fűződik. Ricardo elméleti rendszerének kiindulópontja a magányos vadász, aki azonban nem cserél, hanem mérlegel arra vonatkozóan, hogy munkaidejét hogyan ossza meg a létszükségleti cikkek és az ezen cikkek előállítását segítő eszközök, szerszámok és gépek előállítása között. Az idő felosztása, az önmegtartóztatás elve dönt arról, hogy melyik gazdálkodó lesz sikeresebb. A természeti állapot eredménye a társadalom

osztálytagozódása, hiszen az önmegtartóztatás eredménye a tökéssé válás és a hedonista magatartás vezet a munkás léthez.

A természeti állapotra vonatkozó közgazdasági funkciókat a tizenkilencedik század végén kialakuló módszeres antropológiai kutatások haladták meg, hiszen ezekből világossá vált, hogy a társadalmi és gazdasági ősállapot nem a gazdálkodó egyén, hanem a csoport, a közös gazdálkodás, a kooperáció. Ezt az elméleti keretet a szűkebben vett közgazdasági gondolkodásban Friedrich Engels írta le „A család, az állam és a magántulajdon eredete” című munkájában, aminek az egyik fő következtetése, hogy az ősi közösségek az egyenlőségen alapultak, és ezt az egyenlőséget a technikai fejlődés és az ennek nyomán kialakuló bőség bomlasztotta fel. Az őskommunizmust, ahogy ezt a korszakot Engels elnevezte, a fejlődés megszüntette és helyébe a termelőeszközök tulajdonjogának egyenlőtlensége került. A termelőeszközök tulajdonosai lettek az állam vezetői, a tulajdon nélküliek alkották az alávetett osztályt. Az osztályok kialakulása és az állam létrejötte egybeesett Engels véleménye szerint, és ez alapján a marxi modell alapján fogalmazták meg később azt az állítást is, hogy az osztálytársadalom megszüntetése azonos az állam megszűnésével is.

A 20. században az amerikai intézményi közgazdaságtan ezt az antropológiai nézőpontot folytatta, támaszkodva az ebben a tárgykörben folytatott kutatásokra. A közelítés jelentős részben technológiai volt, a szerszámkészítés és a zsákmányszerzés különbsége révén alakult ki, és ebből vezették le az egyes társadalmak közötti és a társadalmon belüli érintkezéseket, a hierarchiát. Az államot nem az uralkodó osztály erőszakszervezeteként definiálták, hanem kultúrahordozóként. A mítoszok által megfogalmazott kultúra továbbvivőjeként a 20. században rendkívül nagy figyelmet kapó mitológiai kutatások jelentősen megtermékenyítették a közgazdaságtudományt is.

A legutóbbi, nagy figyelmet kapó törekvés ebben a témakörben Francis Fukuyama „A politikai rend eredete” című munkája volt, illetve ezt egészítette ki Angus Deaton „A nagy szökés” című könyve. Mind a kettő építve a széles körű szakirodalomra amellelt érvelt, hogy a kiindulópont a hordába tömörülő vadászok közössége, és ezt váltotta fel a mezőgazdaság két ágára, a növénytermesztésre és az állattenyésztésre támaszkodó közösségi modell. Az így kifejlődő törzsek mítoszokat teremtettek, és a közösséget a munkára alapozták. A két elem összetartozik, hiszen a közösség egységéhez jövőképre is szükség volt, a politikai rend alapja pedig a szolgálta jellegű munkától történő megszabadulás perspektívája is volt.

Természetesen a politika nem csak a munkaadásra korlátozódott, hanem a felzárkózási igények összehangolására is, és ez vezetett el az állam kialakulásához. Fukuyama ezzel azt is igazolta hogy a neoliberalizmussal szemben, amelyik az állam és piac dichotómiájából indult ki, a közgazdaságtan kiindulópontja a tág értelemben vett állam működésének és azoknak az intézményeknek és technológiáknak a kutatása, amelyek segítik az állam működését.

Fukuyama állításai természetesen ma már nem elégségesek az új közgazdaságtan megalapozásához, hiszen az értékrendi alap vizsgálata a közösségek létrejöttéhez nélkülözhetetlen. Ez az értékrendi stabilitás emelte ki az állatvilágból az emberi közösségeket, és ezek intézményesülése és hozzájárulása a létbiztonsághoz szavatolta a kultúra és civilizáció fennmaradását. Ebben a folyamatban ezért nem pusztán a megélhetés módjára, a mezőgazdasági forradalomra érdemes tekintettel lenni, hanem a fémművességre is, amelyik összekapcsolta a kultúrát a munka alóli felszabadulással.

A paleolitikum és a neolit forradalom

Az őstörténet vagy a prehisztorikus kor kutatásában az elmúlt évtizedek közgazdasági gondolkodásában a domináns elem a létbiztonság és a munka összekapcsolódásának elemzése volt. E szerint a vadászó-gyűjtögető életmódot, ami a paleolit időszakot jellemezte, a neolit korban felváltotta a mezőgazdaság és az ahhoz szorosan kapcsolódó fizikai szolgai jellegű munka. Kétségtelen, hogy ez a munka technikai újításokkal is párosult, amiből ki szokták emelni az öntözést és a fazekasságot.

Az öntözés egyrészt lehetőséget adott az addig száraz művelhetetlen területek művelésbe vonására, és ezzel a népesség növekedésére, másrészt együttműködést, kooperációt igényelt nagyobb területi egységre vonatkozóan, ami kitágította a családot, a horda kereteit és magával hozta a letelepedést is. A neolit kor munkakényszáma, amivel szemben a paleolit kor paradicsomi állapotnak tűnhetett, azonban jelentős tudásbővülést is eredményezett, és ez a kultúra és civilizáció megteremtéséhez vezetett. Először is ekkor kezdődött a növények nemesítése és az állatok szelídítése, hiszen a letelepedés lehetővé tette a növények hozzáigazítását az emberi szükségletekhez, másrészt adott terület művelési jellegzetességeinek megismerése és használata, alakítása szintén „civilizatorikus” erővel bírt.

Hasonlóan jelentős előrelépés volt a fazekasság elterjedése, aminek két fázisát különböztetik meg: az egyik az agyagedény elkészítése, a másik a fazekaskorong felfedezése. Ez utóbbit viszonylag hamar követte a réz felfedezése és használata. A korszak, edények használata könnyebbé tette a tárolást, megteremtette a tervezés technológiáját, ami hozzájárult a létbiztonsághoz azzal, hogy a természet bizonytalanságait csökkentette, termelése pedig a tűz újabb funkciójának felfedezéséhez vezetett.

A tűz már nem csak elriasztotta a vadállatokat, védelmet adott és lehetővé tette a főzést, ami új növényfajták használatához vezetett vagy ahhoz, hogy a hús fogyasztásához kevesebb energiára volt szükség, hanem a földdel elkeverve új anyagot hozott létre. A tűz átalakította a természetet, olyan energiaforrás volt, ami növelte a biztonságot és csökkentette a szükséges fizikai munkát. A tűz misztikus jellege, képessége a civilizáció és a kultúra fenntartásához ezért kézzelfoghatóvá vált. Egészen a 20. századig elsődleges energiaközvetítő maradt, hiszen csak ekkor jelent meg az elektromos áram és kezdte el helyettesíteni a tüzet. A fazekaskorong pedig azért volt kiemelendő felfedezés, mert a munka alóli felszabadulás egyik technológiája volt, csökkentette az agyagedények létrehozásához szükséges idő mennyiségét.

A fazekaskorong, általában a fazekasság elterjedése azért is fontos, mert ezek a technikai lehetőségek már közvetlenül kapcsolódtak a réz felfedezéséhez. Ez a két találmány a civilizációs folyamatban döntő elemnek tekinthető a tudás és a létbiztonság összekapcsolása szempontjából. A tudás bővüléséhez szükséges intézményi rend és szellemi környezet jött létre az ősi társadalmakban. Ezt a szempontot emelte ki Oded Galor „Az emberiség utazása” című könyvében, és ez áll szemben azzal a neoliberalis felfogással, amelyik a létbiztonságot és a rabszolgaságot természeti szükségszerűségként kapcsolta össze.

A kultúra és a tudás bővülése szempontjából is kiemelt jelentősége van a fémek felfedezésének és használatának. Az a felvetés, hogy a prehisztorikus korból a fémek szempontjából tagoljuk azért fontos, mert a fém a rabszolga jellegű tevékenység alóli felszabadulás és a kulturális függés egyszerre. A fémeszközök létrehozása és használata olyan szaktudást feltételez, ami szükségképpen tudásalapú hierarchiát teremtett, használata jelentős civilizációs ugrás volt, és megkönnyítette az emberek életét. A fémek szerepe ezért ugrás, ami alapján formációelméleti szempontból korszakmeghatározónak nevezhető.

STRATÉGIAI FONTOSSÁGÚ NYERSANYAGOK ÉS AZ ARANY GEOPOLITIKÁJA

A Föld stratégiai fontosságú nyersanyagai

Bár egyes szerzők szerint a 21. század legfontosabb nyersanyaga nem más, mint az adat, vagy akár úgy is lehet fogalmazni: a 21. század olaja az adat[ⁱⁱⁱ]), ezzel együtt bizonyos „valódi” nyersanyagok is egyre inkább felértékelődnek, egyre fontosabbá válnak. Következő írásunkban ezeket a ritka nyersanyagokat és alkalmazási területeiket igyekszünk számba venni, feltérképezni, egyúttal felhívni a figyelmet a készletek koncentrációjával kapcsolatos jövőbeli kihívásokra, valamint arra, hogy ezeknek az elemeknek a stratégiai fontosságú alkalmazási területei milyen esetleges gazdasági-politikai következményeket vonnak maguk után.²

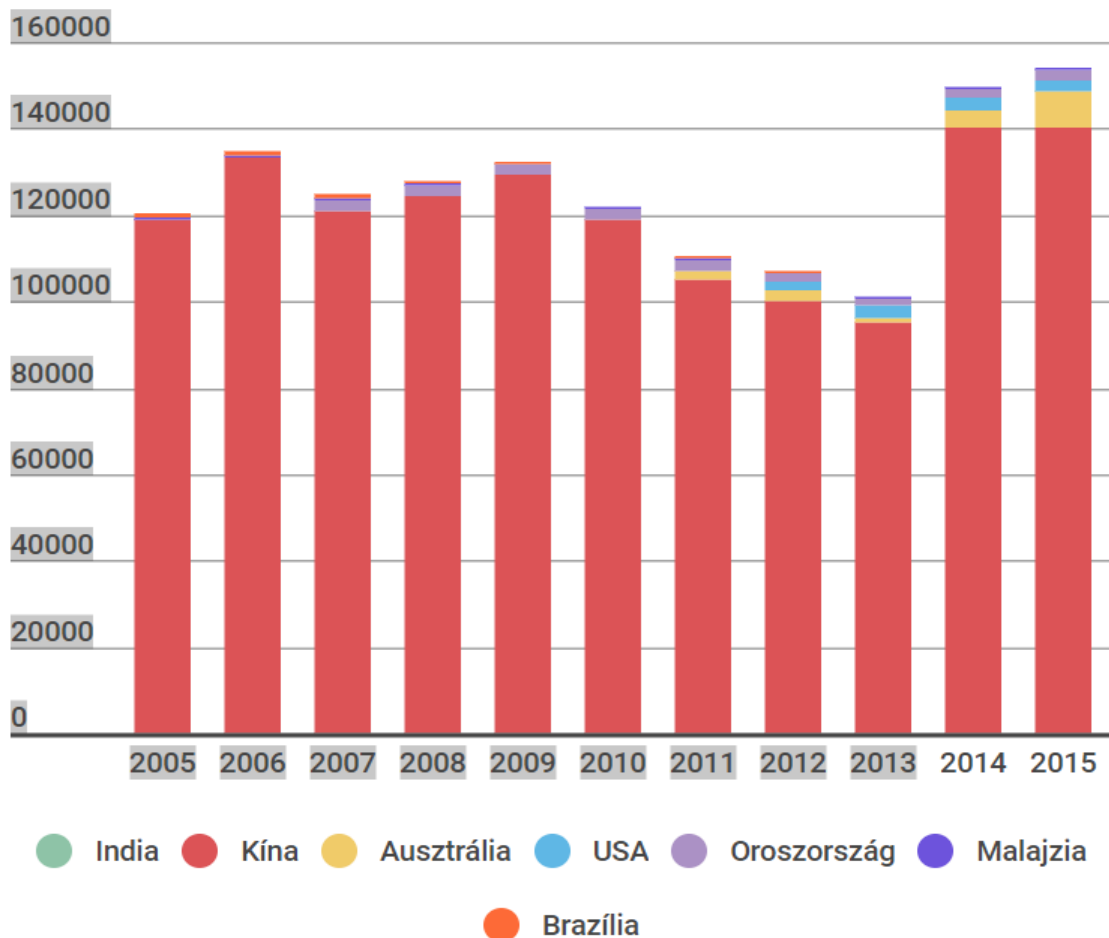
Kritikus fontosságú nyersanyagok

A legnagyobb gazdasági jelentőségű nyersanyagokkal kapcsolatban többféle felosztás létezik, attól függően, hogy milyen szempontból vizsgáljuk őket: előfordulásuk szerint, kitermelésük koncentráltasága alapján, regionális szempontból (pl. az EU számára kritikus fontosságú nyersanyagok), keresletük növekedése alapján stb. A legtagabb értelmezésben ebbe a halmazba beletartozhat például a víz (ivóvíz), vagy a homok is, azonban ezek jelen írásnak nem képezik részét, elsősorban területi korlátok miatt, hiszen csak a víz stratégiai jelentőségének vizsgálata külön elemzést követelne meg. Az elemzés nem foglalkozik továbbá az energiahordozókkal sem (kőolaj, földgáz, kőszén stb.), ez szintén egy önálló tématerület. Tanulmányunk elsősorban azokkal az elemekkel foglalkozik, melyek kifejezetten a 21. századi technológiai forradalom révén váltak különösen fontossá, és lesznek vélhetően a jövőben még inkább hangsúlyosak. Alkalmazási területükkel kapcsolatban is leginkább a technológiai felhasználásukra szűkítettük le a vizsgálati keretet. A továbbiakban kiemelten foglalkozunk a ritkaföldfémekkel, mint nagyobb önálló csoporttal, majd az egyes elemeket egyenként mutatja be az írás.

Ritkaföldfémek

A ritkaföldfémek (a nemzetközi szakirodalomban rare earth elements, REE a leggyakoribb hivatkozási formája) közé a periódusos rendszer 57-71 rendszámú elemei, a lantanoidák csoportja tartozik^[vi], valamint a szkandium és az ittrium^[vi]. Nevükkel ellentétben nem különösebben ritka az előfordulásuk (mint például az olyan széles körben használt elemeké, mint a cink, réz, nikkel, vagy az ólom), sőt, viszonylag nagy mennyiségben fordulnak elő a földkéregben, viszont a bányászható (a koncentrált és a jelenlegi technológiákkal gazdaságosan kitermelhető ritkaföldfém-ásványlelőhelyek) készleteik valóban meglehetősen ritkák.^[vi] Hasonló fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek, számos modern eszközben megtaláljuk őket előnyös tulajdonságaik miatt, az elektromos autók akkumulátoraitól kezdve a különböző elektronikus eszközökön át a szélturbinákig. És bár alaptulajdonságaik között meglehetősen nagy hasonlóság van, mégis mindegyik ritkaföldfém-elem rendelkezik olyan egyedi tulajdonságokkal és speciális alkalmazási területtel, mely kizárja, hogy helyettesíteni tudják egymást. Ezért besorolásukat meghatározza az egyes alkalmazási területeken való fontosságuk, megfelelő helyettesítőik hiánya, illetve a készleteik, valamint kitermelésük meglehetősen erős monopolizációja.^[vii]

²A fejezet forrása: <http://www.geopolitika.hu/hu/2018/04/19/a-fold-strategiai-fontossagu-nyersanyagai/>



A legnagyobb ritkaföldfém-bányász országok, és termelésük (2007-2015, tonna)

Adatforrás: British Geopoly Survey.^[viii]

Jelenleg egyértelműen Kínától függ a ritkaföldfémekkel való ellátottság kérdése, a bányászat legjelentősebb részben Kínában történik, az elmúlt évtizedet tekintve toronymagasan vezet az ország, jóval 90%-ot meghaladó részesedéssel^[xi]. Ennek egyik oka, hogy ezen nyersanyagok bányászata rendkívül környezetszennyező tevékenység, a készletek sok esetben olyan radioaktív elemekkel együtt fordulnak elő, mint az uránium és a tórium, melyek külön kezeléseket és eljárásokat igényelnek. Emellett maga a kitermelés rendkívül víz- energia- és vegyi anyag-igényes^[xi]. Továbbá, mind a kitermelés, mind a feldolgozás, illetve a salakanyag hosszú távú tárolása, valamint a radioaktív hulladék elhelyezése is nagy földterületeket vesz igénybe. A nem megfelelő eljárások alkalmazása az idők során már számos negatív következménnyel és tragikus környezetkárosítással járt^[xi], ez sem teszi túl vonzóvá ezt a fajta bányászati tevékenységet. Éppen ezért amikor Kína az 1980-as években megnyitotta belső-mongóliai bányáit, és olcsó ritkaföldfémekkel árasztotta el a világpiacot, mindenhol máshol leálltak a termeléssel, mert egyrészt senki sem tudott versenyezni az árakkal, másrészt így a környezetüket sem érte további degradáció, ezzel együtt azonban meglehetősen erős monopolhelyzet alakult ki.^[xii] 2011-ben például Kína kvótát vezetett be a ritkaföldfémek exportjára, melyet egészen 2015-ig fenn is tartott (ekkor kötelezte őt annak eltörlésére a WTO), sőt, már az is előfordult, hogy az ország embargót vezetett be például Japán ellen a ritkaföldfémek kivitelében, geopolitikai érdekeinek érvényesítésére^[xiii]. Ez az egyre súlyosabb geoökonómiai fenyegetés az utóbbi években jelentős lökést adott ahhoz, hogy más országokban is újra meginduljon a bányák nyitása és új lelőhelyek

feltárása. Számos térségben jelentős kibányászható készleteket tártak fel, sőt, jelenlegi ismereteink szerint globálisan már nem is Kínában találhatóak a legnagyobb ritkaföldfém-tartalékok (bár azért jelentős mennyiség, a globális tartalékok mintegy 37%-a az országban található^[xiv]), így a jövőben várhatóan diverzifikálódik a kitermelés.^[xv]

A ritkaföldfémek elemei:

Rendszám	Név	Vegyjel
57	Lantán	La
58	Cérium	Ce
59	Prazeodímium	Pr
60	Neodímium	Nd
61	Prométium	Pm
62	Szamárium	Sm
63	Európium	Eu
64	Gadolínium	Gd
65	Terbium	Tb
66	Diszprózium	Dy
67	Holmium	Ho
68	Erbium	Er
69	Túlium	Tm
70	Itterbium	Yb
71	Lutécium	Lu

A ritkaföldfémek főbb alkalmazási területei^[xvi]

- nagy erősségű ötvözetekként: Sc, Y, Yb
- elektronikában: számítógép-kapcsolókban (Sc), lézeres eszközökben (Sc, Y, La, Dy, Er, Nd), monitorok képalkotó egységeiben (Sc, Y, Eu), mikroprocesszorokban és merevlemezekben (Ce), kommunikációs eszközökben (Y, Nd, Yb)
- tiszta energiával kapcsolatos technológiákban: Y, La, Ce, Nd, Eu, Tb, Dy
- fénytechnológia: stúdiófények (Sc), nagy fényerejű eszközök (Pr)
- orvoslásban: daganatos megbetegedések kezelése (Y)
- akkumulátoriparban: elektromos járművek akkumulátorai (La), egyéb akkumulátorok (La)
- optikában: Y, La, Ce, Pr, Eu, Gd, Tb, Er
- korróziós technológiákban: Sc, Pr
- nagy erejű mágnesekben: Nd, Sm, Dy, Ho, Tm
- olajipari katalizátorként: La, Nd, Pm
- röntgen eszközökben: La, Yb, Lu.

Az egyéb kritikus nyersanyagok alkalmazási területei

A legtöbb kritikus nyersanyag a legújabb technológiákkal kapcsolatosan kerül felhasználásra, vagy egyéb stratégiai fontosságú ágazatokban. Bár általában csak kis mennyiségben van rájuk szükség egy-egy eszközt tekintve, mégis egyre nélkülözhetlenebbé válnak a kifinomult technológiák kifejlesztésével készülő termékek esetében. Döntő szerepet játszanak az innovatív „környezeti technológiák” fejlesztésében, melyek célja az energiahatékonyság növelése, illetve az üvegházgáz-kibocsátás csökkentése (illetve ehhez kapcsolódóan kitermelésük mellett az újra használatuk is stratégiai kérdéssé vált^[xviii]). A hidrogénhajtású autók például platina-alapú katalizátorokat igényelnek; az elektromos-hibrid gépjárművek lítium-akkumulátorokat; a rénium-ötvözetek nélkülözhetetlen jelentőségűek a modern repülőgépgyártásban.

Számos nyersanyagot alkalmaznak a félvezetőgyártásban. A félvezetők iparát Kína, Tajvan, Dél-Korea, az Egyesült Államok és Japán dominálja. A félvezető-ipar minden más technológia előállítását meghatározza: gyártásuk a gazdasági növekedés egyik legfontosabb motorja az elektronikai ipari értékláncban. A félvezetők ipara az utóbbi évek egyik leggyorsabban növekvő iparága, az elmúlt húsz évben 10% feletti éves növekedést mutatott, egyedül 2004-ben a globális GDP közel 10%-át a félvezetőkhöz valamilyen formában kapcsolódó elektromos rendszerek előállítása és kereskedelme adta.^[xviii]

A kritikus nyersanyagok számos esetben különleges tulajdonságokkal rendelkező ötvözetek formájában kerülnek felhasználásra – mint például rendkívüli sűrűlésnek vagy hőhatásoknak való ellenállás –, ezért nélkülözhetetlen elemeit adják a gépjármű-, vagy repülőgépgyártásnak. Az ezen iparágak vezető gazdaságai (pl. Brazília, Kína, az EU, India, Japán, Dél-Korea, Egyesült Államok) mind jelentős felhasználói a kritikus nyersanyagok ötvözeinek.^[xix] A továbbiakban az egyes elemeket veszi sorra a tanulmány előfordulásuk jellegzetességei, illetve legfontosabb ipari felhasználási területeik szerint.

Antimon (Sb)

Az antimon egy egyre növekvő stratégiai jelentőségű kémiai elem. Ásványkészletei legnagyobb részben Kínában találhatók, az elmúlt évtizedekben, ebben az egy országban folyt a globális kitermelésének több mint 90%-a. Rajta kívül kisebb részben Tádzsikisztánban, Bolíviában, Oroszországban, a Dél-afrikai Köztársaságban, Ausztráliában és Törökországban folyik még bányászata. Az EU, az USA és Japán gazdasága is jelentős importfüggőségben áll az antimon tekintetében. A számítások alapján viszont a következő tíz évben Kína is nettó importőrré fog válni, nettó exportórból (tehát behozatalra szorul majd a nyersanyagból). Felhasználása:

- trioxidját a vegyiparban és műanyagiparban szintetizáló adalékanyagként használják, égésgátló felületet lehet létrehozni a segítségével például műanyag szigetelőanyagokban, illetve elektronikai és háztartási készülékekben, továbbá festékekhez, lakkokhoz, üveg- és kerámiaeszközökhöz is keverik ugyanezen tulajdonsága miatt. A műanyagiparban katalizátorként is elterjedt a használata
- fémötvözetekben szilárdságnövelő hatása miatt használják
- az elektronikai iparban, félvezető eszközökben, például infravörös érzékelőkben és diódákban használják
- az ólom-antimon elegy akkumulátorok fontos összetevője.

Berillium (Be)

A berillium egy könnyű (sűrűsége 30%-kal alacsonyabb, mint az alumíniumé) és merev (háromszor merevebb a titánnál) anyag, számos felhasználási területe van a legmodernebb technológiákat alkalmazó iparágakban. Rézzel való ötvözte (amennyiben annak berilliumtartalma 2%-nál alacsonyabb) az acélhoz hasonló erősségű anyagot eredményez, mely emellett nagyon jól vezeti az áramot és a hőt, valamint magas hőmérséklet mellett is ellenáll a deformációnak. Érce átlátszó a röntgensugarak számára, ezért különösen fontos az orvosi röntgen- és CT-eljárások alkalmazásában. A világ berillium-kitermelésének döntő része (65%) az Egyesült Államokból származik. Emellett Kína, Kazahsztán és Brazília fontos kitermelő országok, valamint Afrika egyes államai (Nigéria, Madagaszkár, Mozambik). Felhasználása [\[xxiii\]](#):

- a telekommunikációs infrastrukturális eszközök, számítógépek és mobiltelefonok alkatrészeinek fontos eleme
- orvoslásban a képalkotó (röntgen, CT), diagnosztikai eszközök, lézeres eszközök esetében alkalmazzák
- az autóiparban felhasználják légzsákokban és elektromos fékrendszerek gyártásában
- az űrkutatásban például teleszkópoknál, vagy hőpajzsok összetevőjeként is használják
- az energiaiparban olaj és földgáz kivonására alkalmas, atomerőművek moderátor-anyaga
- ötvözetek gépjármű- és repülőgép-alkatrészek fontos alkotói.

Ezüst (Ag)

Az ezüst az összes ismert elektromos vezető közül a legjobban vezeti az áramot, drágasága miatt azonban mégis viszonylag ritkán alkalmazzák az elektronikában. Hő- és fényvisszaverő képessége is jobb más féménél. Elemi állapotban is, de inkább szulfidásványokban fordul elő a természetben.

A három legnagyobb ezüsttermelő ország (sorrendben) Peru, Mexikó és Kína, együttesen a világtermelés közel felét (45%) adják. Felhasználása:

- elektronikában: érintkezők, kapcsolók, gombelemek, nyomtatott áramkörök fontos alkotója
- bromidja és jodidja sokáig a fényképezés egyik fontos kelléke volt, de még a digitális fényképezésben is nagy szerepet töltenek be az ezüst-sók, a jó minőségű képek előállításában, illetve másolásvédelemben, valamint a fényérzékeny lencsék gyártásában is alkalmazzák
- karbidja, fulminátja robbanószer
- gyógyászatban fertőtlenítő hatása miatt is alkalmazzák

Gallium (Ga)

Az elemi gallium nem fordul elő a természetben, elegyei cink- és bauxitércsekben találhatók meg. Kitermelése is erősen kötődik a bauxit- és alumíniumfeldolgozáshoz. Leggyakoribb felhasználása gallium-arzenidként történik, például az elektronikában.

Kitermelésének több, mint 80%-a Kínából származik. A megfelelően magas tisztaságú gallium-arzenidet csak a világ néhány vállalata képes előállítani (egy európai, illetve néhány japán és kínai vállalat). Felhasználása:

- társadalmi-gazdasági jelentősége óriási, felhasználása igen széleskörű: alkalmazzák mobil és műholdas kommunikációs eszközök rádiófrekvenciás chipjeiben, szálszerkezetes alapú kommunikációs rendszerek lézerdiodáiban, LED-kijelzőkben, világító eszközökben, repülőelektronikai, űrtechnikai, és védelmi rendszerekben.
- az elektronikai iparban félvezetőként is fontos szerepe van
- ötvözetek és üzemanyagcellaként való alkalmazási területeinek kutatása jelenleg is folyik.



A jelentős ásványlelőhelyek eloszlása a Földön

Germánium (Ge)

Mint számos más ritkafém esetében, a germánium sem fordul elő a természetben elemi formájában, leginkább más ásványokkal keveredve, illetve ércekben található meg. A legfontosabb germániumot tartalmazó ásvány a germanit. Ma leginkább a cink előállításánál keletkező melléktermékként, illetve szénpernyéből kivonva állítják elő. Becslések szerint a germánium termelésének 75%-a cinkércsek feldolgozásából származik, a további 25% pedig szénfeldolgozásból. A legfontosabb germánium-termelő ország jelenleg Kína, a teljes kitermelés mintegy 60%-át adja. A fennmaradó rész leginkább Kanadából, Finnországból, Oroszországból és az Egyesült Államokból származik. Bár számos alternatíva létezik a germánium helyettesítésére (ez a legtöbb kritikus nyersanyag esetében nem így van), a helyettesítő anyagok tulajdonságai elmaradnak a germániumétól, ezért alkalmazásuk nem optimális. Felhasználása:

- a germánium három legfőbb felhasználási területe az optikai üvegszálak rendszerek, infravörös optikák gyártása, valamint katalizátorként a PET műanyagok polimerizációs eljárásaiban is alkalmazzák. Továbbá, az elektromos alkatrészek (pl. tranzistorok) és napelemek gyártásában szintén fontos szerepet játszik.
- mind a germánium, mind a germánium-oxid átengedi az infravörös sugárzást, ezért elterjedt a használatuk infravörös színeképelemző műszerek gyártásában. Többek között katonai alkalmazása fontos, éjjellátó készülékekben
- fontos elemként jelenik meg még a tűzoltó felszerelések gyártásában, műholdas képalkotó szenzorok és orvosi diagnosztikai eszközök alkatrészeinek gyártásában is.

Grafit (C)

A (természetes) grafit a szén egyik legtisztább és legkristályosodottabb formája. Mind a bányászata, mind a szintetikus úton való előállítása lehetséges. Legnagyobb kitermelője Kína, a

világtermelés 70%-át adja, Latin-Amerikában pedig további 20%-ot bányásznak. Az európai kitermelés 1% alatt van. Felhasználása:

- a grafit elengedhetetlen összetevője a lítium-ion elemek és akkumulátorok gyártásának, ennélfogva a jövő elektromosautó-iparának is. Emiatt a jövőben várhatóan jelentősen megnövekszik a grafit iránti kereslet is
- atomerőművek moderátor-anyaga
- egy másik gyorsan növekvő piaca a szigetelések és a különböző tűzálló termékek gyártásában van
- a grafit kiemelt fontosságú felhasználási területe a grafén előállítása. A grafén a világ egyik legerősebb anyaga, mely emellett még rendkívül könnyű is, jó az áramvezető képessége, fényelnyelése pedig igen alacsony, ezért a jövőbeli felhasználási lehetőségei rendkívül sokrétűek. ^[xxviii]

Indium (In)

Az indium viszonylag gyakori előfordulású elem cink-, ólom-, ón- és rézercekből. Bányászata és finomítása az utóbbi három évben (2014-2016) mintegy 20%-ot emelkedett. Kitermelése, és a bázisércekből való kivonása francia, dél-koreai, japán, kanadai, dél-amerikai és kínai telepeken a legszámottevőbb. Az indium azon kevés stratégiai fontosságú elem közé tartozik, melyből Európa is önellátó. Felhasználása:

- az indium felhasználásának mintegy felét (55%) az LCD-képernyők gyártása fedi le. A maradék 45%-ot különböző gépek és elektronikus eszközök alkatrészeinek gyártásában való felhasználása teszi ki
- napelemek és lézerdíódák gyártásának is fontos nyersanyaga az indium.

Kobalt (Co)

A kobalt egy viszonylag nagy gyakorisággal előforduló elem, többek között létfontosságú az állatok és mikroorganizmusok növekedésében játszott szerepe.

A kobaltkészletek mintegy fele Közép-Afrikában található, a másik része a többi kontinensen elszórva. A finomított kobaltot nagyrészt a nikkel (50%) és a réz (44%) melléktermékeként állítják elő. Felhasználása:

- tölthető akkumulátorokban (például elektromos/hibrid hajtású gépjárművek esetében, valamint hordozható elektronikus eszközök akkumulátoraiban)
- biotechnológiai folyamatokban, diagnosztikában, gyógyszerészetben, csípő- és térdprotézisek gyártásában
- széleskörűen alkalmazzák még színezőanyagként, félvezetők és más elektronikai alkatrészek gyártásában, alternatívenergia-termelésben (pl napelemek, üzemanyagcellák, szél-turbinák alkatrészeiben).

Króm (Cr)

Az egyik leggyakoribb előfordulású fém, a Föld ásványai közül a 13. leggyakoribb elem. Korrozóálló, kemény anyag, mely kulcsfontosságú összetevője a rozsdamentes és egyéb acéltövezeteknek. A legnagyobb krómérc készletek Dél-Afrikában találhatók (a Bushveld Magmás Komplexum mintegy hatvanezer négyzetkilométert lefedő terület, becslések szerint ez a

globális készletek mintegy 70%-át teszi ki), emellett Kazahsztán, Zimbabwe, India és Törökország fontos kitermelők még. Találhatók még készletek Brazíliában, Kubában és Albániában is. Felhasználása:

- acéltövezetekben keménységnövelőként, illetve a korrózióállóság növelésére használják (edények, evőeszközök stb. gyártása)
- a tűzálló anyagokat gyártó iparágakban, például olvasztókemencék gyártásánál használják
- a bőrök nagyjából 90%-át krómmal cserzik, igaz az ezen eljárás során keletkező szennyvíz mérgező, ezért az iparág alternatív megoldások keresésén dolgozik
- vegyiparban széles körben alkalmazzák, például a kozmetikai iparban, vagy faanyagvédő szerek katalizátoraként, illetve mágnesszalagok esetében
- színezőanyagként is elterjedt a használata, a rubin vörös színét is a króm adja, illetve a krómmal bevont üvegfelület smaragdzöld színt kap.

Lítium (Li)

A lítium a legkisebb atomtömegű fém, és a legkisebb sűrűségű szilárd elem. Elemi állapotban nem fordul elő a természetben, csak más elemek vegyületeként. Jelenleg a legnagyobb lítium-kitermelő ország Chile, melyet szorosan követ Argentína. Jelentős tartalékokkal rendelkezik még az Egyesült Államok és Bolívia is. Piaci árfolyama 1998 óta megháromszorozódott, nagyjából a kitermelése is ugyanígy növekedett 2000-2016 között. Felhasználása:

- legfontosabb felhasználása a tölthető elemek, akkumulátorok területéhez kötődik: mobiltelefonok, digitális fényképezők, elektromos gépjárművek energiaforrását adja. Egyes nem tölthető elemekben is felhasználják, például szívritmusszabályzók, játékok és órák elemeiben
- alumínium- és magnéziumtövezeteit erősségnövelésre és tömegcsökkentésre használja a repülőgép-kerékpárgyártás, valamint nagysebességű vasutak gyártásában is megjelenik ugyanezen tulajdonságai miatt
- oxidját speciális üveg- és kerámiafelületek létrehozására használják
- karbonátját gyógyszerekben találjuk meg, például a mániás depresszió kezelésében fontos elem.

Magnezit (MgCO₃)

A magnezit a magnéziumkarbonát-ásvány közismert elnevezése. A tiszta, szennyezésmentes magnezit 47,8%-ban magnézium-oxidot (MgO) tartalmaz. Legfontosabb kitermelője Kína, 2010-ben a teljes magnezit-bányászat mintegy 69%-a hozzá kötődött. További fontos kitermelői Szlovákia, Oroszország, Törökország, Ausztria, Brazília, Spanyolország és Ausztrália (az össztermelés 25%-a kötődik hozzájuk együttesen). Az Európai Unióban folyik a világtermelés mintegy 9%-a, megosztva (sorrendben) Szlovákia, Spanyolország és Görögország között. Felhasználása:

- legfontosabb felhasználási területe a magnézium-oxid gyártása a tűzálló anyagokat gyártó iparágak számára (az acél, cement, kerámia és egyéb hőálló termékek iparágai a felhasználás mintegy 84%-át kiteszik)
- a magnézium-oxidot műtrágyákban is alkalmazzák

Magnézium (Mg)

A magnézium egy viszonylag gyakori előfordulású fém. Elemi formában nem fordul elő, de számos ásványban megtalálható (dolomit, magnezit, karnallit, vagy akár a tengervízben is). Viszonylag kis sűrűségű anyag (sűrűsége negyede az acélénak, kétharmada az alumíniuménak, a szénszálas ötvözetekhez hasonló). A magnéziumbányászat mintegy 85%-át Kína adta 2016-ban. Felhasználása:

- számos iparágban hasznosítják, mint a közlekedésben (gépjárműveknél, vonatoknál és repülőgép-alkatrészekben egyaránt), elektronikai eszközökben (laptopok, mobiltelefonok, tabletek gyártásában), az acéliparban, a titánium és cirkónium-gyártásban, gyógyszeriparban és agrárkémiaiában, valamint orvosi implantátumok gyártásában is
- fontos ötvöző anyag, az alumíniumipar elengedhetetlen hozzávalója
- fontos összetevője a könnyűsúlyú közlekedési-eszköz koncepcióknak, a hidrogéntárolásnak és az akkumulátor-technológiai innovációknak.

Mangán (Mn)

A mangán az ötödik leggyakoribb előfordulású érc a Földön. Legjelentősebb kitermelői Kína, egyes afrikai országok (pl. Gabon) és Ausztrália. Emellett az óceánok talapzatában is található viszonylag nagy mangántartalommal (kb. 24%) rendelkező ércek. Felhasználása:

- ötvöző anyag, például acélötvözetekben gyakori a felhasználása (növeli az ötvözet szilárdságát, megmunkálhatóságát és ellenálló képességét). A 13%-os mangántartalmú mangán-acélt vasúti sínek esetében, fegyvercsövekhez és börtöncellák rácsainak gyártásában alkalmazzák
- alumínium-ötvözetét italos dobozoknál használják, mivel növeli a korrózióval való ellenállást
- alumínium-antimon-rézötvözete rendkívül erős mágnes
- eldobható standard és alkáli elemek, valamint akkumulátorok fontos alkotóeleme

Molibdén (Mo)

Ezüstös, nagy keménységű fém, olvadáspontja nagyon magas, leginkább ötvözőként alkalmazott elem. A legfontosabb molibdén-tartalmú elem a molibdenit, ebből vonják ki a molibdént, ezen kívül a volfrám- és réztermelés melléktermékeként is kivonható. Legfontosabb kitermelő országai az Egyesült Államok, Kína, Chile és Peru. Felhasználása:

- Leginkább ötvöző anyagként használják, növeli a szilárdságot és keménységet, az elektromos vezetőképességet, valamint a korrózióállást. Ötvözeit használják fűtőelemekben, fűrószárokhoz, fűrészlapokhoz, repülőgép-alkatrészekben
- az olajipar katalizátorként alkalmazza
- nyomtatott áramkörök festékanyaga, színezőanyag, és elektródákban is alkalmazzák

Nikkel (Ni)

A nikkel ezüstös fém, mely nagy hőmérsékleten is igen korrózióálló. Rendkívül ritka, mégis az egyik legfontosabb ipari fém. Földi előfordulása leginkább a becsapódó meteoritokhoz köthető,

az egyik legfontosabb termelőhelye is egy ilyen becsapódásból ered a kanadai Sudbury (Ontario) közelében (ez a hely egyedül a világ nikkeltermelésének 2/3-át adja). Felhasználása:

- egyik hagyományos felhasználási területe a pénzürmék gyártásában van (a forint érméi, illetve többek között az 1-2 eurós érme is tartalmaznak nikkelt)
- főként ötvözőelemként használják, például rozsdamentes acélokban. A nikkel-króm ötvözet nagy hőmérsékleten is rendkívül korrózióálló, kenyérpírtók, elektromos sütők bevonatához használják. Réz-nikkel ötvözetéből pedig a tengervízből ivóvizet előállító berendezések csöveit készítik
- galvánelemek gyártásának fontos összetevője, a nikkel-kadmium tölthető elemek elengedhetetlen része, valamint a nikkel-metál-hibrid akkumulátorok révén az elektromos közlekedésben is fontos szerepet játszik
- üvegekhez hozzáadva zöld színű bevonatot képez
- a tiszta nikkelből laboratóriumi és orvosi eszközök is készülnek.

Nióbium (Nb)

Könnyű, ezüstös fém, melynek kémiai tulajdonságai nagyon hasonlóak a tantáléhoz, csak a 19. században különböztették meg őket egymástól. Bár előfordulása nem kifejezetten ritka, bányászata rendkívül koncentrált, két legfontosabb kitermelési helye Brazília (a teljes termelés mintegy 90%-át két brazil bánya adja) és Kanada. Felhasználása:

- elsősorban acélötvöző anyagként használatos, mind a szilárdságot, mind a keménységet nagymértékben növeli, járműalkatrészekben, csővezetékek gyártásánál használják
- magas olvadáspontja miatt „szuperötvözetek” előállítására is használják, elsősorban olyan alkatrészekben, ahol a súly is fontos szerepet játszik (turbinák, rakétamotorok, repülőgép-alkatrészek stb.).
- szupravezető tulajdonságai miatt szupravezető mágnesekben is megtalálható, például MRI-készülékekben és részecskegyorsítókban, mint a CERN nagy hadron-ütköztetője.

Platinacsoport elemei (Platinum Group Metals – PGMs)

Hat elem tartozik ide, a platina (Pt), az ozmium (Os), az irídium (Ir), a palládium (Pd), a ródium (Rh) és a ruténium (Ru). Nagyjából a világ összes készleteinek 70%-a a Dél-afrikai Köztársaságban található, további 20% pedig Oroszországban. Ezen kívül Észak-Amerikában található még néhány bányájuk, illetve újrahasznosításból keletkezhetnek készletek. Felhasználásuk:

- katalizátorként olajfinomításban, egyéb petrokémiai folyamatokban
- elektronikában: számítógépek merevlemezében, üzemanyagcellákban, hőelemekben, többretegű kerámiakondenzátorokban, síkképernyőkben (SED/LCD/OLED), touch-padekben, hordozható elektronikai készülékekben (tabletek, mobiltelefonok)
- üvegek tükröződő felületkezelésében
- gépjárműgyártásban: légzsákokban, blokkolásgátló fékrendszerekben, gyújtógyertyákban, oxigénérzékelőkben
- repülőgép-hajtóművekben, turbinalapátokban
- orvoslásban: fogorvosi ötvözetekben, daganatos megbetegedéseket kezelő gyógyszerkészítményekben, szívritmus-szabályzóknak, beültetett defibrillátorokban.

Szilícium (Si)

Szürke, fémes, nagyon kemény anyag. Az oxigén után a földkéreg második leggyakoribb eleme, azonban elemi formában nem fordul elő, gyakorlatilag mindig oxigénnel együtt található. A finomított szilícium előállításának nagy része (60% körül, a 2010-2014 közötti időszak átlagában) Kínában történik. Ez mind a hazai, mind a globális fogyasztást meghaladó kitermelés. Emellett Európán kívül Brazília, Ausztrália, Dél-Afrika, Kazahsztán és Thaiföld a legfontosabbak, Európán belül Franciaország, Spanyolország, Németország, Norvégia, Bosznia-Hercegovina és Izland. Felhasználása:

- alumínium-ötvözetekben szilárdságnövelő anyagként alkalmazzák
- legfontosabb felhasználása az elektronikai iparban van: a számítógépek processzorait és egyéb chipjeit szilícium lapkák alkotják, rádió- televízió-alkatrészekben (tranzisztor) is megtalálható
- fényre érzékeny félvezetőként az egyik fő komponens a napelemek előállításában
- kohók gyártásában fontos
- építőiparban a terméskő, üveg, beton és cement elsődleges alkotóeleme
- kutatás-fejlesztés intenzív ágazatokban fontos felhasználási területei vannak a fotovoltaiikus termékek piacától az akkumulátoros alkalmazásokig.

Tantál (Ta)

Rendkívül korrózióálló ezüstös fém. Elemi állapotban nem fordul elő, ásványaiban általában a nióbiummal együtt található meg. Legfontosabb kitermelői a Kongói Demokratikus Köztársaság, Ruanda, Brazília és Kína. Felhasználása:

- elektronikában: elterjedt a használata elektronikus eszközök (pl. mobiltelefon) kondenzátorai-ban, nagy teljesítményű ellenállásokban, röntgensövek katódjaiban
- mivel az emlősökben nem vált ki immunreakciót a jelenléte, ezért előszeretettel alkalmazzák az orvostudományban implantátumként, csontok (például koponyalap) helyettesítésére, illetve idegek, izmok összekötésére is alkalmas
- korrózióállósága miatt alkalmazzák neonizzók elektródáiban, vagy speciális lencsebevonatként
- ötvözei extrém erősek, turbinalapátok, rakétafűvőkák, szuperszonikus repülőgépek orrsapkáinak alkotóeleme.

Volfrám (W)

A legmagasabb olvadáspontú fém, sűrűsége is nagy, kemény, jó elektromos vezető. Legfontosabb ásványai a wolframit és a scheelit, leginkább ezekből vonják ki (illetve a globális készletek mintegy 30%-a újra hasznosításból származik). Legfontosabb kitermelője Kína, a teljes termelés mintegy 80%-át adja. Ezen kívül még Ausztria, Bolívia, Kanada, Peru, Portugália, Oroszország, Thaiföld és egyes afrikai (pl. Kongói Demokratikus Köztársaság) országok bányásszák. Felhasználása:

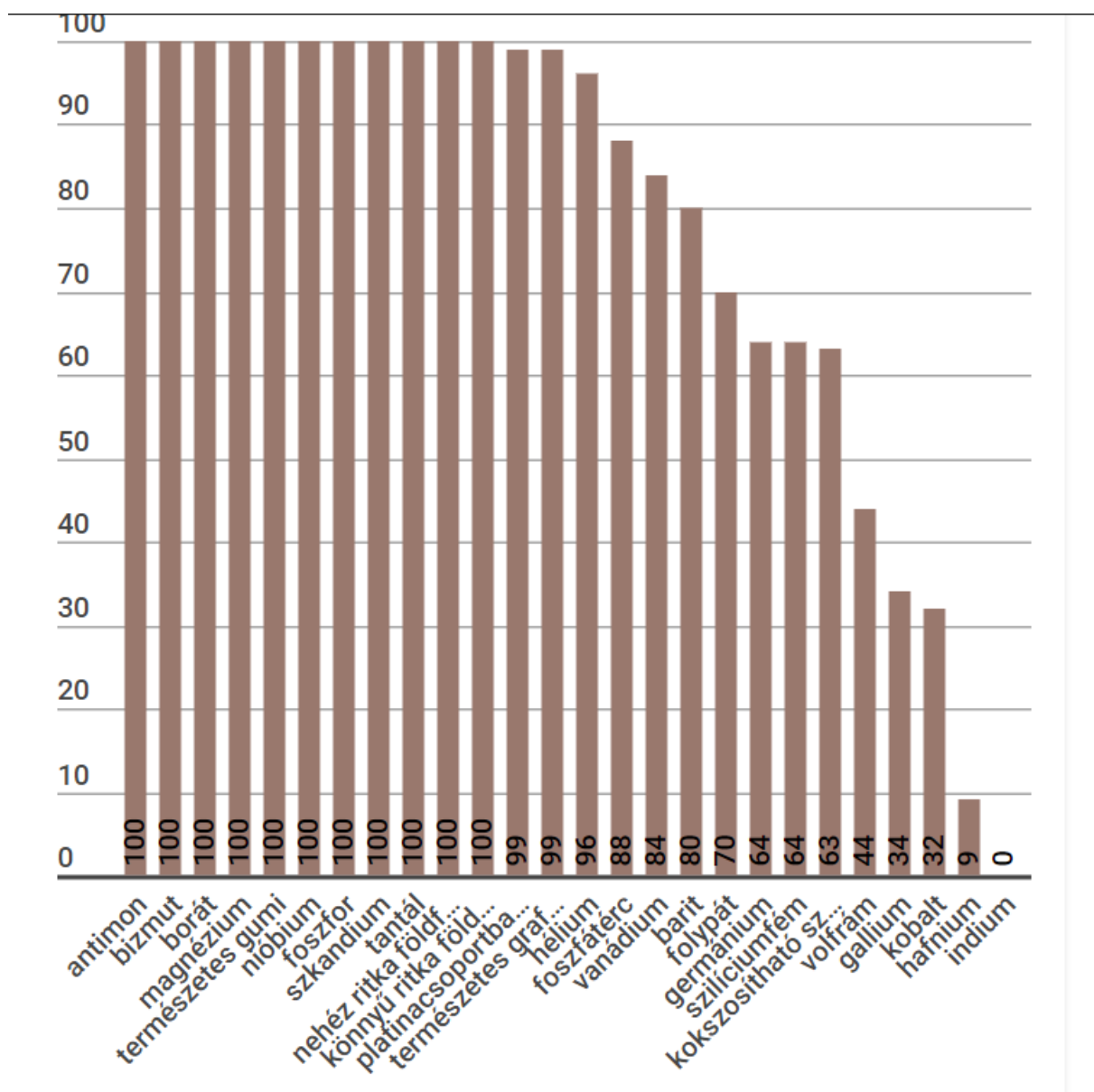
- ötvözeit más fémek szilárdítására használják, továbbá számos magas hőmérsékleten használt eszköz gyártásához is alkalmazzák, mint az ívhegesztő elektródák vagy magas hőmérsékletű kohók fűtőelemeivel kapcsolatban
- elektronikában eszközök bevonataként: autógyártásban, repülőgépgyártásban, orvostechikában, eszközgyártásban, erőmű-iparban
- karbidja rendkívül erős, ezért nagyon fontos szerepet tölt be a fémfeldolgozásban, bányászatban, és kőolajiparban is
- vágó- és fűróeszközök esetében is használják (pl. a „fájdalommentes” fogorvosi fűrókban).

Az Európai Unió importfüggősége

A kritikus fontosságú nyersanyagok számbavételével több kormányzati stratégiai anyag és gazdasági szervezetek elemzései is foglalkoznak, többek között az OECD Kereskedelmi és Mezőgazdasági Igazgatósága (Trade and Agriculture Directorate) készített néhány éve egy munkanyagot a stratégiai nyersanyagok exportkorlátozásairól, ennek a kereskedelemre és a globális ellátásra való hatásaira fókuszálva^[xliii]^[xliv].

Az EU bizonyos időközönként listát tesz közzé az Unió számára kritikus fontosságú nyersanyagokról az ellátási hiány kockázata, illetve a gazdaságra gyakorolt hatásuk jelentősége alapján. A legutóbbi ilyen közleményt éppen 2017-ben adta ki a Bizottság^[xlv] (előtte 2014-ben és 2011-ben készült hasonló). A lista elsődleges célja „azon nagy szállítási kockázattal és nagy gazdasági fontossággal bíró nyersanyagok azonosítása, amelyekhez való megbízható és zavartalan hozzáférés az európai ipar és értékláncok számára fontos.”^[xlv] Ez segíti az uniós szerveket egyrészt a nyersanyagimporttól való függőség enyhítéséhez szükséges beruházási igények azonosításában, másrészt a nyersanyagellátással kapcsolatos innováció támogatásának irányításában, harmadrészt pedig felhívja a figyelmet a kritikus fontosságú nyersanyagok gazdasági jelentőségére. A hosszú távú cél pedig a kritikus fontosságú nyersanyagok európai termelésének ösztönzése lenne, amennyiben erre van lehetőség – illetve amennyiben nincs, úgy az újrafeldolgozás révén történő készletfelhalmozás. A biztonságos nyersanyagellátás ugyanis stratégiai gazdasági érdeke az Uniónak.

Az idei lista 27 nyersanyagot (illetve nyersanyagcsoportot) azonosít kritikus fontosságúnak (ez minden eddigénél több, 2011-ben még csak 14 elem szerepelt a listán, 2014-ben pedig 20), melyek több mint a felének (14) importfüggőségi aránya 95% feletti.



A stratégiai nyersanyagok importfüggőségi aránya az Európai Unióban (2014, %) Importfüggőségi arány=nettó EU import / (nettó EU import + uniós belső termelés)

Forrás: Saját szerkesztés. Adatok forrása: EURÓPAI BIZOTTSÁG (2017): A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának az EU számára kritikus fontosságú nyersanyagok 2017. évi listájáról. Brüsszel, 2017.9.13. COM (2017) 490 final

Összefoglalás

A 21. században a gazdasági kérdések kapcsán gyakran háttérbe szorul a primer szektor jelentősége (ide tartozik a mezőgazdaság mellett a bányászat is), sokkal hangsúlyosabb a szekunder szektor (ipar), a terciér (szolgáltatások), illetve a kvaterner szektor (kutatás-fejlesztés, „információs ipar”). Azonban nem szabad elfelejteni, hogy a globális értékláncokban igen fontos szerepet játszanak a nyersanyagok, ugyanis ezek jelentik az ipari termelés alapját (az ipar által előállított eszközök pedig a kereskedelem és egyéb szolgáltatások, valamint a további kutatás-

fejlesztés alapját). Sőt, éppen a modern technológia és a különböző ipari innovációk hajtják fel a különböző nyersanyagok iránti keresletet, teszik azokat egyre fontosabbá. A fent bemutatott átfogó képet nyújtó lista alapján pedig kiderül, hogy ezeknek a stratégiai nyersanyagoknak a kitermelése sok esetben néhány országban koncentrálódik csupán, ennek pedig fontos geoökonomiai hatásai lehetnek, következésképpen, minden ország gazdaságstratégiájában fontos szerepet kell kapnia ezen tényezők számbavételének. Az erőforrásokhoz való hozzáférés ugyanis még ma, a 21. században is a további gazdasági fejlődés egyik fontos alapját képezi

Források

- BRADSHER, Keith (2010): China Said to Widen Its Embargo of Minerals. In: The New York Times, Oct. 19. 2010. <http://www.nytimes.com/2010/10/20/business/global/20rare.html>
- CHEN, Zhangeng (2011): Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry. In: Journal of Rare Earth, Vol 29, No. 1. Jan. 2011. 1–6. o.
- Critical Raw Materials Alliance. <http://criticalrawmaterials.org>
- CSÁKVÁRI Béla (1999): Szervetlen kémia. A d-mező elemeinek vegyületei. In: Michalovszky Csabáné (szerk.) (1999): Kémia III. Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. Budapest, 1999.
- CSÉFALVAY Zoltán (2017): A nagy korszakváltás. Kairosz Kiadó, Budapest.
- DE LA FUENTE, Jesus: Graphene – What Is It? <https://www.graphenea.com/pages/graphene#.WjeabVXiaHs>
- DOBOSI Gábor, TÖRÖK Kálmán (2012): Ritkaföldfémek geokémikus szemmel. In: Magyar Tudomány 2012/5. 541–553. o.
- EPA (2012): Rare earth elements: a review of production, processing, Recycling, and Associated Environmental Issues. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- EURÓPAI BIZOTTSÁG (2017): A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának az EU számára kritikus fontosságú nyersanyagok 2017. évi listájáról. Brüsszel, 2017.9.13. COM(2017) 490 final
- GOLEV, Artem, SCOTT, Margaretha, ERSKINE, Peter D., ALI, Saleem H., BALLANTYNE, Grant R. (2014): Rare earths supply chains: Current status, constraints and opportunities. In: Resources Policy, 2014/41. 52–59. o.
- HANULA Zsolt (2011): Így tartja markában Kína a hitech ipart. In: Index, 2011.08.02. http://index.hu/tudomany/2011/08/02/igy_tartja_markaban_kina_a_hitech_ipart/
- KORINEK, Jane, JEONGHOL, Kim (2010): Export Restrictions on Strategic Raw Materials and Their Impact on Trade. OECD Trade Policy Papers, No. 95, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5kmh8pk441g8-en>
- OECD (2014): Export Restrictions in Raw Materials Trade: Facts, fallacies and better practices. <http://www.oecd.org/tad/benefitlib/export-restrictions-raw-materials-2014.pdf>
- Royal Society of Chemistry. <http://www.rsc.org/>
- SMITH, Hugh, JEFFERSON, Mike, WEEKS, Jeff, DAY, Gordon, SWIERCZYNSKA, Natalia (2012): Strategic Raw Materials, Recovery and Technologies. WRAP, IMT002-001 Final Report. United Kingdom.
- The Economist (2017): The world's most valuable resource is no longer oil, but data. May 6th 2017. <https://www.economist.com/news/leaders/21721656-data-economy-demands-new-approach-antitrust-rules-worlds-most-valuable-resource>
- TOONDERS, Yoris (2014): Data Is the New Oil of the Digital Economy. In: Wired, 2014/7. <https://www.wired.com/insights/2014/07/data-new-oil-digital-economy/>

Hivatkozások

- [i] CSÉFALVAY Zoltán (2017): A nagy korszakváltás. Kairosz Kiadó, Budapest.
- [ii] The Economist (2017): The world's most valuable resource is no longer oil, but data. May 6th 2017. <https://www.economist.com/news/leaders/21721656-data-economy-demands-new-approach-antitrust-rules-worlds-most-valuable-resource>
- [iii] TOONDERS, Yoris (2014): Data Is the New Oil of the Digital Economy. In: Wired, 2014/7. <https://www.wired.com/insights/2014/07/data-new-oil-digital-economy/>
- [iv] CSÁKVÁRI Béla (1999): Szervetlen kémia. A d-mező elemeinek vegyületei. 163–168. o. In: Michalovszky Csabáné (szerk.) (1999): Kémia III. Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. Budapest, 1999.
- [v] GOLEV, Artem, SCOTT, Margaretha, ERSKINE, Peter D., ALI, Saleem H., BALLANTYNE, Grant R. (2014): Rare earths supply chains: Current status, constraints and opportunities. In: Resources Policy, 2014/41. 52–59. o.
- [vi] GUPTA, C. K., KRISHNAMURTHY, N. (2005): Extractive Metallurgy of Rare Earths. CRC Press.
- [vii] GOLEV, Artem, SCOTT, Margaretha, ERSKINE, Peter D., ALI, Saleem H., BALLANTYNE, Grant R. (2014): Rare earths supply chains: Current status, constraints and opportunities. In: Resources Policy, 2014/41. 52–53. o.
- [viii] <http://www.bgs.ac.uk/mineralsUK/statistics/wms.cfc?method=listResults&dataType=Production&commodity=119&dateFrom=2005&dateTo=2015&country=&agreeToTsAndCs=agreed>
- [ix] CHEN, Zhangeng (2011): Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry. In: Journal of Rare Earth, Vol 29, No. 1. Jan. 2011. 2–3. o.
- [x] EPA (2012): Rare earth elements: a review of production, processing, Recycling, and Associated Environmental Issues. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- [xi] GOLEV ibid. p. 56.
- [xii] HANULA Zsolt (2011): Így tartja markában Kína a hitech ipart. In: Index, 2011.08.02. http://index.hu/tudomany/2011/08/02/igy_tartja_markaban_kina_a_hitech_ipart/
- [xiii] BRADSHAW, Keith (2010): China Said to Widen Its Embargo of Minerals. In: The New York Times, Oct. 19. 2010. <http://www.nytimes.com/2010/10/20/business/global/20rare.html>
- [xiv] DOBOSI Gábor, TÖRÖK Kálmán (2012): Ritkaföldfémek geokémikus szemmel. In: Magyar Tudomány 2012/5. 541–553. o.
- [xv] CHEN ibid. 2–3. o.
- [xvi] EPA ibid. 2–6. o.
- [xvii] SMITH, Hugh, JEFFERSON, Mike, WEEKS, Jeff, DAY, Gordon, SWIERCZYNSKA, Natalia (2012): Strategic Raw Materials, Recovery and Technologies. WRAP, IMT002-001 Final Report. United Kingdom.
- [xviii] KORINEK, Jane, JEONGHOL, Kim (2010): Export Restrictions on Strategic Raw Materials and Their Impact on Trade. OECD Trade Policy Papers, No. 95, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5kmh8pk441g8-en> 7–8. o.
- [xix] Ibid.
- [xx] Ibid. 8. o.
- [xxi] Critical Raw Materials Alliance (2016): Antimony. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/antimony/>
- [xxii] Critical Raw Materials Alliance (2016): Beryllium. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/beryllium/>
- [xxiii] Beryllium.com: Uses & Applications of Beryllium. <https://beryllium.com/uses-and-applications>
- [xxiv] Royal Society of Chemistry: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/47/silver>
- [xxv] Critical Raw Materials Alliance (2016): Gallium. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/gallium/>

- [xxvi] Critical Raw Materials Alliance (2016): Germanium. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/germanium/>
- [xxvii] Critical Raw Materials Alliance (2016): Graphite. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/natural-graphite/>
- [xxviii] DE LA FUENTE, Jesus: Graphene – What Is It? <https://www.graphenea.com/pages/graphene#.WjeabVXiaHs>
- [xxix] Critical Raw Materials Alliance (2016): Indium. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/indium/>
- [xxx] Critical Raw Materials Alliance (2016): Cobalt. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/cobalt/>
- [xxxi] Critical Raw Materials Alliance (2016): Chromium. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/chromium/>
- [xxxii] Royal Society of Chemistry: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/3/lithium>
- [xxxiii] Critical Raw Materials Alliance (2016): Magnesite. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/magnesite/>
- [xxxiv] Critical Raw Materials Alliance (2016): Magnesium. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/magnesium/>
- [xxxv] Royal Society of Chemistry: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/25/manganese>
- [xxxvi] Royal Society of Chemistry: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/42/molybdenum>
- [xxxvii] Royal Society of Chemistry: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/28/nickel>
- [xxxviii] Critical Raw Materials Alliance (2016): Niobium. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/niobium/>
- [xxxix] Critical Raw Materials Alliance (2016): PGMs. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/pgms/>
- [xl] Critical Raw Materials Alliance (2016): Silicon Metal. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/silicon-metal/>
- [xli] Royal Society of Chemistry: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/73/tantalum>
- [xlii] Critical Raw Materials Alliance (2016): Tungsten. 10th May 2016. <http://criticalrawmaterials.org/tungsten/>
- [xliii] KORINEK et. al. Ibid.
- [xliv] OECD (2014): Export Restrictions in Raw Materials Trade: Facts, fallacies and better practices. <http://www.oecd.org/tad/benefitlib/export-restrictions-raw-materials-2014.pdf>
- [xlv] EURÓPAI BIZOTTSÁG (2017): A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának az EU számára kritikus fontosságú nyersanyagok 2017. évi listájáról. Brüsszel, 2017.9.13. COM(2017) 490 final
- [xlvi] Ibid, 2. o.

Nemesfémek³ - érdekes jellemzők, tényezők röviden

Az aranyat (**latin neve Aurum, vegyjele Au**) már az újkőkorszak óta használják ékszerkészítési alapanyagnak, hiszen akkori eleink ezt a különleges színű, és az akkori viszonyok között az olvasztáson kívül mindennek ellenálló fémeket szinte elemi formájában, természetesként folyók és patakok torlataiból és fővenyéből kis szerencsével, vagy helyismerettel és kis energia befektetéssel megszerezhették.

Mindezek mellett azonban az arany már a kezdetektől komoly értékőrző és vagyonképző szerepet játszott tekintve, hogy a relatív könnyű megmunkálhatóság és a megfelelő ritkaság találkozott benne az ellenállósággal, a tartóssággal. Nem volt sem túl ritka, sem túl gyakori alapanyag ahhoz, hogy az emberiség bármely kultúrájában ne az uralkodó réteg privilégiuma legyen annak birtoklása, pláne viselése.

A dél-amerikai prekolumbián társadalmakban a nap verejtékét sok esetben kizárólag az isteni származású uralkodó használhatta, sőt birtokolhatta. Ez lett a végzete az utolsó Azték uralkodónak és vele a teljes birodalmának is. Montezumát is végső soron mérhetetlen aranykincséért ölték meg a Hernán Cortés által vezetett spanyol konkvisztádorok, hiszen birodalma aranykészletének jelentős része az ő kincstárában koncentrálódott.

Az ókori Egyiptomban az aranyat a Ré által isteni hatalmat szimbolizáló nappal, amit pedig a mindenkori Fáraóval hoztak összefüggésbe.

Az antik Görögország városállamaiban az ezüstpénzek használata volt általános, az aranyat kezdetben nem használták pénzkészítésre. Ennek az volt az oka, hogy a napsárga fémnek túl nagy volt az értéke ahhoz, hogy a mindennapi kereskedelemben használhassák. Ez csak a szemléletesség kedvéért olyan, mintha valaki azt remélné, hogy egy egymillió forintos címletű pénzből a sarki boltban visszaadnak neki. Ennek ellenére Athénban Kr. e. 407-ben mégis elkezdtek aranypénzt verni. A peloponnészoszi háború miatt a város ezüst tartaléka elfogyott, ezért szükségből beolvasztották Pallas Athéné templomának, saját városállamukkal azonosított istennőjük aranykincseit.

A rómaiak már szinte iparszerűen bányászták az aranyat, melynek során az olcsó rabszolga munkaerő és a folyók vizének elemi ereje segítségével egész hegyeket omlasztottak be és mosták el a meddő kőzeteket azért, hogy hozzáférjenek.

Az arany az egyetlen fém, melynek színe ötvözőanyagok hozzáadásával jelentősen megváltoztatható. Így beszélhetünk sárga, vörös és fehéraranyról is. De akár zöld, ha pedig színvassal ötvözzük, akkor kék aranyról is, de ez inkább az érdekesség kategória, gyakorlati jelentősége nincs, hiszen az ilyen ötvözet rendkívül rideg, ráadásul kopásra kifestődik.

Az ezüst (**latin neve Argentum, vegyjele: Ag**) története szorosan összefonódik az aranyéval, hiszen az ezüst is előfordul elemi formában. Jellegzetes fehér fényt már az ókori elődeink is a holdéhoz hasonlították, mely jó ellenpontja volt az arany napsárga színének. Először csak ékszereket és nagyobb reprezentatív használati tárgyakat készítettek belőle, később pedig már a pénzek alapanyagának is használták. Az egyiptomi Óbirodalomban, amikor alapanyagként még csak az elemi formát, a természetes ezüstöt ismerték, a két fém értéke megegyezett. Később, mikor felfedezték a vegyületekből való előállítását, az ezüst értéke csökkenni kezdett az

³ Forrás: [Nemesfémek története és érdekességei - Blog - Becsei Jewelry \(becsei-ekszer.hu\)](http://becsei-ekszer.hu)

aranyhoz viszonyítva. Az Újbirodalom első időszakában jellemzően 1:2 volt az értékarány az arany javára, ami III. Ramszesz idején (kb. Kr. e. 1200 körül) rövid idő alatt hirtelen lecsökkent.

Az azonos súlyú színezüst és színarany értékarányát I. Dareiosz perzsa király i.e. 500 körül rögzítette először. Akkor 1 rész színarany már 13,5 rész színezüstnek felelt meg. Ez az arány sokáig meg is maradt.

Rómában Kr. e. 217-ben vertek először ezüstpénzt. Az ókorban az ezüst Perziából (Irán) és Indiából, de legfőképp Spanyolországból származott.

A középkorban ezen lelőhelyeken kívül ezüstöt bányásztak még Szászország, Csehország és Tirol területén is.

Az amerikai kontinens felfedezése óta a legtöbb ezüst mind a mai napig az Újvilágból származik.

A középkor folyamán 1g arany 13g ezüstnek felelt meg, 1895-ben 28g-nak, 1939-ben már 77g-nak. 2008 végén kirobban amerikai ingatlan hitelválság idejére pedig 1g színarany értéke 65g színezüstének környékén mozgott, napjainkban (2023) pedig 1g színarany értéke kb. 71g színezüstére emelkedett. A színarany és a színezüst különböző arányokban történt összeolvasztásai által létrejött ötvözetek használata is gyakorlatilag ezen fémek felhasználásával egyidős.

A föníciaiak például előszeretettel használták a 75% arany és 25% ezüst összetétel környéki arányt ékszereik készítésekor.

A görögök is arany-ezüst ötvözetet használtak, mely általában 80% aranyat és 20% ezüstöt tartalmazott, és az ilyesmi arányú ötvözeteket elektrum-nak/elektron-nak/elektron-nak nevezték. Elektrum pénzérmeiket már a lüdiaiak is vertek a Kr.e. VI. században. Ez a kb. 4 rész arany: 1 rész ezüst arány ma már régóta nem szabványos, tehát nem fémjelezhető.

Manapság több adalék fém is engedélyez a magyar fémjelzési törvény. Ezek a réz, a nikkel, és a palládium.

Az arany és az ezüst is természetesen ezeken kívül sok más fémmel ötvözhető még, az így keletkezett ötvözetek viszont semmilyen formában nem kerülhetnek ékszerészeti kiskereskedelmi forgalomba, mivel a hatályos magyar fémjelzési törvény tiltja ezek használatát.

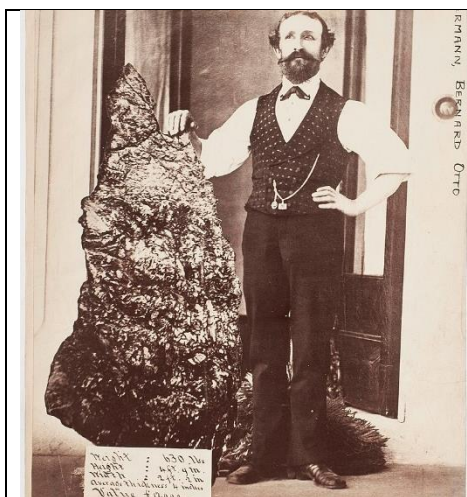
A Platina (**vegyjele Pt**) szürkés színű, rendkívül nehéz nemesfém, a róla elnevezett elemcsoport, a platinafémek első tagja a periódusos rendszerben. A természetes eredetű szennyezett platinát – nem szándékosan ugyan – de már az ősi egyiptomi mesterek is használták ezüst helyett, azzal összetévesztve. Az ecuadori indián törzsek pedig ékszereket készítettek belőle már a spanyol hódítók érkezése előtt is. 1736-ban *“de Ulloa* spanyol csillagász és tengerésztiszt egy megmunkálhatatlan fémre figyelt fel a mai Kolumbia egyik aranybányájában, amelyet „*platina*” névvel illetett (az ezüst spanyolul plata, a platina szó pedig „*kicsi ezüstöt/ezüstöcskét*” jelent).

A világ platina termelésének 98%-a 3 országból származik: a korábbi Szovjetunió utódállamaiból 49%, a Dél-afrikai Köztársaságból 43%, míg Kanadából 6% származik.

Az arany ugyanúgy fénylik, mint hétezer éve

Az ókori egyiptomiak a „Napisten húsának”, az inkák a „nap verejtékének”, a perzsák az „Istene vetésének” tartották az aranyat. Indiában „ásványi fénynek” hívták, a nyugati filozófusok a világegyetem isteni értelmének leképezését vélték felfedezni benne, a kínaiak pedig a Yang, vagyis a nap és a férfierő szimbólumaként tekintenek rá. Az arany évezredek óta a vágyakozás, sóvárgás tárgya, a gazdagság jelképe, kockázatos, számtalan ember életét követelő vállalkozások mozgatórugója, a királyok fémé és a fémek királya. Utóbbit fizikai tulajdonságainak köszönheti, hiszen 1064 °C-os olvadáspontja, és az oxidációnak, kémiai anyagoknak való ellenálló képessége miatt szinte elpusztíthatatlan, csak a királyvíz oldja. Ugyanakkor jól munkálható, 1 gramm arany 2 km huzallá nyújtható, így újra és újra felhasználva, a történelem során kibányászott arany mennyiség jelentős része ma is kering a világban.

A sárga fém értékét növeli, hogy a földkéreg egyik legritkább eleme, csupán 0,0048 gramm/tonna koncentrációban fordul elő 15 km-es vastagságban. A világ legnagyobb tömegű aranypéldányára 1872-ben bukkantak az ausztrál Victoria aranymezőn. A 286 kg-os Holtermann-féle óriásrög a becslések szerint 93 kg aranyat tartalmazott, de mivel valójában egy arannyal bevont kvarctömb volt, nem tekintik a valaha talált legnagyobb aranyrögnek. Ezt a hírnevet az 1869-ben, szintén Ausztráliában talált „Welcome Stranger” névre keresztelt rög tudhatja magáénak, mely 72 kg-os tömegével csupán 3 cm-rel lapult a felszín alatt.



A Holtermann-féle aranyrög
Forrás: Wikimedia Commons



A Welcome Stranger aranyrög
Forrás: Wikimedia Commons

Az arany sikere az időszámításunk előtti 5-6. évezred óta töretlen, függetlenül attól, hogy milyen funkciót tölt be. Amellett, hogy ékszerként testünket díszíti, jelen van az orvostudományban, az űrkutatásban, vagy kiváló vezetőképessége révén az elektronikai termékekben. Érték-hordozó és értékmegőrző tulajdonságának köszönhetően fizetési, forgalmi és felhalmozási eszközként szolgált a történelemben. Az első uralkodó, aki arany – és ezüst – pénzérték veretésével megteremtette a valódi pénzt, az emberiség egyik legszilárdabb értékteremtőjét, a gazdagságáról legendás kis-ázsiai Krózus király volt i.e.550 körül. Az arany azóta sem veszített hatalmából, és stabilizációs szerepe miatt ma sokkal inkább a jövő biztosítékaként szolgál, mint valaha.

A legkorábbi civilizációk idején az arany főként szépségének és ragyogásának köszönhetette varázsát. A távol-keleti Kínában az első ismert aranytárgyak a Sang-dinasztia (i.e.17-11.sz.)

idejéből származnak, de az ókori Egyiptomban, ahol az örökkévalóság és a halhatatlanság szimbólumává vált, már i.e.5000 környékén készítettek belőle díszes tárgyakat, ékszereket, amuletteket és vallási tárgyakat. A Núbiában hatalmas mennyiségben kitermelt élénk fényű fém a fáraók kincstárát gazdagította, melyből III. Thotmesz fáraó mintegy 13,5 tonna aranytárgyat ajándékozott a karnaki templomegyüttesnek, ahol saját maga istenítésére és őskultusza ápolására saját templomot emeltetett. Az arany az Indus-völgyi civilizációban és a sumér kultúrában is szent jelleget tulajdonítottak, miközben a gazdagsággal és a társadalmi rend jelképével azonosították azt.

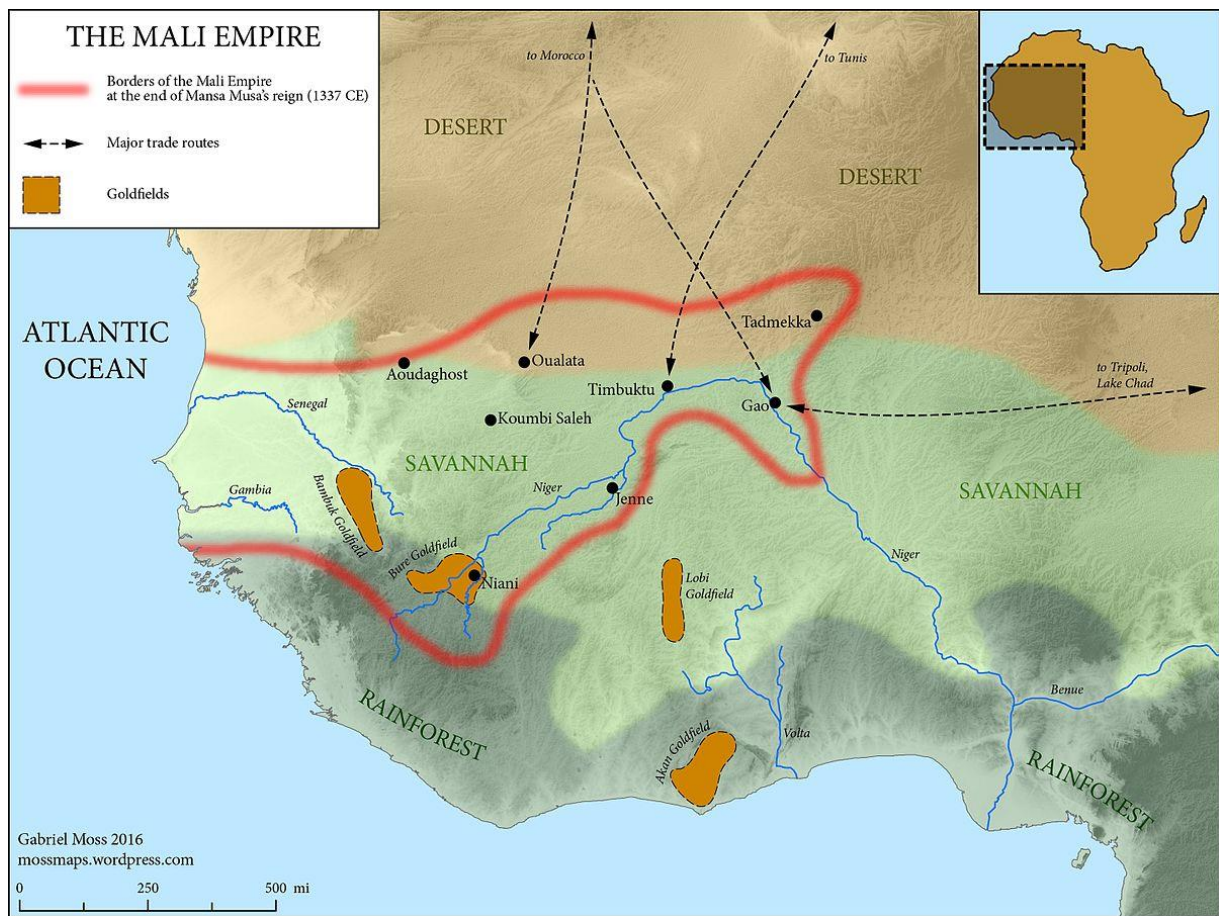
Aranyból az ókori Görögországban is volt bőven, a Pangaion-hegy bányáiból évente 37 tonnányit termeltek. Ezen felül importáltak a Kaukázus vidékéről, köztük a mai Örményország területéről, melynek bányáit bár Nagy Sándor szerette volna magáénak tudni, de kísérlete kudarcba fulladt. A perzsák elleni hadjárata viszont meghozta gyümölcsét i.e. 333-ban, a megkaparintott aranyat és ezüstöt 7000 málhásállat vontatta Isszoszba. Szúza és Perszepolisz bevételével további több tízezer talentum aranyhoz jutott, melynek egy részét katonái között osztotta szét. Uralkodása alatt akkora mennyiségű arany gyülemlett fel a Mediterráneumban, hogy halálával bekövetkezett a világtörténelem első nagy inflációja.

Az ókori Római Birodalomban az arany már nem az istenek féme volt, hanem a földi hatalom és tekintély szimbóluma. Mivel Itáliában nem állt rendelkezésre, a nemesfémeket főként Hispániából hozták, 250 év alatt összesen mintegy 960 tonnányit. A bányák – köztük a Nyugatrómai Birodalom hanyatlásával felemelkedő Konstantinápolyt ellátó keleti lelőhelyek – kimerülése azonban krónikus aranyhiányhoz vezetett a kora középkorra, így tartalékaiból merítve, a Bizánci Birodalom kénytelen volt beolvasztani a régi aranyékszereket. Az arany körforgása az arab hódításokkal indult újra, de az aranyfelhalmozás gyakorlata a VIII. századtól mind Nyugaton, mind pedig Keleten alábbhagyott. Nyugat-Európában lelassult az aranybányászat, és csak a XI. századtól kezdődően lendült fel a jelenkori Franciaország, Olaszország, Nagy-Britannia, Németország, Csehország és Magyarországon aranybányáiban. Ebben az időben a Kárpát-medence felvidéki településein, Besztercebányán és Kőrmöcbányán bányászták a legjobb minőségű aranyat az egész világon. Magyarország a 16. századig vezető pozíciót töltött be az európai aranytermelésben, melyből a 13. század második felében 83%-ra becsülik részesedésünket. Bányáink a 14. század végére 2500 kg aranyat termeltek évente.

A középkori virágzó kereskedelem fűtötte az arany iránti éhséget, melyet az 1400-as évek végén először a portugálok igyekeztek csillapítani azzal, hogy a nyugat-afrikai Aranypartig lehajózva ráteszik a kezüket Ghána aranyára és kereskedelmi telepeket hoznak létre. Gazdag lelőhelyeinek és a transzszaharai kereskedelemben betöltött szerepének köszönhetően Ghána az arany földjeként volt ismert, egyúttal évszázadokig az arany-, az elefántcsont- és a rabszolga-kerkedelem központja lett. A szárazság és a háborúk következtében azonban a karavánutak fokozatosan a virágzásnak induló Mali Birodalom ellenőrzése alatt tartott Timbuktu és Valáta (Oualata) felé tolódtak. Abban az időben a Mali Birodalom termelte Afrika, Európa és Ázsia aranyának közel felét, de a gazdagságban a rendkívül kelendő sónak is nagy szerepe volt. A törvényeknek megfelelően minden az uralkodó kizárólagos tulajdonát képezte, így II. Abu Bakrnak volt miből költenie az olyan expedíciókra, mint amikor 200 hajóból álló flottát indított, hogy megtudja, van-e az Atlanti-óceánnak túlsó partja. Miután egyetlen hajó sem tért vissza, ő maga is útra kelt az ismeretlenbe, ekkor látták utoljára. Vannak történészek, akik szerint a flotta elérhette Brazília partjait, következésképp, hogy 200 évvel Kolumbusz előtt felfedezték az Újvilágot. A többségi álláspont ugyanakkor nem találta megalapozottnak ezt a feltevést.

Bár II. Abu Bakr története sokak fantáziáját megmozgatta, a Mali Birodalom leghíresebb uralkodója mégsem ő, hanem utóda, Musza mansza, akit minden idők leggazdagabb személyének

tartanak. Vagyonát egyesek 400 milliárd USD-ra becsülik, de akkora lehetett, hogy a gazdaságtörténészek szerint lehetetlen számszerűsíteni. Musza mansza dúsgazdagsága akkor ment hírül a világban, amikor 1324-ben hívő muszlimként Mekkába indult zarándoklatra. Mindezt nem egyedül tette, 60 000 – perzsa selyembe öltöztetett – alattvalót, köztük 12 000 rabszolgát és 500 fős testőrséget vitt magával a Szaharán keresztül vezető útra, mely során számos kísérője életét vesztette. Musza mansza a teljes karaván ellátásáról gondoskodott. Kincseit nemcsak a rabszolgák, hanem állatok, köztük 80 tevé cipelte, egyenként 23-136 kg-ot. Az uralkodó iszlám tudósokat, építészeket, költőket „vett meg”, hogy menjenek vele vissza a Maliba. A források szerint volt olyan, akinek ezért 200 kg aranyat fizetett. Amerre járt, aranyat osztott a szegényeknek, és temérdek szuvenírt vásárolt, többségét Kairóban, ahol a szultánt meglátogatva több hónapot töltött.

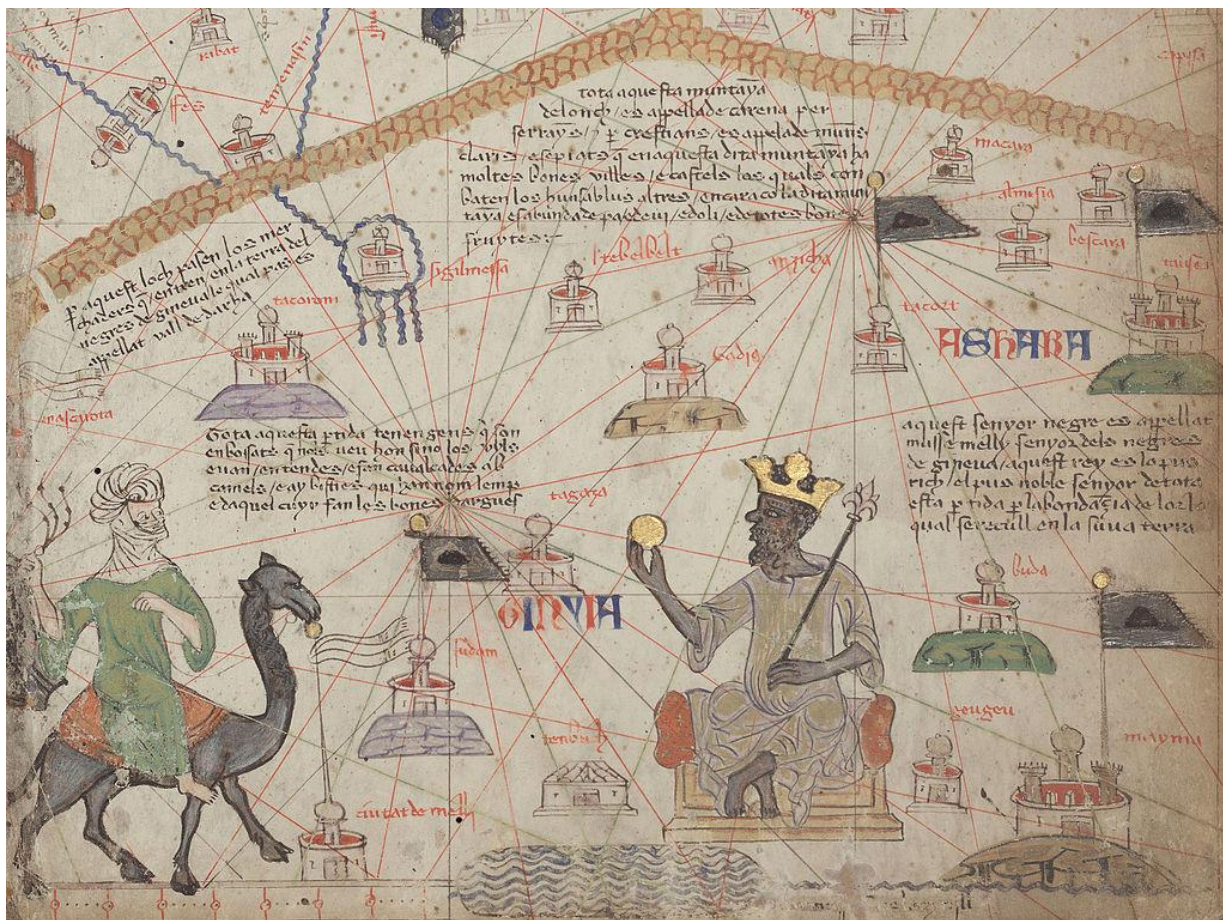


A Mali Birodalom és a transzszaharai főbb kereskedelmi útvonalak

Forrás: Wikimedia Commons

Musza mansza bőkezű ajándékaival és masszív költekezésével akkora mennyiségű arany került a piacra, hogy az a nemesfém leértékelődéséhez és 12 évig tartó recesszióhoz vezetett. A hazafelé tartó úton az uralkodó tetemes kölcsönt vett fel egyiptomi hitelezőktől, azt azonban nem tudni, hogy ezzel az általa okozott inflációt igyekezett-e enyhíteni, vagy a túlköltekezés miatt egyszerűen csak kifogyott a magával vitt aranyból. Egy ekkora recesszió kiváltása akár szándékos is lehetett. Abban az időben Kairó volt a vezető aranypiac, így ahhoz, hogy Timbuktu vagy Gao vegye át ezt a szerepet, Musza manszának be kellett döntenie az egyiptomi gazdaságot. Elképzelhető azonban, hogy az uralkodó csupán bámulatra vágyott, így nem vezérelte más, minthogy tanúbizonyságot tegyen mesés gazdagságáról. Ezt sikerült is elérnie, mind az iszlám,

mind a keresztény világ tudomást szerzett róla. Az 1375-ben készült Katalán Atlaszban aranytrónon, fején aranykoronával, kezében jogarral és arany glóbuszal ábrázolták Timbuktu tetején ülve, mely az afrikai El Doradoként került be a köztudatba. Az aranyéhség évszázadokon át ugyanúgy vonzotta a kalandorokat Timbuktuba, mint ahogy az Kolumbusz expedícióinak és a nagy földrajzi felfedezéseknek mozgatórugójaként szolgált.



A Musza manszát ábrázoló részlet a Katalán Atlaszból

Forrás: Wikimedia Common

Az El (Hombre) Dorado kifejezést, mely annyit tesz, mint bearanyozott ember vagy aranyember, a muiszka bennszülött indiánok mitikus törzsfőnökének leírására használták a spanyolok a 16. században. Úgy tartották, hogy a Bogotá közelében élő, aranyforrásokban bővelkedő törzs megválasztott királyának egy beavató szertartáson kellett átesnie, melynek során testét arannyal borítva, belemerült a Guatavita-tóba. Hogy adózzon a szent tó fenekén élő démonoknak, a törzsfőnök smaragddal díszített ékszereket, arany dísztárgyakat és más értékes felajánlásokat dobott a vízbe egy tutajon állva. Miután a felfedezők az 1500-as években aranyat találtak a tóban hitelt adva az elbeszéléseknek, több kincskereső próbálkozást követően az 1800-as évek végén végül lecsapolták a tavat. A négy láb mély sár és iszap azonban lehetetlenné tette az aranykeresést, aminek az tett be igazán, hogy a napon kiszáradt laza üledék gyakorlatilag betonná keményedett.

A spanyolok nem akarták elhinni, hogy az „igazi” El Doradot a tó mélyén rejtőző arany testesíti meg, így egy másik történettel összekapcsolódva, a fogalomhoz kapcsolt jelentéstartalom hamar egy mitikus várossá, királysággá, végül pedig egy birodalomná nőtte ki magát, melyet az európai konkvisztádorok mélyen az Amazonas-medencében kerestek. A legenda szerint a

Parime nevű tó partján állt egy mesés gazdagságú város, Manoa, ahová az inkák utódai menekültek. A Kolumbusz előtti népek, nemcsak az inkák, hanem az aztékok és maják is rengeteg aranyat használtak vallási szertartásokra és díszítésre. A kincsek utáni mohóság nagy számban vonzotta a hódítókat, kalandorokat és tudósokat, akik expedícióik során feltérképezték Dél-Amerika északi részének nagy részét, beleértve az Amazonast. Az elveszett várost ugyan sosem sikerült megtalálni, de a konkvisztádorok rengeteg aranytárgyat zsákmányoltak, melyek többségét beolvasztották, és aranyrudakba öntve Spanyolországba szállították. A prekolumbián civilizációk megmaradt alkotásaiból álló 34 000 darabos gyűjteményt a bogotái Arany Múzeumban őrzik.

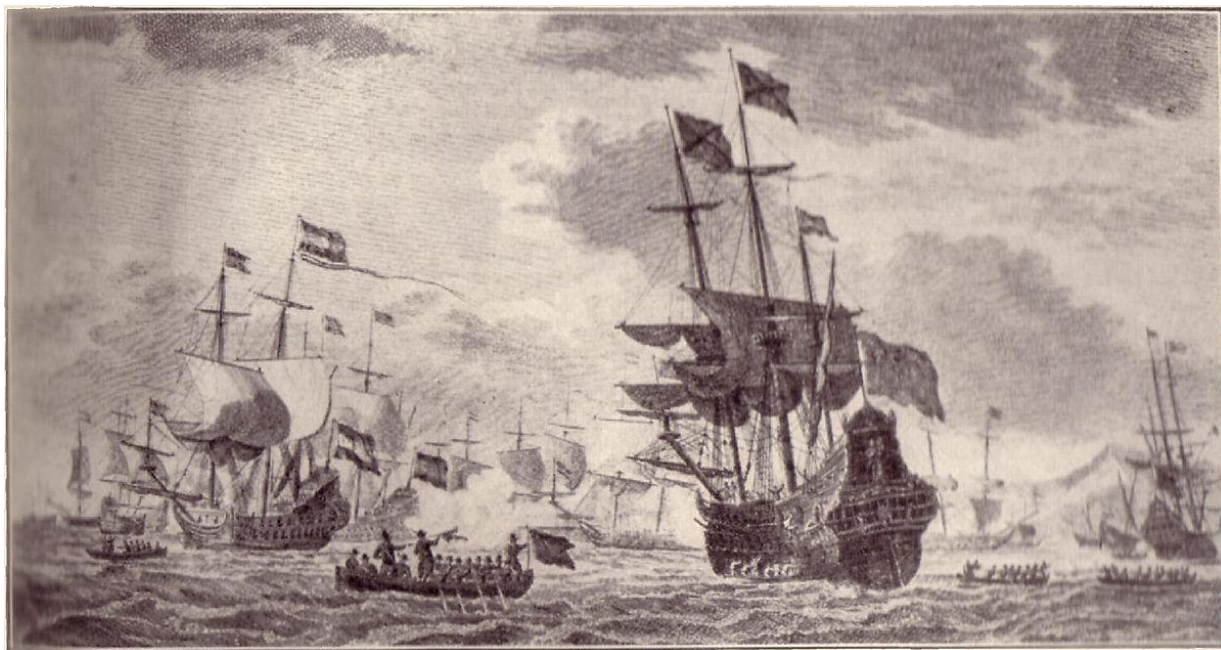


A muiszka beavató szertartást, egyben El Dorado legendáját szimbolizáló aranytutaj, melyet a kolumbiai Pascaban találtak 1856-ban

Forrás: Wikimedia Commons

A dél-amerikai aranybányákat a portugálok is apasztották Brazília Minas Gerais vidékén, az aranyláz egyik fontos színhelyén. Érdekes azonban a spanyoloknál maradni, mivel azok esetében a hegemoniakísérlet szoros összefüggésben áll a gyarmatokról hatalmas mennyiségben beáramló nemesfémekkel. Az aztékok és inkák meghódítása jelentős, de „egyszeri” aranykészlet-szerzést jelentett a spanyoloknak. Az iparosodás előtti agrártársadalmakban, ahol még nem volt klasszikus értelemben vett ipari tőke, ugyanakkor pont az volt a kérdés, hogy hogyan lehet rendszeres likvid jövedelemre szert tenni. A Potosi-hegy felfedezése a mai Bolíviában, mely lehetővé tette az ezüstkitermelés forradalmasítását, megoldotta ezt a problémát. A világ legnagyobb ezüstlelőhelyéről kiszivattyúzott több ezer tonna nemesfémeket egyszerre be lehetett csatornázni a hegemonia támpillérét adó hadseregbe. Tágabb értelemben vett gazdasági célok és

iparfejlesztés hiányában azonban a beáramlás negatív oldala idővel megmutatkozott. Az adott árutömeg fölött megnövekvő pénzmennyiség pénzinflációs nyomást eredményezett, melynek következtében a spanyolok versenyképtelenné váltak más európai hatalmakkal szemben. A nemesfém felesleget a külföldi áruk szívták fel. Bár V. Károly és II. Fülöp hatalmas területeket szerzett például a portugálokhoz képest, a társadalom nem gazdagodott meg, ahogy a gazdaság sem gyarapodott a beözönlő nemesfém ellenére, mely a politikahatalmi tényezők mellett hanyatláshoz vezetett a 17. század első felében.



A spanyol ezüstflotta, mely megrakodva vitte minden évben az amerikai ércbányákból nyert nemesfémeket az anyaországba

Forrás: Wikimedia Commons

A 19. század második felében újabb aranyláz bontakozott ki Ausztráliában, ahol mintegy 650 tonna aranyat termeltek ki, Coloradoban, Észak-Nevadában, Kelet-Oregonban, Dél-Afrikában, Kanadában és Alaszkában. A hullám Kaliforniában robbant be, melynek következtében a helyi lakosság drámaian megnövekedett, a mezőgazdaság fellendült, az infrastruktúra óriási fejlődésnek, az addig jelentéktelen San Francisco virágzásnak indult, Kalifornia pedig az USA tagállama lett. Mindez ugyanakkor az őslakosok elűzésével, kiirtásával, etnikai villongásokkal, a betegségek, erőszak és balesetek következtében emberi életekkel, valamint környezeti károkkal járt.

A történet akkor kezdődött, amikor az egyébként kegyetlenkedéseiről hírhedt John Sutter svájci kalandor-földbirtokos a kanyarójárvány miatt kieső indián munkaerőt egy fűrészmalom létesítésével akarta helyettesíteni. A Colomában – a mai Sacramentótól 60 km-re északkeletre – történő építkezés során a munkálatokkal megbízott James Marshall 1848. január 24-én valami csillogóra bukkant, melyről bebizonyosodott, hogy aranyról van szó. Sutter mindenáron el akarta titkolni a felfedezést, mivel attól tartott, hogy a meginduló szerencsevadászat tönkreteszi szépen fejlődő kereskedelmi és agrárbirodalmát. A Samuel Brannan újságkiadó által megerősített arany híre azonban kitudódott, és futótűzként terjedt. A „Go West” jelszavával kincskeresők tömegei vágtak neki a Dél-Amerika csücskét megkerülő több hónapos, vagy a Panama-földszoroson át vezető viszontagságos útnak a gyors meggazdagodás reményében. 1855-ig mintegy

300 000 aranyásó özönlött be először a környező Oregonból, a Hawaii-szigetektől, Mexikóból, Peruból és Chiléből, majd a világ minden szegletéből. Voltak közöttük franciák, britek, ausztrálok, kínaiak, filippínók, baszkok, törökök stb.

<i>Az első cikk arról, hogy aranyat találtak Kaliforniában</i> Forrás: Wikimedia Commons	<i>A 19. századi kaliforniai aranyláz főbb bányászati helyei</i> Forrás: Wikimedia Commons

A bányászati technológiák fejlődésével a becslések szerint 620 tonna aranyat termeltek ki az 1890-es évek végére. Átlagos szerencsével 6 évnyi munkának megfelelő keresetet lehetett biztosítani fél év aranyvadászattal, de Fortuna kedveltjei akár napi több ezer dollárt érő aranyra is szert tehettek. A különböző mindennapi igények kielégítésével számos üzletember könyvelhetett el szép nyereséget, köztük a már említett Samuel Brannan, aki még a kezdetekkor felvásárolta a bányászfelszereléseket, üzleteket nyitott, és egy fiola aranyporral kezében a nyugati partot járva kiabálta, hogy „Arany! Arany, az American folyótól!”. A történet egyik legnagyobb vesztese valóban John Sutter lett, akinek felélélméi beigazolódtak azzal, hogy munkásai elhagyták, a földfoglalók ellepték birtokát, a termést és a jószágokat pedig ellopták. De nagyon sokan voltak azok is, akik szegényebben tértek haza, mint ahogy kincsvadászatra indultak.

Az aranyláz hatására San Francisco lakossága két év leforgása alatt huszonötszörösére növekedett, mely társadalmi problémákat és erőszakot szült, különösen, hogy nem sokkal az amerikai-mexikói háború után Kaliforniában a jogi rendszerek még nem voltak kiforrottak. Paradox módon azonban a bevándorlók működő településeket és intézményrendszert alakítottak ki a politikai hagyományokat magukkal hozva. Megindult a városodás és a városiasodás, valamint az addig elzárt terület kapcsolata megnyílt a külvilággal. Kalifornia és a keleti part összeköttetésére rendszeres gőzhajójáratokat indítottak, vasútvonallal szelték át a panamai földhidat, 1869-re pedig elkészült az első transzkontinentális vasút, mely néhány napra rövidítette az utat. Az aranyláz nemcsak az amerikai gazdaságot, hanem a világ gazdaságát is stimulálta. Hatalmas új piac nyílt meg a chilei, ausztrál és hawaii mezőgazdasági exporttermékek számára, ahogy a brit

feldolgozott termékek és a kínai ruházati áruk iránt is megnőtt a kereslet. A termékekért fizetett arany növelte az árakat, ösztönözte a befektetéseket és a munkahelyteremtést.

Az aranytermelés felfutásával a nemesfém már akkora mennyiségben állt rendelkezésre, hogy ki tudta elégíteni a nemzetközi pénzforgalom igényeit, így alkalmas volt arra, hogy hivatalosan is a pénzrendszer alapjául szolgáljon. Az 1870-1914 közötti aranystandard rendszerben résztvevő országok változó paritáson az aranyhoz kötötték valutájukat, a központi bankok pedig vállalták a korlátlan aranyra válthatóságot, melyhez az aranytartalék jelentette a fedezetet. Az aranyalap árfolyamstabilitást biztosított, de az első világháború költségeivel és az azt követő spirális deflációval szembenező kormányoknak kicsi volt a mozgásterük a monetáris politikában, ami szétzilálta a rendszert. A kérdés tehát az volt, hogyan lehet a nagy árfolyamingadozásokat úgy elkerülni, hogy közben az államoknak bizonyos mértékben megmaradjon a leértékelési szabadsága. A megoldás, mely alátámasztotta a következő két és fél évtized gazdasági fejlődését, a Bretton Woods-i, vagy más néven aranydeviza-standard rendszer volt. Ennek lényege, hogy az Egyesült Államok hatalmas aranykészletével biztosítja a dolláron keresztül történő aranyra válthatóságot, unciánként 35 USD-os áron. Hogy rugalmasságot vigyenek a rendszerbe, egyensúlytalanságok esetén engedték az árfolyamok szabályozott keretek között történő módosítását.

Az aranydeviza-standard akkor működik jól, ha az USA versenyképessége elég erős ahhoz, hogy a dollárt ne kelljen leértékelni, valamint, ha elég technikai dollár forog a világban, vagyis, ha van egy mérsékelt amerikai deficit. Ezt kezdetben az USA vállalta is, csak hogy az 1960-as évek második felére túl nagyra nőtt a fizetési mérleg hiánya. Félő volt, hogy – költségeit bankópréssal a világgazdaságra terhelve – az USA nem lesz képes a garantált áron biztosítani a dollár aranyra válthatóságát. A bizalom megrendülése aranyvásárlási hullámot indított el, ami a dollárhoz képest még inkább felnyomta az arany árát. Problémát jelentett továbbá, hogy az aranykínálat nem növekedett olyan mértékben, mint a kipumpált dollár mennyisége, így a kettő divergált egymástól. Attól tartva, hogy nem fogják tudni beváltani a dollárt, a kormány 1971-ben egyoldalúan úgy döntött, hogy kiiktatja a nemesfémet a rendszerből, és megszünteti a dollár aranyra válthatóságát, 1972-ben pedig leértékeli a dollárt. A Bretton Woods-i rendszer összeomlott, az árfolyamot immár a kereslet-kínálat határozta meg.

Ezzel lényegében az arany elvesztette addigi funkcióját, és sokkal inkább, mint befektetési eszköz került előtérbe. Tradicionális tartalékeszköz szerepének leértékelődése jegybanki eladási hullámot indított be, melynek hatására az arany ára bezuhant az ezredforduló végére. Mivel az arany jellemzően válsághelyzetekben érezteti jelentőségét egyfajta menedéket, védelmet kínálva a bizonytalan helyzetben, a trend 2001-től fordult meg a geopolitikai események, a 9/11, a romló világgazdasági kilátások stb. következtében. Az arany ára azonban csak a 2008-as globális pénzügyi válsággal kezdett az addig nem látott magasságokba emelkedni, melyhez a központi bankok meginduló aranyvásárlása is nagyban hozzájárult. Felismerve, hogy gazdasági stabilizációs szerepe mellett – és azzal összefüggésben – az arany alkalmas a bizalom erősítésére, az aranytartalékok felhalmozása – és hazai tárolása – azóta megfigyelhető jelenség a szektorban.

A központi bankok birtokában jelenleg több mint 33 800 tonna arany van, ez 12%-kal marad el az 1966-os csúcsmennyiségtől. A legnagyobb készlettel az Egyesült Államok (8133 tonna) rendelkezik a világon, majd Németország (3362 tonna), Olaszország (2451 tonna) és Franciaország (2436 tonna) következik a sorban. Masszív aranyvásárlással Oroszország (2298 tonna) és Kína (1948 tonna) a hatodik, illetve a hetedik helyre küzdötte fel magát az elmúlt években, ugyanakkor gazdasági súlyához mérten Kína esetében még bőven van helye a tartalékképzésnek. A

készletfeltöltés nemzetközi gyakorlatában tapasztalható lendületet követve, 2018-ban a Magyar Nemzeti Bank (MNB) is úgy döntött, hogy tízszeresére növeli és hazaszállítja aranyállományát, hogy azt fizikai formában is az országon belül őrizze. Magyarország 31,5 tonna aranytartáléka ezzel elérte az aranyvonaton 1945-ben kimenekített nemesfémkincs mennyiségét, és azóta sem csökkent.



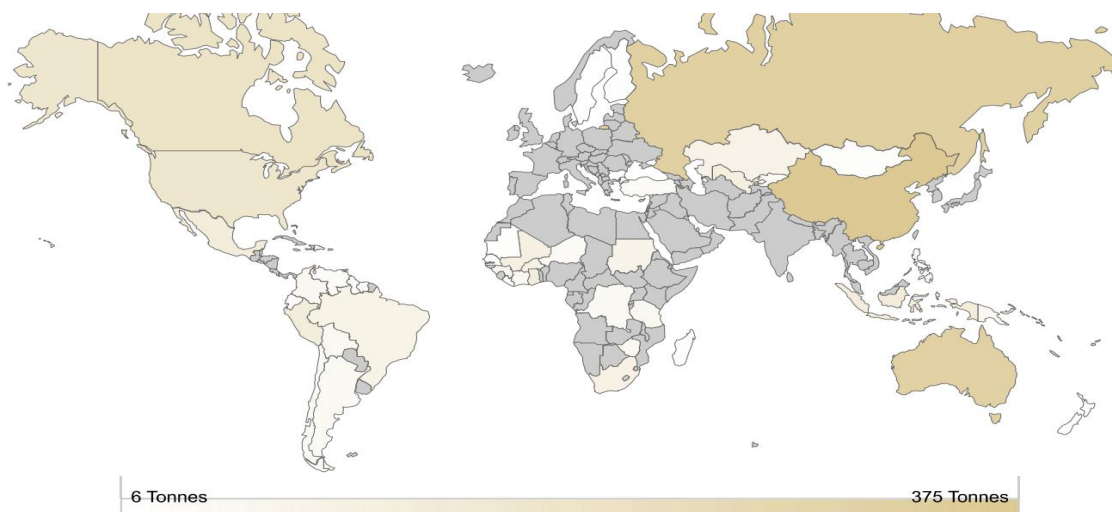
*Az arany árának alakulása 1970 januárja és 2021 februárja között
az inflációt figyelembe véve*

Forrás: Macrotrends

A döntést igazolja, hogy az MNB mintegy 140 milliárd forintos nyereséget könyvelhetett el az aranyár emelkedésének hatására, melyet többek között az amerikai-kínai kereskedelmi háború kibontakozása, az amerikai-iráni konfliktus fokozódása, a Brexit okozta bizonytalanság, vagy a koronavírus-járvány berobbanása fűtött. A megszokottnál nagyobb ingadozás mellett, a dollárban jegyzett világpiaci aranyár tavaly nyáron új történelmi magasságba emelkedett, megdöntve a 2011. szeptemberi csúcsot. Itt ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy az inflációt is figyelembe véve annak idején drágább volt az arany, mint most, sőt 1980 januárjában mai áron számolva még 2300 USD/uncia közelében is járt. A mostani keresletet a befektetők táplálják, míg az ékszervásárlás, melynek az ázsiai esküvőszезon szolgál motorjául, a korlátozások miatt visszaesett. De nemcsak a keresleti tényezők, a pénzpumpa következtében inflációs várakozások, az alacsony kamatkörnyezet és a gyengülő dollár hajtotta az arany malmára a vizet, az ellátási oldalon tapasztalható változások is az áremelkedés irányába hatottak, ugyanis a pandémia lelassította az aranykitermelést, visszafogva a kínálatot a hirtelen megemelkedett kereslettel szemben.

Ha eltekintünk a koronavírus okozta leállásoktól, a kínálati oldalon akkor is a változás szeleit lehet érzékelni. Becslések szerint a történelem folyamán körülbelül 197 500 tonna aranyat bányásztak ki, ennek kétharmadát az elmúlt 70 évben. Érdekesség, hogy ez a mennyiség elférne egy 21 méter oldalszélességű kockában. A világ legnagyobb aranykitermelője 11%-os

részesedéssel Kína (383 tonna), míg az európai aranybányászat 83%-át adó Oroszország (329 tonna), Ausztráliát (325 tonna) nem sokkal megelőzve a második. Utánuk következnek az Egyesült Államok, Kanada, Peru, Ghána, a Dél-Afrikai Köztársaság, Mexikó és Brazília.



Az országok aranykitermelésének volumene 2022-ben

Forrás: GOLDHUB 1

A globális kitermelés – az évi 3 500 tonnához közelítve – növekvő tendenciát mutatott a járványt megelőző másfél évtizedben, melyet leginkább Kína és Mexikó termelésbővülése hajtott. A trend azonban 2019-ben megtört, alátámasztva a feltevést, miszerint a bányászati kitermelés elérte a csúcst. A könnyen elérhető lelőhelyek nagy részét már felkutatták, és bár a becslések szerint több tízezer tonna kitermelhető sárga fém rejtőzik világszerte, az egyre mélyebben fekvő arany felszínre hozása drága, újabb és újabb technológiákat igénylő vállalkozás. A kiművelés bizonyos aranykoncentráció alatt nem gazdaságos, és még ha lelőhelyre bukkannak is, átlagosan 10-20 évbe telik, mire a bánya készen áll arra, hogy finomítható aranyat nyerjenek belőle. A problémát jól érzékelteti, hogy a Minex Consulting szerint 2007 és 2016 között világszerte 65 milliárd USD-t költöttek aranyfeltárássra, amivel csupán 30 milliárd USD értékű nemesfémre sikerült szert tenni.

Az arany persze nemcsak a Földön található meg, hanem például a Holdon is, de a kitermelés és a szállítás akkora összegeket emésztene fel, hogy az várhatóan a távoli jövőben sem lenne kifizetődő. Így sokkal észszerűbb abban bízni, hogy a technológiai innovációval, köztük a mesterséges intelligencia és robotika, valamint a bio-geokémia és a hidro-geokémia fejlődésével egyszer majd gazdaságossá válik az eddig kiaknázatlan készletek feltárása, akár az Antarktiszon vagy az óceánfenéken. De ennyire messzire sem kell menni. Csupán egy példát említve, Nevadában, ahol többnyire külszíni fejtéssel eddig összesen 225 millió uncia aranyat bányásztak ki, és ezzel itt termelték az egy km²-re eső legtöbb sárga fém, a szakértők szerint még 200 millió uncia bújhat meg a mélyben. Nem szabad elfeledkezni arról sem, hogy ha az aranykínálathoz adódó új állomány mennyisége korlátozott is, a valaha kitermelt nemesfém nagy része – szükségleteinket fedezve – a jövőben is hozzájárul az aranypiac vérkeringéséhez. Az arany így továbbra is az egyik legbiztonságosabb mentsvárként funkcionál, ezzel pedig a „legdrágább” kincset jelenti a világon.

Forrás: GOLDHUB 1 (2023): Gold Mine Production, <https://www.gold.org/gold-hub/data/gold-production-by-country>; Letöltve: 2024.02.11.

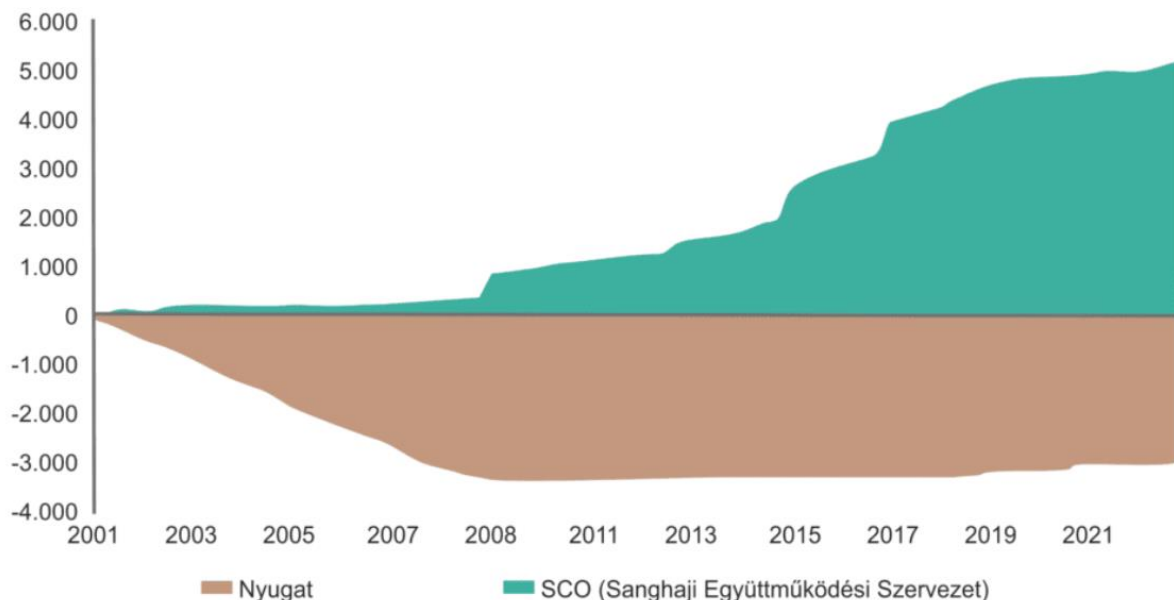
Az arany oda megy, ahol a pénz van – erősödnek a keleti országok⁴

Egy hosszú folyamat közepén vagyunk, zajlik a világgazdaság és a globális rend átalakítása, aminek a konkrét kimenetele egyelőre bizonytalan. A geopolitikai változások során az olyan erőteljes tényezők eltolódását tapasztaljuk, mint például a gazdasági, demográfiai és katonai súlypont. Ám ezek közé sorolhatjuk azokat a változásokat is, amelyek az aranykészletek áramlásában mutatkoznak meg. A súlypont itt is egyre inkább nyugatról keletre tolódik el, a régi bölcsesség alapján, miszerint „az arany oda megy, ahol a pénz van”.

A keleti államok a legerősebb aranyvásárlók közé tartoznak – még Nyugaton belül is

A jegybankok arany iránti lelkesedése újra megmutatkozik, különösen a nem nyugati országokban. Az aranyvásárlásokat hetven éve jegyzik, és 2022-ben addig nem látott mennyiség, 1136 tonna megvételét regisztrálták a jegybankoknál, ráadásul 2023 első felében ez a tendencia tovább folytatódott. A gyengébb második negyedév ellenére a nemzeti banki vásárlások az év első két negyedében új féléves rekordot döntöttek. Január és június között a jegybankok összesen 378 tonnával növelték az aranytartalékukat, ezzel némileg meghaladták a korábbi, 2019-es féléves rekordot.

A legnagyobb vásárlást Kína végezte, őket követi Szingapúr, Lengyelország, India és Csehország. Elmondható, hogy még a Nyugaton belül is a keletebbre található országok voltak azok, amelyek további vásárlásokat hajtottak végre. A következő ábra azt mutatja, hogy az arany iránti intézményi kereslet milyen mértékben tolódott el keletre. Összehasonlítja a nyugati jegybankok kumulált aranyeladásait a Sanghaji Együttműködési Szervezet (SCO) 2001 óta tartó kumulált aranyvásárlásaival. A BRICS-országokat vizsgálva szintén feltűnő átfedést látunk: az öt tagállam közül négy – Brazília, Oroszország, India és Kína – központi bankja 2010–2022 között 2932 tonna aranyat vásárolt.



A központi bankok összesített aranyeladásai és -vásárlásai tonnában, 2001 második negyedéve és 2023 harmadik negyedéve között

Forrás: World Gold Council, Incrementum AG

⁴ Megjelent: Világgazdaság, 2023. október. 30. Geopolitika, Infláció, Kiemelt <https://makro-nom.eu/2023/10/30/makronom-arany-kelet-erosodik/>

Az arany felértékelődésével csökken az amerikai állampapírok állománya

A BRICS-országok emellett tovább csökkentik az USA szárnyaló államadósságából való részesedésüket. Más szóval az arany, mint tartalékeszköz egyre érdekesebbé válik számukra, és az amerikai állampapírok devizatartalékként már több mint egy évtizede egyre kevésbé izgalmasok. Az amerikai fizetőeszköz fegyverként való felhasználása – amelynek legekleatásabb példája Oroszország devizatartalékainak befagyasztása pár nappal az invázió elindítása után – még inkább hangsúlyt adott ennek a folyamatnak.

A BRICS-országok ma már csak az összes amerikai államadósság 4,1 százalékát birtokolják, szemben a 2012. januári 10,4 százalékkal, ami több mint 60 százalékos csökkenés.

A világ többi része azért kevésbé intenzíven csökkentette az amerikai államadóssággal szembeni kitettséget: 2012 januárjában a többi ország az összes amerikai államadósság 22,0 százalékát tartotta a könyveiben, jelenleg pedig a 19,3 százalékát, ugyanakkor ez is valamivel több mint 12 százalékos visszaesés.

A bankok szerepe: kereskedelmi stratégiák és befektetési arany

A bankok, különösen a központi bankok a világ legnagyobb aranybirtokosai közé tartoznak. 2020 végén ezek világszerte körülbelül 35 ezer tonna aranyat birtokoltak, ami az összes globális arany körülbelül 17 százaléka.

A kereskedelmi bankok jellemzően nem tartanak nagy mennyiségű fizikai aranyat, de a kereskedési tevékenységük révén szerves szerepet játszanak az arany piacon. Emellett aranyderivatívakkal kereskednek, aranybefektetési termékeket kínálnak ügyfeleiknek és alkalmanként fizikai aranyat is tartanak fedezetül.

Természetesen a gazdasági bizonytalanság vagy a fokozott piaci volatilitás idején a bankok is megnövekedett érdeklődést mutatnak az aranytermékek iránt, mivel a befektetők biztonságos eszközöket keresnek. Ezzel szemben a gazdasági stabilitás és növekedés időszakában az arany iránti banki kereslet is csökken, mivel a befektetők kockázatosabb, magasabb hozamú eszközök felé fordulnak.

A Kelet bővíti az aranykereskedelmi infrastruktúráját

A Kelet azonban nemcsak vásárol, felhalmoz aranykészleteket, hanem maga is nagy mennyiségben bányássza azt. Kína és Oroszország évek óta a 3 legnagyobb aranytermelő ország között szerepel.

Emellett az olyan államok, mint Kína, az Egyesült Arab Emírségek, sőt még Oroszország is bővíti az aranykereskedelmi infrastruktúrájukat. Ezzel állandó infrastruktúrát hoznak létre az aranykereskedelemnek, hogy eltérítsék a forgalmat a nyugati aranykereskedelmi központokból,

például Londonból, New Yorkból és Zürichből. Ez mára a szerepek megváltozott felfogásáról tanúskodik:

A Kelet egyre inkább nem a nyugati infrastruktúrák megrendelőjeként tekint magára, hanem maga igyekszik felkínálni az infrastruktúrát az aranypiacokon is.

A folyamat legfontosabb fejleményei a következők: SGE & SFO NRA: együttműködés a kínai és az orosz aranypiacok között

Kína és Oroszország már egy ideje keményen dolgozik azon, hogy a Sanghaji Aranytőzsde (SGE) és az orosz pénzügyi hatóság, a Nemzeti Pénzügyi Szövetség (NFA) közötti együttműködés révén összekapcsolja az aranypiacait. Az NFA egy orosz szakmai szövetség, amely a teljes ottani pénzügyi szektort képviseli, beleértve az orosz nemesfémpiacot is. Az erősödő nyugati szankciókra való válaszként az orosz aranyexport Kínába már 2022 közepe óta ugrásszerűen megnőtt. Mivel három orosz bank – a VTB, a Sberbank és az Otkritie – már tagja a 2014-ben alapított SGE Nemzetközi Testületének, ez az együttműködés Oroszország és Kína aranypiacai között a jövőben valószínűleg tovább erősödik.

Tagság arannyal kapcsolatos intézményekben

Ahogy áramlik az arany nyugatról keletre, úgy a keleti aranypiacok jelentősége növekszik, és ezeknek egyre nagyobb képviselete és befolyása lesz az aranypiacot képviselő globális intézményekben, például a Londoni Nemesfémpiaci Szövetségben (London Bullion Market Association – LBMA) és az Arany Világtanácsban (WGC).

2009-ben még csak hat kínai finomító szerepelt az LBMA Good Delivery Listáján (jó szállítók), most már tizenhárom. Míg 15 évvel ezelőtt az LBMA-nak csak egy rendes (teljes jogú) tagja volt Kínából, a Bank of China, addig ma már hét. Az ázsiai ország növekvő befolyása az Arany Világtanácsban is tükröződik. 2009 februárjában még csak egy kínai aranytermelő volt tagja a WGC-nek, ma már négy.

India Nemzetközi Aranyrúd Tőzsde (IIBX)

A tőzsdén kívüli aranykereskedelmi piacon kívül India a Multi Commodity Exchange of India Limited (MCX) keretében létrehozta az arany határidős ügyletek kereskedési infrastruktúráját is. 2022 júliusában az ottani kormány által támogatott India International Bullion Exchange (IIBX) hivatalosan is megnyitotta kapuit a fizikai fémmeel fedezett azonnali aranykontraktusok kereskedésére. Az IIBX az indiai Gudzsarát államban található GIFT City különleges gazdasági övezetben található, és a kontraktusok alapjául szolgáló aranyat ott tárolják. Az IIBX egyik célja, hogy lehetővé tegye a minősített vevők számára, hogy bankok vagy meghatalmazott ügynökségek nélkül, közvetlenül importálhassanak aranyat Indiába. Eddig azonban a kereskedési volumen minimális volt.

A moszkvai világszabvány létrehozása

2022 februárjának végén, amikor a Nyugat közvetlenül az ukrajnai háború kitörése után szankciókat vezetett be Oroszország ellen, a Londoni Nemesfémpiaci Szövetség (LBMA) három orosz bankot zárt ki a tagjai közül, a VTB-t, a Szovkombankot és az Otkritiét. Néhány nappal később az LBMA mind a hat orosz nemesfém-finomítót törölte az LBMA Good Delivery Listájáról, majd a CME Group is követte a példáját, és ugyanezeket a finomítókat törölte a jóváhagyott COMEX-finomítók sorából.

A chicagói székhelyű CME Group Inc. származékos pénzügyi tőzsdét üzemeltet. Tőzsdéi mezőgazdasági termékek, valuták, energia, kamatlábak, fémek, határidős szerződések, opciók, részvényindexek és határidős kriptovaluta-ügyletek kereskedelmének platformjai. A chicagói központon kívül a cégnek New Yorkban, Washingtonban és Houstonban is van irodája az Egyesült Államokban, valamint külföldön Londonban, Bangalore-ban, Pekingben, Belfastban, Calgaryban, Szingapúrban, Tokióban, Hongkongban és Szöulban.

Ennek következményeként Moszkva 2022 júliusában bejelentette, hogy az LBMA-tól és a COMEX-től független új nemesfém-kereskedelmi infrastruktúrát hoz létre. Oroszország tehát felvállalta azt, hogy megtöri London és New York egyeduralmát a globális nemesfém árának képzésében. A javaslat szerint a nemesfémek kereskedelmére az LBMA Good Delivery Listájához hasonló Moscow World Standard (MWS) szabványt vezetnének be, az MWS alapján új nemzetközi nemesfém-tőzsdét, a Moscow International Precious Metals Exchange-t hoznák létre Moszkvában, és az MWS alapján új aranyárrögzítést létesítenének, hogy az LBMA és a COMEX áratól eltérő arany- és referenciaárakat állapíthassanak meg.

Az arany iránti kereslet a nem kormányzati szektorban is keletre tolódik

A Kelet megnövekedett érdeklődése az arany iránt a nem kormányzati szektorban is megmutatkozik. A kínai fogyasztói kereslet például az ezredforduló óta 292,6 tonnáról 824,9-re (2022) nőtt., ami 181 százalékos növekedés.

Indiában az ezredforduló óta szintén emelkedett az éves fogyasztói kereslet, bár az akkor is már magas, 2000-es szintről. Kína és India, amely 2000-ben együttesen a fogyasztói keresletnek még csak a 28,7 százalékát tette ki, 2022-ben a globális fogyasztói kereslet majdnem a felét (48,4 százalék) adta, és tavaly együttesen 1600 tonna aranyat szereztek be.

A legújabb fejlemények ugyanebbe az irányba mutatnak. Az idei év első nyolc hónapjában az ázsiai arany ETF-ek 7,7 százalékkal növelték az állományait, míg Észak-Amerikában és Európában 2,3, illetve 6,1 százalékos kiáramlást regisztráltak.

A fizikai aranyvásárlás mellett az aranyba történő befektetés másik módja a tőzsdén kereskedett alapok (ETF). Az arany ETF-ek nagyon likvidek és olcsó opciók lehetnek, összehasonlítva a nemesfém határidős kereskedésével vagy az aranybányászati vállalatok részvényeinek vásárlásával.

Fogyasztói kereslet az arany iránt 2000 vs 2022

	2000		2022		2022 vs. 2000	
	tonnában	A globális kereslet százaléka	tonnában	A globális kereslet százaléka	tonnában	százalékban
India	723	20,40	774	23,40	50	7,00
Kína	292,6	8,30	824,9	25	532,3	181,90
Japán	105,1	3,00	4,30	0,10	-100,8	-95,90
Közel-Kelet	457,9	12,90	268,2	8,10	-189,7	-41,40
Törökország	177,4	5,00	121,5	3,70	-55,9	-31,50
Egyesült Államok	368,5	10,40	256,6	7,80	-111,9	-30,40
Franciaország	19,0	0,50	19,90	0,60	0,9	4,50
Németország	15,60	0,40	196,40	5,90	180,8	1,16
Olaszország	92,10	2,60	17,80	0,50	-74,3	-80,60
Egyesült Királyság	75	2,10	35,60	1,10	-39,4	-52,50
Európa többi része	142,4	4,00	115,1	3,50	-27,3	-19,20
Egyéb	1076	30,40	669,1	20,30	-406,9	-37,80
Globális kereslet	3544,60	100,00	3303,30	100,00	-241,3	-6,80

Forrás: World Gold Council, Incrementum AG

Jelentős esemény, hogy a rudak és érmék iránti keresletben az első fél évben Törökország és Irán a top 5-ben felváltotta Németországot és Svájcot. Az aranykereslet ezen alszegmensét most Kína vezeti – 2022 első félévében még Németország állt az élen –, majd Törökország, az USA, India és Irán következik. Ennek az oka, hogy míg Törökországban a rudak és érmék iránti kereslet 9,5 tonnáról 47,6-ra lőtt fel 2023 második negyedében, addig Németországban mintegy háromnegyedével csökkent.

Az arany ára jelentősen megnőtt a keleti valutákban

2023 szeptember végén az arany indiai rúpiában 14,6, kínai jüanban 18,0, orosz rubelben 34,3, dél-afrikai randban 22,1 és török lírában 114,0 százalékkal volt drágább, mint 2022 elején. Az arany tehát szépen bizonyítja értékmegőrző tulajdonságait az említett országok nehéz (geo)politikai és makrogazdasági helyzeteiben.

Kína

Az ázsiai országban július óta jelentősen megnövekedett aranyárfelár egyértelmű jele annak, hogy a kínai piacon strukturális aranyhiány van, és így kifejezi a gazdasági problémákkal küzdő államban az arany iránti erős keresletet. Kína egyébként a világ legnagyobb aranytermelője és a második legnagyobb vásárlója. Az aranyat régóta a vagyon tárolójának tekintik, és általában ünnepekkor vagy különleges alkalmakkor ajándékozzák. Kína gyorsan növekvő gazdasága és az emelkedő középosztály az aranyékszerek és befektetési termékek iránti keresletet is növelte.

India

Jelenleg a világ legnagyobb aranyvásárlója, a kereslet nagyrészt az ország ékszeripara vezérli. Az aranynek óriási kulturális jelentősége van Indiában, a nemesfém bonyolultan beleszövődött az ország társadalmi, vallási és kulturális szövetébe. Például központi szerepet játszik esküvőkön és vallási szertartásokon, emellett ideális ajándéknak tekintik. Az Arany Világtanács szerint az ottani háztartások több mint 25 ezer tonna aranyat tartottak 2019-ben, ami az ország teljes vagyonának a 40 százaléka.

Török példa az arany iránti magánbefektetői keresletre

A lakossága a romló gazdasági helyzetre és a vágató inflációra 100 tonnás aranyvásárlással válaszolt az idei parlamenti és elnökválasztás előtti hónapokban. Hiába erős a török gazdaság, hiába vannak komoly külföldi befektetések, évek óta képtelenek megbirkózni a pénzromlás leküzdésével. A jegybanknak sem volt érdekében meggátolni a nagyarányú lakossági aranyvásárlást, hiszen ezzel az emberek sem vonták ki a valutatartalékaikat az országból.

Németország

A német sajtóban már 2021-ben felfigyeltek a helyiek növekvő érdeklődésére az arany iránt, amit a német befektetőknek az inflációt kivédeni kívánó viselkedéssel magyaráztak. 2021 nyarán, bár a járvány utáni gazdasági fellendülés iránti optimizmus erős volt, az inflációtól óvakodó német befektetőknek félelmei voltak az árak emelkedésével kapcsolatban.

Az inflációs várakozások lángját akkor tovább szították a német és az európai jegybankárok észrevételei, és a Gold Demand Trends **adatai azt mutatták**, hogy a németek némi különbséggel több aranyrudat és érmét vásároltak 2020-ban, mint bármely előző évben. A következő esztendőben, 2021-ben pedig olyan befektetési ütemet tartottak fenn, amely messze meghaladta a történelmi átlagot.

Az ismert volt, hogy a német befektetők az aranyat az infláció elleni védekezés eszközeként értékelik.

Egy kiterjedt, 2019-es fogyasztói kutatás során a német lakossági befektetők 64 százaléka értett egyet azzal, hogy az arany jó védelem az infláció, valamint az árfolyam-ingadozások ellen, és 61 százalékuk úgy vélte, hogy hosszú távon soha nem veszít az értékéből.

Egy aranyra vonatkozó tanulmány megállapította, hogy az „értékmegőrzés” és az „infláció elleni védelem” az ottani befektetők által említett két fő ok, amiért meg akarták tartani az aranybefektetéseiket. A német válaszadók csaknem fele szerint az aranyrudak és -érmék szerepet játszanak a megtakarítási portfóliójukban. Érdekes módon ez a befektetési szándék a Z és a millenniumi generáció befektetői körében volt a legerősebb, ami egybevág a Reisebank megállapításaival is, miszerint több fiatal felnőtt (18–26 éves) vásárolt aranyat a járvány idején, mint az idősebb válaszadók (23 vs. 16 százalék).

Magyarország

A háborúk és válságok idején, valamint magas infláció esetén a lakosság előszeretettel fordul az aranyvásárlás felé. Ez hazánkra is igaz, akkor is, ha a befektetési lehetőségek között még mindig kevesen számolnak e nemesfémmel. A 2022-es esztendőt „soha nem látott évnek” minősítették a hazai aranykereskedők.

Tavaly a durva becslések alapján 5-7 tonna aranyt vásároltak főképp a hazai magánszemélyek, mintegy 100 milliárd forintot költve a nemesfémre.

A hazai aranypiac utoljára jelentősen 2011-ben nőtt, a tavalyi eladások viszont jelentősen meghaladták az akkori forgalmat is. Az idén már a piac korrigált, és a hazai fizikai aranyvásárlások szintje a tavalyi közel felére esett vissza, ami köszönhető a jegybank jelenetős kamatemeléseinek is. A befektetők újra az állampapírokat választják a megemelkedett hozamok miatt, noha továbbra is van kereslet az arany iránt.

A hazai aranykereskedők azt tartják problémásnak, hogy a nemesfémbe befektető magyar magánszemélyek többsége pánikvásárló. Aranyat leginkább akkor vesznek nagy számban és mennyiségben az emberek, ha reálisnak látják a pénzügyi rendszer összeomlását. Hasonlóan viselkedtek a 2008-as gazdasági világválság, illetve a járvány kitörése idején. A pánikvásárlással az a gond, hogy ilyenkor a vevő általában drágán veszi az aranyat, és túlköltekezik. Ha később ráeszmél, hogy túlköltekezett, hogy sürgősen pénzre lenne szüksége, akkor nagy valószínűséggel csak veszteséggel tud megszabadulni az aranytól.

Recesszió esetén tipikus ez a befektetői magatartás, miközben tisztában kellene lenni azzal, hogy az arany esetén a befektetési időhorizont 5-6 éves. Ezt támasztja alá, hogy a nemesfém grammonkénti ára 2018-es 11 ezer forintról emelkedett 2022-re 23 ezerre. Így ezen időszak alatt, az inflációt is beleszámolva, az arany 30 százalék körüli nyereséget hozott.

Amerika

A World Gold Council, az aranyipar piacfejlesztési szervezete 2020-as felméréséből kiderült, hogy az Egyesült Államok lakossági befektetőinek a 38 százaléka közvetlenül birtokol fizikai aranyat. Igaz a felmérés nem foglalkozott a polgárok tulajdonában lévő arany mennyiségével. Az idei becslések szerint a magánszemélyeknél mintegy 26 ezer tonna lehet, ami megfelel a globális össz mennyiség 1,6 százalékának. Tudatosítva azt, hogy az aranytulajdon valószínűleg inkább a gazdagabb háztartások körében koncentrálódik, ez a mennyiség háztartásonként átlagosan 6,4 uncia aranyat jelent (körülbelül 200 grammot).

A Gallup 2019-es felmérése azt találta, hogy az aranytulajdon az életkor előrehaladtával növekszik: a 65 év felettiak 31 százaléka birtokol aranyat, szemben a 18–29 évesek 18 százalékaival. Hasonlóképpen, az aranytulajdon nagyobb a magasabb jövedelműek körében: a 100 ezer dollárt vagy annál többet keresők 41 százaléka van e nemesfém-ből, szemben a 30 ezer dollárnál kevesebbet keresők 23 százalékaival.

Érdeemes megjegyezni, hogy a fizikai arany birtoklása nem az egyetlen aranytulajdonlási forma. Sok amerikainak van aranya közvetve olyan pénzügyi eszközökön keresztül, mint a tőzsdén kereskedett alapok (ETF), a határidős szerződések vagy az aranybányászati vállalatok részvényei.

Egy érdekes amerikai kísérlet

Az idei év elején már a negyedik amerikai tagállamban is benyújtottak egy törvényjavaslatot, amellyel visszavezetnék az aranyat és az ezüstöt hivatalos fizetőeszközként a szövetségi zöldhasú mellett. Utah járt legelől, amikor 2011-ben újra bevezették az alkotmányos pénzt, majd következett Wyoming, utána Oklahoma, negyedikként pedig Missouri.

Az aranyat és az ezüstöt törvényes fizetőeszközként fogadnák el, és valamennyi köz-, illetve magánadósság kifizetésére alkalmas lenne. Persze senkit sem köteleznének a nemesfém-mel való fizetésre. Nem vetnek ki forgalmi adót az arany- és ezüstrudakra, sőt azok eladását is mentesítik az állam tökenyereség-adója alól, ami ahhoz is kell, hogy az aranyat és az ezüstöt pénzként lehessen kezelni.

Mindezek mellett létrehoznak egy állami nemesfém-értéktárat, ami nemcsak a nemesfémek biztonságos tárolására teremtené lehetőséget, hanem számlaként működve (elektronikus úton vagy csekken keresztül fizethetnének vele másoknak) megkönnyítené az arany és az ezüst mindennapi használatát is.

Az aranyár kilátásai az utolsó negyedévben

Az arany ára szeptember nagy részében 1900 és 1950 dollár között ingadozott, mígnem a 27-én bekövetkezett meredek zuhanás 1871 dollárra nyomta le, ami 3,7 százalékos havi alapú veszteséget jelent. Mindezt az erősödő dollárnak, illetve a kötvényhozamok jelentős emelkedésének tulajdonítják.

Mivel a kötvényhozamok az élénk amerikai gazdaság mellett tovább emelkednek, a nemesfém valószínűleg folyamatos turbulenciával néz szembe a következő hetekben. Csökkenő trendet várhatnánk az arany áránál, de továbbra is törékenyek a részvények, növekszik a recessziós kockázat, illetve az infláció alakulása továbbra is támogatja a központi bankok arany iránti folyamatos érdeklődését.

De nem csak az arany az egyetlen áldozata a kötvényhozamok szárnyalásának. A magasabb hozamok lenyomják a részvénykockázati prémiumot, ezzel szűkülnek a pénzügyi feltételek, és ez tovább fokozhatja a recesszió kockázatát a következő 6–12 hónapban.

Összegzés

Az arany keresletének a Nyugatról Keletre történő eltolódása nemcsak a kormányok vagy az azokhoz kapcsolódó szervezetek, hanem az intézményi és magánbefektetők körében is megfigyelhető. Az arany oda áramlik, ahol a legnagyobb értéket képviseli, ahol növekedett a gazdasági jólét és ahol emelkedtek a megtakarítási ráták.

Ahogy az IMF legfrissebb gazdasági növekedési előrejelzése is mutatja, a feltörekvő és fejlődő ázsiai alrégió esetében az idén 5,2, jövőre pedig 4,8 százalékos bővülésre számít, miközben a Nyugat ennél jóval kisebb mértékben fog növekedni. Ez azt is eredményezi, hogy az árképzésre gyakorolt befolyás Nyugatról keletre helyeződik majd át.

Középtávon tehát a kereslet eltolódását az ázsiai és közel-keleti országok magasabb növekedési kilátásai támogatják.

Források:

- <https://goldswitzerland.com/5-signs-that-gold-will-increasingly-flow-to-the-east/>
- <https://www.gold.org/goldhub/gold-focus/2021/06/inflation-wary-german-investors-continue-eye-gold>
- <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-demand-trends/gold-demand-trends-full-year-and-q4-2020/15504>
- <https://retailinsights.gold/regional-spotlights/germany/investment.html>
- https://nepszava.hu/3206286_arany-vasarlas-magyarorszag-felelem
- <https://www.americanbullion.com/how-much-gold-does-the-average-american-own/>
- <https://news.gallup.com/poll/505592/real-estate-lead-best-investment-shrinks-gold-rises.aspx>
- <https://mandiner.hu/makronom/2023/01/dollar-helyett-aranyat-es-az-ezustot-hasznalnak-ebben-az-amerikai-allamban>
- <https://www.macrotrends.net/1333/historical-gold-prices-100-year-chart>

A FÉM „ŐSKOR”

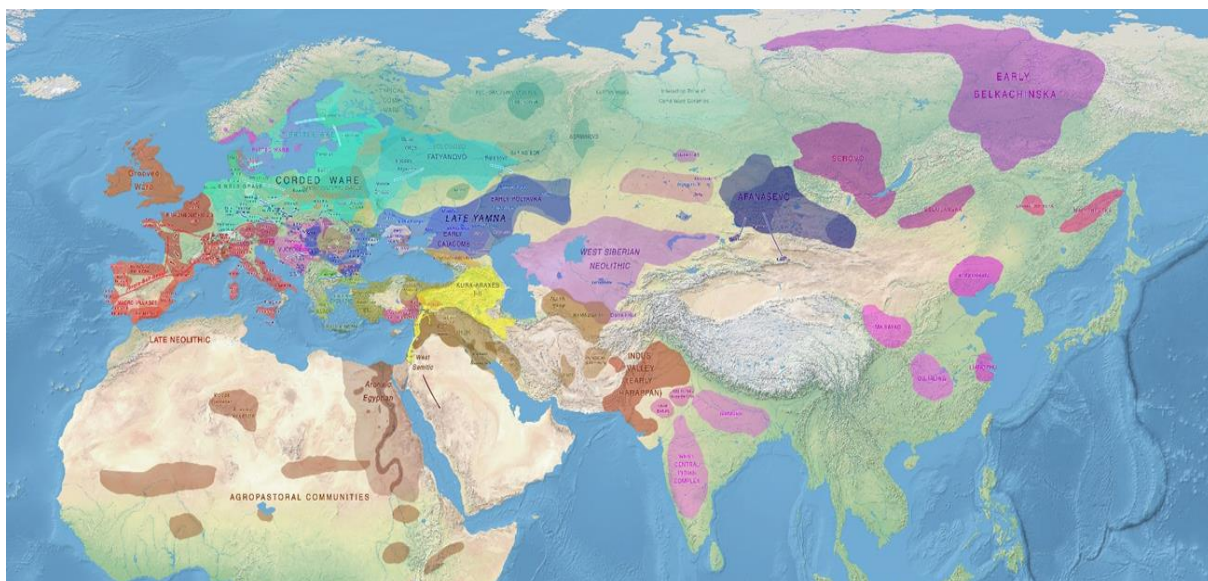
Rézkor

A régészet egyik legvitatottabb kérdése a Kr. e. 4500/4400 és Kr. e. 2800/2700 közötti időszak önálló korszakként történő megjelölése rézkorszakként, ami az újkőkor és a bronzkor közötti átmenetet képviseli. Jellegzetes tárgyai között ugyanis egyaránt szerepelnek cserépből és rézből készült tárgyak.

A rézkor, mint önálló korszak magyar felfedezés. Pulszky Ferenc javasolta a tizenkilencedik században ennek önálló korszakként történő elismerését a bronzkor előtti korszakra vonatkozóan. Időnként nevezik **kőréz** (Chalcolithic) korszaknak is, mert a rezet akkor kővel vegyítették. Az a tény, hogy önálló korszakként történő megjelölése ebből a térségből ered, nem véletlen, hiszen ezeket a tárgyakat nagy mennyiségben az Al-Dunánál és Erdélyben találták meg. Azért sem tekinthető véletlennek, mert a fémek alapján történő formációelméleti tagolás a geopolitikai egységek közötti érintkezés fejlődésének tagolása is. A fémek nyersanyagainak beszerzéséhez együttműködésre és partnerségre van szükség az egyes kultúrák között, és a hazai társadalomtudományok történelmi okoknál fogva érzékenyek erre a szempontra.

Vitatott meghatározása ellenére a rézkor az emberiség fejlődésének egyik legfontosabb korszaka. Erre az időszakra esik olyan korszakos jelentőségű innovációk felfedezése és elterjedése, mint a réz, az arany és az ezüst felhasználása és megmunkálása, a kerék és a kocsi megjelenése, melynek alapjait az agyagmegmunkálás, a korongozás képezte, az állattartás és a földművelés számos újítása, pl. az eke feltalálása, igásállatok használata (Lendületések 2023). Kárpát medencei alakulása szempontjából érdemes kiemelni, hogy az első időszak folyamatait jelentősen befolyásolta a medence klímájának hűvösebbé, szubboreális jellegűvé válása, és az ezzel összefüggő természeti környezeti változások, valamint a térség különleges összekötő szerepe Európa déli és keleti, illetve nyugati területei között. Rajta áramlottak keresztül a termékek és az új elképzelések.

A réz termésvégzőkből való felhasználásának első jelei a Közel-Keletről, a mai Irak és Irán területéről származnak Kr.e. 5000 körülről. A felhasználás és a kapcsolódó gazdasági, társadalmi, kulturális folyamatok részben innen terjedtek Európa, Ázsia és Észak-Afrika irányába, részben a világ különböző részein különböző időszakokban önállóan is kibontakoztak. A fontosabb központok a Közel- és Közép-Kelet, a Termékeny félhold térsége (Çatalhöyük Törökországban, Tell Abu Hureya Szíriában, Jerikó Ciszjordániában) mellett a Nílus völgye, az ókori Egyiptom, Dél- és Kelet-Európában Szerbia, Bulgária, Románia és Ukrajna területe (Vinca kultúra, Cucuteni-Trypillia kultúra), Nyugat-Európában spanyol, portugál, olasz (Ötzi) és francia lelőhelyek mellett Brit-szigeteken a legismertebb az angliai Stonehenge, kelet felé Oroszországban az Ural és a Volga közötti terület, a Káma mente (Gari-Bor) és a dél-orosz sztyeppe, a Kaukázus előtere, valamint a Transz-Ural, a nagy népvándorlási zónák, melyek a magyar őstörténet szempontjából újabban kapnak nagyobb figyelmet.



Eurázsia rézkori kulturális bölcsői

Forrás: <https://indo-european.eu/wp-content/uploads/2021/03/10-chalcolithic-early.jpg>

Kína, Japán, Dél-Kelet-Ázsia és India számos rézkori kultúrközponttal rendelkezik, melyek sajátos fejlődési pályákat és jellemzőket mutatnak. Eurázsia és Észak-Afrika kiemelt rézkori kultúráiról ad áttekintést a fenti térkép. Afrikában a rézkor a Nílus völgyét és Észak-Afrikát kivéve egyesek véleménye szerint jelentős rézkészletei ellenére kimaradt, bár újabban a rézkorra jellemző elszigetelt leleteket találtak pl. Niger területén. Az amerikai kontinensen szintén vitatott a

rézkor megjelenése, bár a Kolombusz előtti indián kultúrákban a réz használata nem volt ismeretlen.

A réz használata.

A rezet már eredeti ötvözetlen formájában is sokféleképpen lehetett használni. Ezeket három csoportba sorolhatjuk: az ékszerek, a fegyverek és a szerszámok körére. Közülük geopolitikai szempontból a legfontosabb az ékszerek használata.

A réz, mint ékszer

A réz esetében erről sokáig megfeledkezett a közgazdaságtudomány, csak az amerikai intézményi közgazdaságtan vagy a német történelmi iskola például Georg Simmel vagy Werner Sombart szentelt neki figyelmet, pedig az ékszer alapvető jelentőségű, mert a szép érzékelhetőségét teszi lehetővé. A kultúra önálló formában történő megjelenése köthető az ékszerekhez. Az ékszer célja valóban a vágy keltése, de ez a vágy irányulhat az értékrend működésére is és ebben az esetben a szép az alapvető értékek kézzelfoghatóságát segíti elő.

Az ékszernek ezért legalább három szerepe van:

(1) a természetadta formát tökéletesíti, megteremti a harmóniát,

(2) a tökéletesítés a geometriai forma megmutatását jelenti, ami azért is fontos, mert a díszítőművészet egésze, benne az ékszer a geometria alkalmazása a természetre. A geometria a világrend érzékelésének része, ezért univerzálisan értelmezhető, mindenütt felfedezhető. Ezen az alapon lehet bírálni Lukács Györgyöt, aki „Az esztétikum sajátosságában” elutasította a díszítőművészet művészeti jellegét, azt protoművészetnek tekintette, mert az nem alkotott világot. Ez azonban tévedés, hiszen a geometria norma, érték és szabály az alkotáshoz. Az ékszer ennek egyik megjelenése. A réz könnyű alakíthatósága a geometriai formák létrehozása szempontjából is fontos, erre a csont, ami korábban az ékszer anyagából szolgált, sokkal kevésbé alkalmas.

(3) Az ékszer harmadik funkciója a társadalmi hierarchia érzékeltetése. Ezt ma már a gazdagság fogalmával írják le. Az ékszer drága, az értékes javak eredetileg a politikai-kulturális pozíciót határozták meg. Az ékszer láthatóvá tette, hogy tulajdonosa mekkora hatalommal rendelkezik, és ezért viselték. Az ékszer örökölhetősége, továbbvitele vagy eltemetése a halottakkal együtt azért, hogy a túlvilágon is megmaradjon a hatalma, ne legyen szolga, ezért ennyire fontos. Ez az állam fejlődésének újabb szakasza, hiszen az intézmény láthatóbbá vált ennek segítségével. Ismét vitatkozva a vulgármarxista közelítéssel, amelyik az államot az osztályegyenlőtlenségre szűkítette le, az állam végső soron a stabilitás és a barbárságból való kiemelkedés formája. Ebből a szempontból az ékszer ennek működése békésen, a meggyőzésre és belátásra támaszkodva. A hierarchia másik, anyagi érzékelhető formája a fegyverhasználat, az ékszer azonban nem az erőszak megjelenítése, hanem a tiszteleté.

Az ékszerhasználat esetében a gazdagság megmutatása a cél a szónak abban az értelmében, hogy tulajdonosa ezzel jelzi, hogy bekapcsolódott a nemzetközi munkamegosztásba és a politikai együttműködésbe. Ékszert szerezni ajándékozással is lehet, és az ajándék a nemzetközi együttműködés fontos szimbóluma. A kereskedelem ezért nem a haszonszerzésről és a hódításról szólt, hanem a partnerségről.

A réz, mint ékszer anyag, ezért forma alkotó, hiszen ritkasága miatt lehetővé tette a nemzetközi közösség kialakulását. Az ajándékozási folyamatot úgy kell elképzelni, hogy ugyanaz a termék

forog, ahogy azt már Malinowski vagy Polányi is leírta. Nem különböző javakat cserélnek ajándékozás formájában, hanem mindenki rézészert ad a másiknak tisztelete és megbecsülése jeléül. Partnerként ismeri el a másik vezetőt, nem úrként és nem szolgaként. Ebből a szempontból a rézészert tekinthető pénznek, azaz általános egyenértékesnek, de a pénz fogalmát a kapitalizmusban az egyéni haszonlesésként, kizárásként értelmezték. Ezzel szemben az ékszer mint pénz a nemzetközi együttműködés jele.

Nem a rézzel kezdődött el ez a folyamat, előtte az obszidián is hasonló szereppel bírt. Az obszidián azonban ritkább és sokkal kevésbé kötődött termelése a tudáshoz, a bányászathoz és kohászathoz, ami viszont a réz esetében döntő tényező. A rézkor ezért a demokratikus nemzetközi intézményrendszer felé tett lépésként értékelhető.

A réz, mint fegyver

A fegyver az államépítés másik legfontosabb eleme. A fegyver jelenléte és használata is lehetővé tette az állam stabilitásának megőrzését és az állam által közvetített értékrend védelmét. Az istenek fegyverzete, ami már a korai mitológiában is jelen van, azonban alárendelt a természet erejének. Az istenek hatalma nem a fegyverből fakad, az csak eszköz arra, hogy felruházzák hatalommal az embert.

Az első fegyverek kőből voltak, és a már említett obszidián a könnyebb hasíthatósága, élesebb törése miatt jobb fegyver volt a többi kőfajnál. A rézet ezzel szemben már lehetett késként is használni. A hagyományos dárda, nyíl mellett a réz kombinálva a kővel nagyobb pontosságot tett lehetővé, élesebb volt a kőnél, és ettől vált erősebb fegyverré. Kőrézkorszaknak a réz utóbbi tulajdonsága miatt nevezik ezt a korszakot, hiszen a réz puha magában, önállóan kevésbé alkalmas fegyverhasználatra, de kővel párosítva ez a hátrányos tulajdonsága megszűnt. Nem elhanyagolható szempont, hogy a réz bőségesebben állt rendelkezésre, és ez lehetővé tette a civilizáció, kultúra fejlődését. Nagyobb hatalmat adott a vadállatok felett a hódítókkal szemben.

Fegyverként is fontos szempont volt a réz újrahasznosítása. Az obszidián kő kicsorbult, nem lehetett javítani. Ezzel szemben a réz újra formálható volt, ami biztosította, hogy a fegyver anyaga mindig jelen legyen. A fegyverkovács fogalma is ekkor jelent meg, ami végső soron az első hadiiparnak tekinthető. Ezzel a termelésük védelmi biztonságpolitikai funkciót is kapott, ami közvetített a termelés és az állam között. A korábban esetleg jelen levő elidegenedés a vezetők és az alattvalók között a réz kovácsolásával oldódott. A kovácsolás azért is fontos, mert ezzel jelent meg a húzóágazat fogalma is, ami az az ipari tevékenység, amely közvetlenül megjelentette az állam politikai gazdaságpolitikai céljait.

A rézzel új fegyverek is megjelentek, ez volt a kés megjelenése. Bár ezek tömegesen a bronzkorban jelennek meg, ez a fegyvertípus elválasztotta egymástól a vadállatokkal és az emberi közösségekkel szembeni küzdelmet. A vadállat ellen a kés kevésbé működött, annak célja az ember ember elleni küzdelem hatékonyabbá tétele volt. Ez is kulturális előrelépés, az ékszer elterjedésének másik oldala, hiszen a kés és az ebből megjelenő rövidebb kard kiemelte a barbárságból a társadalmakat, az ellenfelet küzdelme egyenrangú felek küzdelmévé vált. A háborúnak sajátos szabályai is lettek, hiszen a másik emberrel szemben nem alkalmazható ugyanaz, mint a vadállattal szemben.

A réz, mint szerszám

A réz, mint szerszám esetében fontos hangsúlyozni, hogy bár van kapcsolata a közvetlen agrár-termelési folyamathoz, de sokkal fontosabb a termelés szervezésében és irányításában betöltött szerepe.

Az agronómiai termelési technika tekintetében a réz valóban javította a betakarítást és a föld megmunkálását. Élesebbé tette a sarlót, és amennyiben folyt kapálás, akkor a kapa is jobb minőségűvé vált ezáltal. Ugyanakkor ez magát az agrártermelékenységet radikálisan nem változtatta meg. Fontos összefüggés azonban, hogy a réz egyszerre lehetett szerszám és fegyver, hiszen az újrahazsnosítás, az újrakalapálás ezt lehetővé tette. Utalva ezzel a kovácsolásra mint húzóágazatra ez egyúttal a termelés modernizációját is eredményezte. Ma azt mondanánk, hogy a duális használat első formája volt ebben található, ami a demokratikus jelleget erősítette az állam és a termelés működésére nézve.

A szerszámként való használat sokkal fontosabb összetevője a token, a pecsét kifinomultabbá válása. A megtermelt gabona felesleges részét raktározni kellett, amit a kiépülő államokban közraktárban tettek. Ide mindenki bevittette betakarított terményeit és egy pecséttel, jellel látta el a megkülönböztetés miatt. Ez a jel készülhetett kőből, de sokkal hatékonyabb volt a réz formálhatósága miatt.

A megjelölés, a jelzés a köztulajdon és a magántulajdon közötti összhang anyagi kulturális formájának is tekinthető, és ezt is a réznek köszönhetjük. A rézkor a nagyobb kiterjedésű államok időszaka, amelyekben a termelési folyamat központosított módon zajlott le, amire utaltunk az öntözéses technika elterjedésével. Ez az állami tulajdon azonban nem jelentette a magántulajdon megszüntetését. Egyéni teljesítmények közötti különbséget továbbra is mértek, és ez megjelent a föld elosztásában és a betakarított terményekben. Különösen ez utóbbiban, hiszen a föld használatában nagyon sokféle szabályt alkalmaztak a közösségek és ezek között talán a legkritikább volt az önálló használatba adás különösen hosszú távon. A termények bizonyos mértékig állami tulajdonban voltak, ez volt a közraktár szerepe, hiszen ezt a közösség egésze védte, de megjelölték rajta az egyéni teljesítményt is. Ez volt a pecsét.

A pecsét szimbólum is volt, ami az egyes családokat jelképezte és ez megerősítette a család részvételét az állam működésében és a termelési folyamatban. A szimbólum, ami utalt a család eredetére, nevére az államon belül, vált kifinomultabbá a réz használatával pontosabb lett. Ez nem csak azt fejezte ki, hogy kié a gabona, hanem utalt a gabona mennyiségére esetleg minőségére is. Nem véletlen, hogy a rézkorban terjedt el az írás, aminek az alapja a nyilvántartás és ellenőrzés, ami az állam igazgatási funkciójának ellátását segítette.

Bronzkor

A fémek korszakait a lekönyebben megmunkálható, és természetes formában is megtalálható fémek, az arany és réz felhasználása használati tárgyak, ékszerek készítésére indítja el. Mivel a réz előfordulása gyakoribb, ezért annak elterjedése jelzi a rézkor kezdetét, aminek első nyomait i.e. 6000 körül találták meg Mezopotámiában. Az emberiség fejlődésének fémkorát nem egységesen jelöli a tudomány, de kezdetét általában arra az időszakra teszik amikor a kőkorszakot követően a fémek használata megjelent, és a természetes formában található fémek mellett egyes ércekből is sikerült fémből készült termékeket előállítani, melyek jelentős részben felváltották a kőből készült használati tárgyakat. Az időszak kezdete összekapcsolódik számos

technikai újítás megjelenésével, melyek a kultúrában is radikális változásokkal jártak. Ezek között kiemelkedik kerék és az írásbeliség megjelenése.

A bronz a réz és az ón különböző arányú ötvözete. A korszak kezdete ezért sem határozható meg egyértelműen. A fémmegmunkálás első jelei i.e. 3300 évvel megjelentek a Közel-Keleten a suméroknál, a legkorábbi ónötvtözetből készült bronz Európában az i. e. 5. évezred közepére datált fólia, amely a Vinča-kultúra egyik lelőhelyéről származik Pločnikban (Szerbia), bár ezt a kultúrát hagyományosan nem tekintik a bronzkorhoz tartozónak. A görög kultúra bronzkorát i.e. 3000 körülől számítják. Bár Kínában már korábbról is vannak fémmegmunkálásra utaló leletek, de a bronzkor kezdetét a brit szigetekéhez hasonlóan i.e. 1900 és 1600 közé teszik. Érdeemes megemlíteni, hogy Kínában a másutt használt viaszveszejtéses technikával szemben a darabos formában való öntéstechnikát alkalmazták.

A bronz használata, az írás jelenléte egyes területeken, valamint a városi civilizáció egyéb korai jellemzői jellemeznek. A bronzkor a Christian Jürgensen Thomsen által 1836-ban az ókori társadalmak és történelem osztályozására és tanulmányozására javasolt három korszakos rendszer második fő időszakára. A fémkorszakok három szakasza közül szintén a másodiknak tekinthető.

Egy civilizációt akkor mondunk a bronzkorhoz tartozónak, ha saját réz olvasztásával és ónnal, arzénal vagy más fémekkel való ötvöztetésével állított elő bronzot, vagy máshol található bronz-termelő területekről származó bronzért cserélt más tárgyakat. A bronz keményebb és tartósabb, mint az akkoriban rendelkezésre álló más fémek, így a bronzkori civilizációk technológiai előnyre tettek szert.

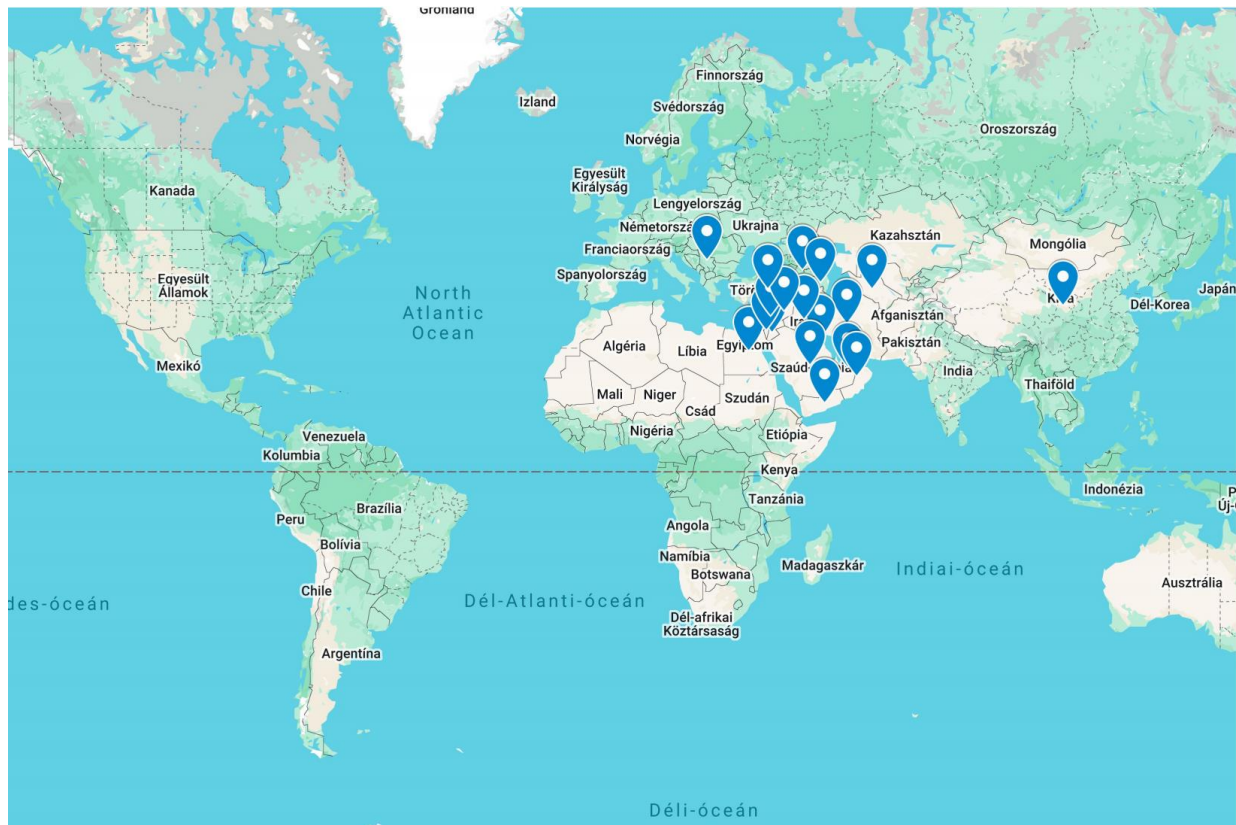
Bár a földi vas a természetben bőségesen megtalálható, az olvasztáshoz szükséges magasabb hőmérséklet, 1250 °C (2280 °F), valamint a fém megmunkálásának nagyobb nehézsége miatt egészen a Kr. e. második évezred végéig nem volt elérhető a közhasználat számára. Az ón alacsony, 231,93 °C-os (449,47 °F) olvadáspontja és a réz viszonylag mérsékelt, 1 085 °C-os (1 985 °F) olvadáspontja lehetővé tette, hogy a neolitikus fazekas kemencék, amelyek i. e. 6 000-re nyúlnak vissza, 900 °C-nál magasabb hőmérsékletet is képesek voltak előállítani. A réz- és ónércek ritkák, mivel Nyugat-Ázsiában nem léteztek ónbronzo, mielőtt a bronzkereskedelem az i. e. 3. évezredben megkezdődött. Világszerte a bronzkor általában a neolitikumot követte, a kőrézkor pedig átmenetként szolgált.

Fémhasználat és kultúra

A korszakot a bronz széleskörű használata jellemzi, még ha a korai években csak az elit használta is, bár a bronztechnológia bevezetése és fejlődése nem volt mindenütt szinkronban. Az ember által készített ónbronzo technológia meghatározott gyártási technikákat igényel. Az ónt ki kell bányászni és külön kell olvasztani, majd forró rézhez kell adni, hogy bronzötvtözetet készítsenek. A bronzkor a fémek széles körű felhasználásának és a fejlődő kereskedelmi hálózatoknak az időszaka volt.

A bronzból készült termékek keményebbek és tartósabbak voltak a rézből készületeknél, ezért alkalmasabbak voltak fémeszközökként és fegyverekként történő használatra. A bronzkor a nagy birodalmak kialakulásának kora. Mezopotámiában ekkor jött létre a Sumér Birodalom és Babilónia a korszak nagyvárosi központjaival, mint Uruk, Eridu és Babilon. A városépítés hatalmas építményei mellett a mezőgazdaságban kiterjedt öntözőrendszereket építettek. A sumérok feltalálták az ékírást, hozzájuk kötődik a Gilgames eposz megszületése. A babiloni király,

Hammurabi kiadta a világ első ismert törvénykönyvét. A Tigris folyó mellett felépült Asszur volt az Anatóliától Egyiptomig terjedő Asszír Birodalom fővárosa.



A bronzkor magterületei

Forrás: Saját szerkesztés

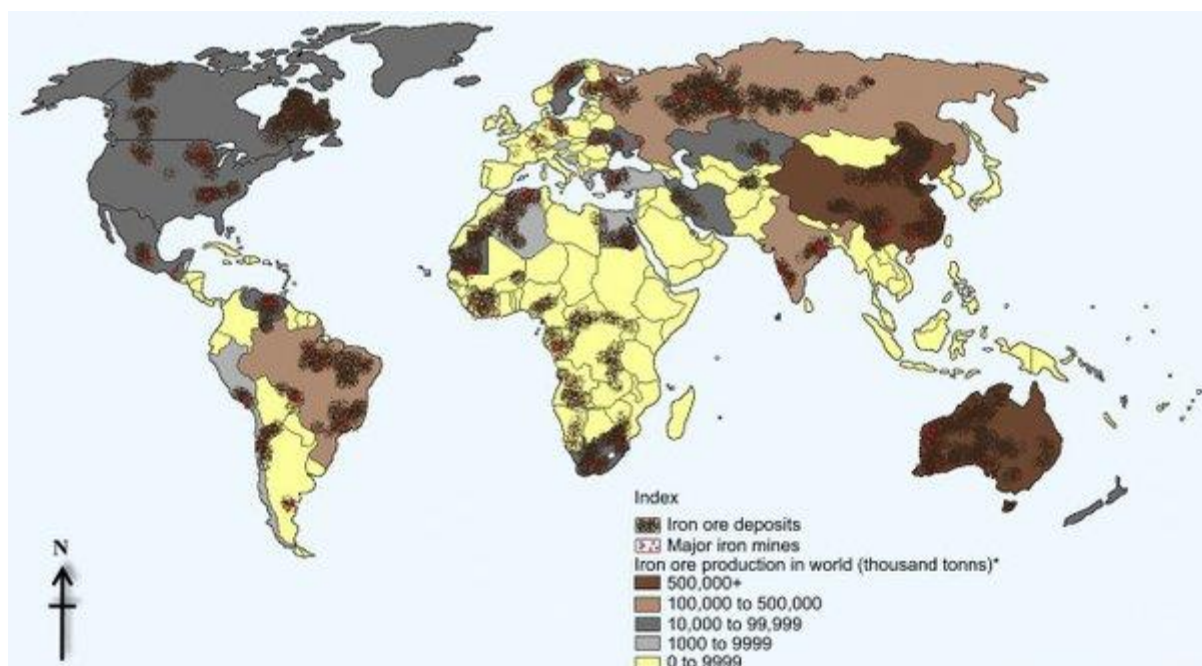
A görög bronzkor az Égei-tenger Küklad szigetein kialakult kora-bronzkori civilizációval vette kezdetét (Thira) i.e. 3200 körül, amit néhány száz évvel később a krétai Minósz-kultúra, Európa első fejlett civilizációja követett. A minószinak kereskedő nép voltak, akik Egyiptom, Szíria, Ciprus és a görög szárazföld között ónt, olívaolajat, bort és festékeket exportáltak fémekért és egyéb nyersanyagokért, elefántcsontért, drágakövekért cserébe. A görög szárazföldön i.e. 1600 körül virágzott fel a Mükénéi kultúra a Peloponnészosz félszigeten. Ennek központjai voltak Mükéné, Théba, Spárta és Athén. A trójai háborúról szóló Homéroszi eposz máig az európai kultúra egyik alapműve.

A bronzkor a késő bronzkori összeomlással ért véget, amely a Kr. e. 12. században, kb. 1200 és 1150 között a széles körű társadalmi összeomlás időszaka volt. Az összeomlás a Földközi-tenger keleti részén (Észak-Afrikában és Délkelet-Európában) és a Közel-Keleten, különösen Egyiptomban, Kelet-Líbiában, a Balkánon, az Égei-tengeren, Anatóliában és a Kaukázusban nagy területet érintett. A természeti csapások és a társadalmi feszültségek hirtelen, erőszakos és kulturális szempontból sok bronzkori civilizáció számára bomlasztó folyamatokat indítottak el, ami a regionális hatalmak számára éles gazdasági hanyatlást hozott, a görög sötét középkor kezdetét jelentette.

Vasérclelőhelyek és vaskohászati központok a vaskorban

A Föld legfontosabb vasérclelőhelyei

A Föld legfontosabb vasérclelőhelyei magmás vasércképződéssel jöttek létre a minden kontinensen megtalálható ősföldeken, de ezen kívül számos kisebb, ún. hidrotermális vasérctelep található a Föld különböző pontjain (Balogh, 2017). A vaskorban azonban nem alakult ki mindenhol vasércbányászat, a vasérckitermelésben jelenleg világelső Ausztráliában például csak a 20. század elején fedezték fel a készleteket (Bubner et al., 2003).



A Föld legfontosabb vasérckészletei

Az ábra forrása: U.S. Geological survey, 2008 alapján Banjeree et al. 2018.

A vasérc bányászata és felhasználása a vaskorban

A régészeti leletek arról tanúskodnak, hogy már jóval az i.e. 1200 körül kezdődő vaskor előtt is bányászták és felhasználták a vasércet. Dél-Amerika csendes-óceáni partvidékének legkorábbi lakói már a pleisztocén-holocén átmenet idején (kb. i.e. 12.000-10.500 évvel) termeltek ki vas-oxidokat. A halászó-gyűjtögető életmódot folytató népcsoportok jól fejlett bányászati ismeretekkel rendelkeztek, amit az is bizonyít, hogy egy feltárt, korai holocén idején működő lelőhelyen becslések szerint 700 m³ kőzetet mozgattak meg. A kinyert érceket elsősorban pigmentanyagként használták fel ruhák díszítéséhez vagy testfestéshez (Salazar et al., 2011).

A vaskori vasércbányászati és vaskohászati központok kialakulása egymástól függetlenül zajlott, de nincs egyértelmű bizonyíték annak, hogy az egyes kultúrák nem voltak hatással egymásra (Alpern, 2005). A legkorábbi vaskohászátról tanúskodó lelőhelyek egyike Nyugat-Afrikában, a mai Nigéria területén található Lejjában van, és i.e. 2631–2458 közötti időszakból

származik (Bandama et al., 2023). A térségben számos más törzs és népcsoport körében elterjedt a vaskohászat, mint például a szintén Nigéria területén működő, kerámiaművészetéről ismert Nok-kultúrában is, ahol i.e. 750 és i.e. 550 között alakulhatott ki ez a technológia (Miller – Van Der Merwe, 1994). A vaskohászat a bantuk terjeszkedésével párhuzamosan terjedt el egész Afrikában az i.e. 3. században (Miller – Van Der Merwe, 1994), bár egyes Közép-Afrikai területeken ennél már jóval korábban, az i.e. 3. évezredben is foglalkoztak vasmegmunkálással, csak a kohászatot nem ismerték (Pringle, 2009). A jelentős vasércvagyonnal rendelkező Kongói Demokratikus Köztársaság területén a kerámiakészítéssel és vasmegmunkálással foglalkozó Kay Ladio falucsoport volt a térség első jelentősebb vastermelő közössége. A vastermelés jelenlétét i.sz. 30-ból és 475-ből származó vaskohók és vasból készült eszközök is bizonyítják (Clist et al., 2019).

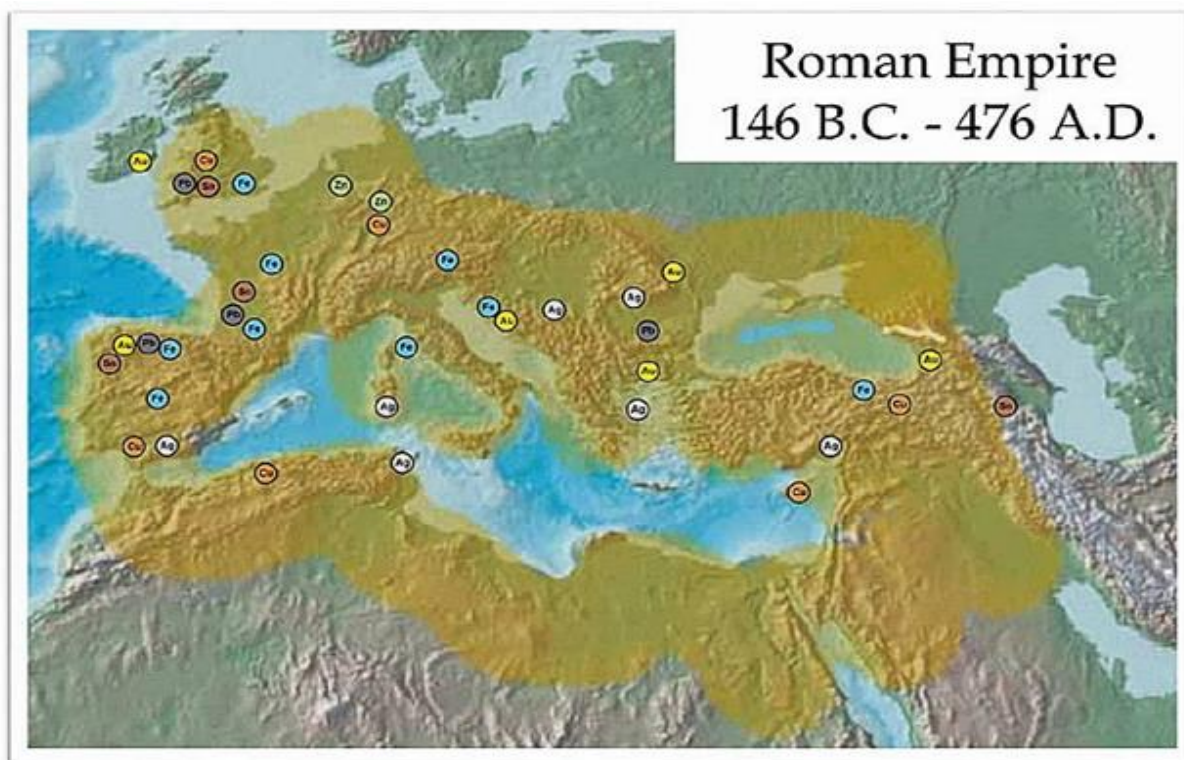
Euráziában a Kis-Ázsiában és a Közel-Keleten található vasérclelőhelyekhez köthető az első vaskohászati központok kialakulása: a mai Törökország területén található Anatólia területén az i.e. 2. évezred második felében kezdtek el vaskohászatot folytatni (Zaccagnini, 1990). Azért is alakulhatott ki itt Euráziában elsőként a vaskohászat, mert már a vaskort megelőző bronzkorban is foglalkoztak itt fémmegmunkálással (Steadman – McMahon, 2011). A Kaukázusban i.e. 1100 körülről (Erb-Satullo, 2018), Jordániában i.e. 930-ból származnak az első erre utaló régészeti leletek (Akanuma, 2008).

Indiában az első vaskohászatra utaló leletek i.e. 1800-ból származnak (Tewari, 2003), de a vaskohászat széles körben csak i.e. 1000 után terjedt el a szubkontinensen. A történészek véleménye megoszlik arról, hogy a technológia önállóan fejlődött-e ki a régióban, vagy Ázsia nyugati feléről került behozatalra (Uesugi, 2018).

Kínában a kontinens nyugati felénél később jelent meg a vas megmunkálása: az első erről szóló bizonyítékok az i.e. 800 és i.e. 400 közötti időszakból származnak. A vaskohászat azonban rövid időn belül elterjedt az ország teljes területén, és az i.e. 2. századra a Kínai Birodalom rendelkezett a világ legfejlettebb vasiparával (Bronson, 1999). Feltehetőleg ekkoriban kezdtek meg a területen található vasérckészlet kitermelését is (Lee et al., 2008). Az Eurázsiai vaskohászat fejlődési tengelyétől elzárt, de szintén jelentős vasérckészlettel rendelkező Dél-Szibériában az i.e. 1. században jelentek meg az első vaskohók (Vodyasov et al, 2023).

Európában a Közel-Keletről és a Kaukázusból kiindulva terjedt el a vaskohászat i.e. 1100-tól, és fokozatosan terjedt el a kontinensen nyugati irányban, Írországból például csak i.e. 500-ban kezdődött el a vaskor (Collis, 2003). A kontinens belső részéről az első vasfelhasználást bizonyító leletek az i.e. 9. évszázadból származnak Hallstatt környékéről (Reinecke, 1902). A vaskor egyik legfontosabb európai vaskohászati központját az etruszkok alakították ki az Elba szigetén és az itáliai Baratti-öbölben az i.e. 5. évszázadtól, ami azután is megőrizte a jelentőségét, hogy a Római Birodalom elfoglalta a területet (Lang, 2017). A vaskohászat a vasércben gazdag Skandináv-félszigeten jelent meg a legkésőbb, a skandináv vaskor kezdete az időszámításunk utáni első évszázadokra tehető.

A vasmegmunkálás elterjedése az ókori Görögországban a mükénéi kultúra összeomlásával hozható összefüggésbe. Korábban a bronz előállításához szükséges ónt és rezet a korszakra jellemző központi irányító szervek, a paloták szerezték be, és miután ez a rendszer megbukott, a kereskedelmi csatornák is megszűntek, ezért az emberek rákényszerültek a helyben is elérhető vasérckészlet kiaknázására, melynek megmunkálásának módját már korábban is ismerték (Papadopoulos, 2017)



*Legfontosabb fémérc bányák a Római Birodalomban i.e. 146 és i.sz. 476 között
(az ábrán a vaséret a világoskék kör jelöli)*

Az ábra forrása: <https://depositsmag.com/2016/07/14/mining-in-ancient-greece-and-rome/>

Az i.e. 2. évszázadtól a Római Birodalom terjeszkedésével párhuzamosan egész Európában fejlődésnek indult a vasérckitermelés és a vaskereskedelem. A legjelentősebb vasércbányák Vallóniában és a mai Franciaország területén voltak, a kitermelt fémeket a Rhone folyón szállították el a birodalom központjába (Pagès et al., 2022). Fontos vaskohászati központ volt Pannónia tartományban, a Száva folyó mentén található Siscia, ahonnan az i.sz. 2-4. évszázad között becslések szerint 750 ezer tonna vasat szállítottak el a birodalom különböző pontjaira (Durman, 2002). A mai Ausztria területén található, vasércben gazdag Noricum provincia, ahol korábban a hallstatti kultúra is kialakult, a rómaiak hatására fontos vaskohászati központtá vált, ahol a vaskereskedelem az i.sz. 4. századig virágzott (Cech – Rehren, 2014). A vasérc bányászata a birodalom többi, vasérclelőhelyeket is magába foglaló provinciában is zajlott, például Britanniában (Bland et al, 2020) és Dacia provinciában (Nyulas, é.n.) is sokat fejlődött a vaskohászat és a vasércbányászat. Általánosságban megállapítható, hogy vasérc bányászata és a vaskohászat a birodalom szinte összes vasércben gazdag területén zajlott, és fejlődött a birodalom hatására.

A vaskori kultúra

A bronzkort követő vaskor alapját képező technológiai fejlődés radikális ugrás lehetőségét teremtette meg a vasból készített eszközök és fegyverek alkalmazása révén. Az erősebb fegyverek jelentős hódításokat tettek lehetővé, a vaseke használata hozzájárult a mezőgazdaság hatékonyságának növekedéséhez, a vassal összefüggő kézműipari tevékenységek fejlődéséhez, általában erősebb és tartósabb termékek előállításához. Az alkalmazott technikák és a kialakuló kultúrák térben és időben igen változatos képet mutatnak. Az időbeni tagolást illetően a

történészek és régészek megkülönböztetik a korai vaskort, a középső és a késői vaskort, de ezek lehatárolása erősen területfüggő, ahogy az egész vaskoré is. Kezdetét általában i.e. 1200 körülre teszik a nagy bronzkori civilizációk (Mykene Görögországban, a hettiták Törökországban) összeomlását követően, végét pedig egyesek Herodotosz i.e. 550 körül megjelent *Történelem* (Ἱστορία) című könyvének megírásához kötik, de a Kárpát-medencében pl. a római hódítások i.sz. első századi megjelenéséhez, Skandináviában pedig i.sz. 800 körülre, a vikingek felemelkedéséhez kapcsolják (History.com Editors 2023).



Vaskohászati központok a Római Birodalomban

Az ábra forrása: Lang (2017)

A vaskor technikai fejlődése a fegyvergyártás a hadfelszerelések és a haditechnika, hadászat és védelem mellett a civil életben is nagy előrelépést jelentett a mezőgazdasági technika, az építésszet, a kézműipar területén. Bár a társadalom alapvetően agrár jellegű és rabszolgatartó, de számos társadalmi csoport erősödik meg az urbanizáció, a városok és városi kultúrák fejlődésével, a dombtetőkre épült erődítmények és a folyóvölgyek menti települések terjedésével. Erősödik a kézműves szakmai specializáció pl. a kovácsolásra, agyagművességre, szövésre szakosodottak formájában. A társadalmi hierarchia alapját elsősorban a vagyon, a hatalom és a származás képezte. Kialakult egy elit réteg, amely a források feletti ellenőrzést és a közösségek vezetését gyakorolja. Új igazgatási formák és struktúrák jelennek meg.

Különösen fontos szerepet játszik a vallás, ami többnyire politeista. Áthatja az emberek mindennapi életét, a tevékenységek ciklusait, a különleges eseményekhez kötődő szertartásokat. Fontos szerepe van a civil életre is átható kézműipar, díszítőművészet, anyagi kultúra és építésszet fejlődésében.

A jobb közlekedési eszközök (kerekes járművek, hajók), az úthálózatok kiépítése, fejlesztése elősegítette a kereskedelem fejlődését, a külső kapcsolatok szélesedését.

A Közel-Keleten az első nagy vaskori birodalom felemelkedése az iráni fennsíkon pásztorkodó perzsáknak a vas felhasználására épülő hódításaihoz kapcsolódik. A méd birodalom alapjaira építve Nagy Kürosz (i.e. 593-530) a perzsákat az akkori világ (Közel-Kelet, Egyiptom és Dél-kelet-Európa) urává tette (5. térkép). Ebben a vas-és acélfegyverek, az első acélfelszereléssel védett lovasság, az új haditechnika mellett a hódítások stabilitásához nagymértékben hozzájárult a meghódítottakkal szembeni tolerancia (Hálából a perzsák "atyának", a görögök "törvényhozónak", a zsidók pedig egyenesen "felkentnek" nevezték, mivel hazaengedte őket a babiloni fogságból, engedélyezte templomuk felépítését és visszaadta annak kincseit (Harmat 2016)). A birodalomépítés igazgatási szervezetének alakításában a kincseiről is ismert Dareiosz a szatrapák mint igazgatási egységek felállításával emelhető ki, emellett az úthálózat fejlesztésével (pl. Szúsza-Ephesusz 2680 km) a kereskedelem, arany- és ezüstpénz veretésével, az adók pénzben történő beszedésével erősítette hatalmát. Egységes hivatalos nyelvet (arameus) vezetett be, szigorúan ellenőrizte a bíráskodást. Uralma alatt virágzott az Alkhaimenida-építészet, adminisztratív fővárossá tette Szúszt és megalapította a szakrális fővárost, Perszeopoliszt. A Perzsa Birodalomnak Nagy Sándor hadjárata vetett véget.



A Méd-Perzsa Birodalom

Forrás: Harmat 2016

Az európai vaskor főszereplői a szkíták főleg Kelet-Közép-Európában és a kelták. Magyarország különösen gazdag az ebből a korból származó leletekben. A kelták kis közösségekben, klánokban éltek, és egész Európát belakták. A különböző törzsek nyelve, kultúrája, vallása hasonló volt. Élő emlékeit (pl. nyelv) ma is megtaláljuk Írországbán, Nagy Britanniában, Spanyolországban. A szkíták és a kelták vasból készült fegyverei mellett a földművelésben és állattartásban használt szerszámaik, az ékszerek és a szerszámok gazdag, jellegzetes díszítése igényes és fejlett kultúráról tanúskodnak.

Források:

- Akanuma, H. (2008). The Significance of Early Bronze Age Iron Objects from Kaman-Kalehöyük, Turkey. *Anatolian Archaeological Studies*, 17, 313-20.
- Alpern, S. B. (2005). Did they or didn't they invent it? Iron in sub-Saharan Africa. *History in Africa*, 32, 41-94.
- Balogh K. (szerk.) (2017). *Szedimentológia*. Akadémiai Kiadó. Budapest

- Bandama, F., & Babalola, A. B. (2023). Science, Not Black Magic: Metal and Glass Production in Africa. *African Archaeological Review*, 1-13.
- Bland, R., Chadwick, A., Haselgrove, C., & Mattingly, D. (2020). *Iron age and Roman coin hoards in Britain*. Oxbow Books, Havertown
- Bronson, B. (1999). The transition to iron in ancient China. In: Pigott, V. C. (1999) (szerk.). *The archaeometallurgy of the Asian old world*. University of Pennsylvania Museum, Philadelphia. 177-98.
- Bubner, G., Hills, R., Dhu, T., & Dentith, M. (2003). Geophysical exploration for iron ore in the Middleback Ranges, South Australia. *ASEG Extended Abstracts*, 2003(3), 29-46.
- Cech, B., & Rehren, T. (2014). The production of ferrum noricum at Hüttenberg, Austria-the results of archaeological excavations carried out from 2003 to 2010 at the site Semlach/Eisner. *Early Iron in Europe*, 17.
- Clist, B., Hubau, W., Tshibamba, J. M., Beeckman, H., & Bostoen, K. (2019). The earliest iron-producing communities in the Lower Congo region of Central Africa: new insights from the Bu, Kindu and Mantsetsi sites. *Azania: Archaeological Research in Africa*, 54(2), 221-244.
- Collis, J. (2003). *The European iron age*. Routledge. London
- Durman, A. (2002). Iron resources and production for the Roman frontier in Pannonia. *Historical metallurgy*, 36(1), 24-32.
- Erb-Satullo, N. L. (2018). Patterns of settlement and metallurgy in Late Bronze–Early Iron Age Kvemo Kartli, southern Georgia.
- Harmat Árpád Péter (2016): A Perzsa Birodalom fénykora (2), Töri Klub, https://tori-klub.blog.hu/2016/10/07/a_perzsa_birodalom_fenykora ; Letöltve: 2024.02.15.
- History.com Editors (2023): Iron Age, History, <https://www.history.com/topics/pre-istory/iron-age> ; Letöltve: 2024.02.10.
- Lang, J. (2017). Roman iron and steel: A review. *Materials and manufacturing processes*, 32(7-8), 857-866.
- Lee, C. S., Qi, S. H., Zhang, G., Luo, C. L., Zhao, L. Y., & Li, X. D. (2008). Seven thousand years of records on the mining and utilization of metals from lake sediments in central China. *Environmental science & technology*, 42(13), 4732-4738.
- Miller, D. E., & Van Der Merwe, N. J. (1994). Early metal working in sub-Saharan Africa: a review of recent research. *The Journal of African History*, 35(1), 1-36.
- Nyulas, D. (é.n.). Dacia vastermelése. Forrás: https://romaikor.hu/a_romai_gazdasag/a_romai_birodalom_gazdasaga/feldolgozoipar/vaskohaszat_es_vasmeigmunkalas_a_romai_birodalomban_es_daciaaban/cikk/dacia_vastermelese#, Elérés: 2023.11.25.
- Pagès, G., Dillmann, P., Vega, E., Berranger, M., Bauvais, S., Long, L., & Fluzin, P. (2022). Vice-versa: The iron trade in the western Roman Empire between Gaul and the Mediterranean. *PloS one*, 17(5),
- Papadopoulos, J. K. (2014). Greece in the Early Iron Age: Mobility, Commodities, Politics, and Literacy. In: Knapp, A. B., & Van Dommelen, P. (szerk.). (2015). *The Cambridge Prehistory of the Bronze and Iron Age Mediterranean*. Cambridge University Press, Cambridge. 178-195.
- Pringle, H. (2009). Seeking Africa's first iron men. *Science*, 323(5911), 200-202.
- Rebay-Salisbury, K., & Wells, P. S. (2023). Chronology in Iron Age Europe. In: Haselgrove, C., Rebay-Salisbury, K., & Wells, P. S. (szerk.). (2023). *The Oxford Handbook of the European Iron Age*. 37-63. Oxford University Press, Oxford.
- Reinecke, P. (1902). Zur Chronologie der 2. Hälfte des Bronzealters in Sud-und Norddeutschland. *Korrespondenzblatt der deutschen Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte*, 33(3), 17-32.
- Salazar, D., Jackson, D., Guendon, J. L., Salinas, H., Morata, D., Figueroa, V., ... & Castro, V. (2011). Early evidence (ca. 12,000 BP) for iron oxide mining on the Pacific coast of South America. *Current Anthropology*, 52(3), 463-475.
- Steadman, S. R., & McMahon, G. (Eds.). (2011). *The Oxford handbook of ancient Anatolia: (10,000-323 BCE)*. Oxford University Press.
- Tewari, R. (2003). The origins of iron working in India: new evidence from the Central Ganga Plain and the Eastern Vindhyas. *Antiquity*, 77(297), 536-544.
- Uesugi, A. (2018). An Overview on the Iron Age in South Asia. In: Uesugi, A. (2018). (szerk.). *Iron age in South Asia*. Archaeological Research Institute, Kansai University, Osaka. 1-49.
- Veldhuijzen, H. A., & Rehren, T. (2007). Slags and the city: early iron production at Tell Hammeh, Jordan, and Tel Beth-Shemesh, Israel. *Metals and mines: studies in archaeometallurgy*, 189, 201.

- Vodyasov, E. V., Amzarakov, P. B., Sadykov, T. R., Shirin, Y. V., Zaitceva, O. V., Leipe, C., & Tarasov, P. E. (2023). Nine types of iron smelting furnaces in southern Siberia in the first millennium AD: A review of archaeological and chronological data. *Archaeological Research in Asia*, 36, 100479.
- Zaccagnini, C. (1990). THE TRANSITION FROM BRONZE TO IRON IN THE NEAR EAST AND IN THE LEVANT: MARGINAL NOTES. *Journal of the American Oriental Society*, 110(3), 493-502.
- Banerjee, R., P., Goswami, Mukherjee, A. (2018): Chapter 22 - Stabilization of Iron Ore Mine Spoil Dump Sites With Vetiver System, Editor(s): Majeti Narasimha Vara Prasad, Paulo Jorge de Campos Favas, Subodh Kumar Maiti, *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*, Elsevier, 2018, Pages 393-413, ISBN 9780128129869, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00022-1>.
- World in maps <https://worldinmaps.com/commodities/iron-ore/>
- <https://metalworldinsight.com/12-worlds-largest-iron-ore-reserves-2020/>
- <https://depositsmag.com/2016/07/14/mining-in-ancient-greece-and-rome/>

A FÉM „KÖZÉPKOR”

Az új vaskor: a vas és az acél kora

A vas és acélgyártás technológiai fejlődése

A vasgyártás kb. Kr.e. 2000 körül kezdődött, valószínűleg Dél-nyugat, vagy Dél-kelet Ázsiában, ill. a Kaukázus régióban. Ezzel megkezdődött a Vaskor, amely során a vas felváltotta a bronzot a fegyver és használati tárgyak gyártása területén és az emberi civilizáció legfontosabb nyersanyagává lépett elő az elkövetkező háromezer éven át Ázsiában, Afrikában és Európában. A vasat, mint meghatározó alapanyagot az acél az 1800-es évekre váltotta fel.

A vas a Földön negyedikként legsűrűbben előforduló elem és a földkéreg több, mint 5%-át teszi ki. A vas a természetben vasérc formában van jelen, melyek változatos ásványi összetételűek, de többségük fő alkotóeleme a vasoxid, és különböző arányban számos más elemet is tartalmaz, mint a szilícium, kén, mangán, foszfor. A vas vasérből történő kinyerése olvasztással történik, amely során a vasérből szén-monoxid, vagy szén-dioxid formájában az oxigén eltávozik. Ezt követi a salak eltávolítása mészke hozzáadásával. A hagyományos kovácsolás során kalapácsolással történt a salak és a hamu további eltávolítása és a kovácsoltvas előállítása, ami rendszerint 0.02-0.08 tömeg % szenet tartalmazott.

Az öntöttvas előállítása igen magas hőmérsékleten, általában több ezer Celsius-fok körül történik, a típustól függően összetevők hozzáadásával. A leggyakoribb öntöttvas-típusok közé tartozik a szürkeöntöttvas és a fehéröntöttvas. A szürkeöntöttvas előállításához a folyékony vasat a kohászati eljárások során az ún. kokillába öntik, majd hűtik és szilárdítják. A fehéröntöttvas előállításához magasabb hőmérsékletre van szükség, és a hűtési folyamatot különleges módon kezelik, hogy a vas fehér kristályszerkezetet alakítson ki. Az öntöttvas széntartalma magas, 3-4,5 tömeg %, ezért törékeny és megmunkálásra nem alkalmas. Az öntöttvas termékek előállítása a középkor óta a nagykohóból kilépő folyékony vas különböző formákba (kokilla) öntésével történt. Az 1700-as években Darby fedezte fel a koks alkalmazását a faszén helyettesítésére a vas különböző szennyezőnek eltávolítására.

Az acél széntartalma 0.2-1.5%, ami elegendő a kovácsoltvasnál nagyobb keménység előállítására, ugyanakkor nem annyira rideg, mint az öntöttvas. Az acél keménysége, rugalmassága és

húzószilárdsága miatt sokkal szívósabb anyag, mint bármilyen öntöttvas. Technológiai okok miatt az 1800-as évekig azonban az előállítása problematikus és nagyon költséges volt. A Bessemer konverter feltalálásáig az acélt az ún. cementálási eljárással gyártották. Az 1850-es évekig nem volt lehetőség a vas szénttartalmának a szabályozására, mégis a vasút terjedése óriási piacot nyitott az acél felhasználására.

A Bessemer eljárás feltalálójáról kapta a megnevezést (Sir Henry Bessemer, 1813-1898). Az eljárás lényege, hogy a vasban megkötött szén jól egyesül az oxigénnel és a megolvadt öntöttvason átfúvatott levegővel történő redukcióval csökkenthető a vas széntartalma. Az eljárás hátránya volt azonban, hogy nem távolította el a vasból a kén, amit később a konverterbe történő mészke adagolással oldottak meg. Ezzel lehetővé vált, hogy a világ számos táján előállított nyersvasból nagymennyiségben állítsanak elő acélt Bessemer konverterben, amely következtében óriási mértékben megnövekedett az olcsó acél gyártása az USA-ban és Európában. Az 1860-as években még kb. 0,5 millió tonna éves nyersvas vasúti sín gyártása az 1880-as években lényegében megszűnt, amit évi 1,5 millió tonna acél sín gyártása váltott fel.

Az 1860-as években jelent meg a Karl Wilhelm Siemens német mérnökről elnevezett, először szén-gáz, később földgáz tüzelésű, nyitott kemencés Siemens gáz-kohó. Ezzel az eljárással a Bessemer-féle eljárásnál nagyobb adagokban lehetett acélt előállítani és nyersvasat, ill. hulladék vasat is fel lehetett benne dolgozni, továbbá a vevő igényei szerint sokkal pontosabban lehetett beállítani az acél kémiai összetételét, ill. mechanikai tulajdonságait. Ezen tulajdonságok és lehetőségek eredményeképp a Siemens eljárás, a martinkemence, az 1900-as években lényegében kiszorította a Bessemer eljárást és a 20. század közepére a világ acéltermelésének mintegy 75%-át ezzel a technológiával állították elő. A martinkemencében az alapanyagot tekintve a nyersvas mellett a hulladék aránya 40-60% is lehetett. A martinkemencék a vas- és acélhulladékok újra felhasználásával fontos társadalmi-gazdasági feladatot láttak el, amiket az 1960-as évektől folyamatosan kiszorítottak a 8-szor, 10-szer nagyobb kapacitású oxigén konverterek. A század végére a vaskohászat technológiájának két stabil termelési változata alakult ki: az integrált acélmű és a mini acélmű. A konverterek csak 20-25% hulladékot képesek bedolgozni, ezért elektrokemencékre hárult az a feladat, hogy átvegyék a martinkemencéktől a hulladékfeldolgozó szerepét. Az elektrokemencében ugyanis akár 100% hulladék is beolvasztható, mert a szükséges mennyiségű energia betáplálható; konverterben viszont a 75-80% folyékony nyersvas kémiai energiája csupán 20-25% hulladék beolvasztására elegendő. A hulladék újra hasznosításával az elektrokemencék új feladatot is kaptak; korábban ugyanis az ötvözt- és nemesacélok gyártásában voltak nélkülözhetetlenek. A hulladékbázisú elektroacél olcsóbb, mint a konverteracél, mivel a hulladék - még a megolvasztás energiaköltségét is számításba véve - olcsóbb, mint a folyékony nyersvas. Ezt kihasználva, az 1970-es években, az USA-ban néhány százezer tonna hengereltáru termelésre olyan regionális üzemeket építettek ki, amelyekben hulladékból és ócskavasból elektrokemencében gyártották a kereskedelmi acélokat. A viszonylag kis kapacitás miatt az ilyen vertikumnak a miniacélmű nevet adták. Velük szemben integrált acélmű néven emlegetik a nagyolvasztós-konverteres acélműveket.

A globális acélipar és piac kialakulása a 19. században

Az új gyártási technológiák, ill. folyamatos továbbfejlesztésük és ezek következtében az egyre alacsonyabb költséggel előállított acél a 19. századtól folyamatosan forradalmi változásokat eredményezett a világ számos piacán, mint a vasút, az olaj és gázvezetékek, kőolajfinomító és erőmű ipar, az építéset, közúti és vízi közlekedés, szállítmányozás stb., valamint a szerszámok és háztartási eszközök, mint a hűtőszekrény, mosógép, mosogatógép stb.

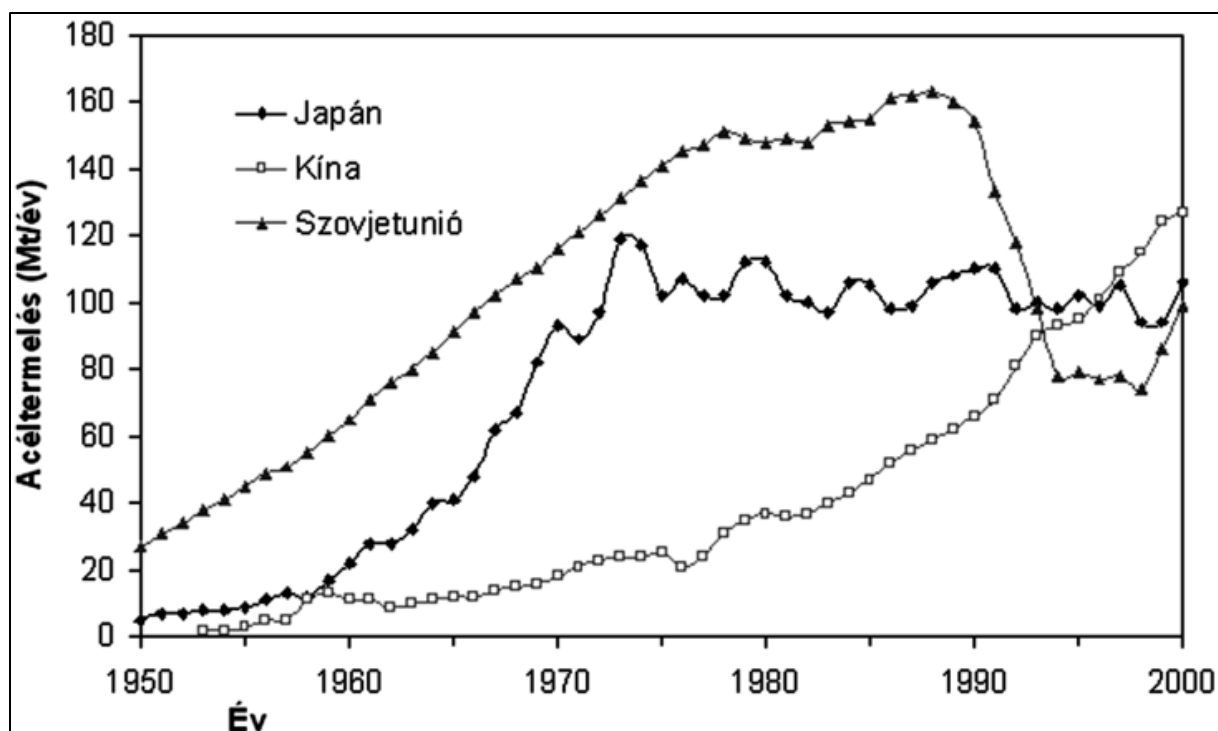
Nagy-Britannia ipari forradalomban betöltött vezető szerepét magyarázza az ország korai elköteleződése az olyan iparágak iránt, mint a szénbányászat, a gőzgép, a textilgyártás, a gépgyártás, a vasút, a hajóépítés stb. A szigetország 19. század első felére a világ legerősebb gazdaságává vált az acél iránti óriási kereslet, a tőke rendelkezésre állása és a széles vállalkozói rétegnek köszönhetően. Az 1880-as évekre a világon előállított nyersvas felét Nagy-Britanniában állították elő, aminek mintegy 40%-át exportálták az Egyesült Államokba a vasútépítés és az ipari infrastruktúra kiépítése jelentette egyre növekvő igény kielégítésére. Nagy-Britanniában a nyersvasgyártás az évszázad során folyamatosan, ugrásszerűen nőtt: az 1840-es évek 1,3 millió tonna termelése 1870-re 6,7 millió tonnára nőtt, ami az évszázad végére elérte a 10 millió tonnát. Az évszázad végére azonban Nagy-Britannia piaci részesedése jelentősen csökkent: a világ nyersvas termelésének már csak a harmada, az acéltermelés mintegy 20%-a folyt a szigetországban. Az USA-ba történő export, a helyi termelés ugrásszerű növekedésével minimálisra csökkent. Németország acéliparának fejlődésével Nagy-Britannia elvesztette vezető szerepét és a brit acél időközben a hazai piacon is kiszorult az olcsóbb amerikai termékeknek köszönhetően.

Az Egyesült Államokban Andrew Carnegie volt a legsikeresebb vállalkozó, aki versenytársainál korábban felismerte a Bessemer és a későbbi acélgyártási technológiák jelentőségét, és az azokban rejlő üzleti lehetőségeket. Az USA acélgyártása az 1870-es évektől az I. világháború kezdetéig évi 1-2 millió tonnáról több, mint 30 millió tonnára növekedett. Azonos időszak alatt Németország termelése 1,5 millió tonnáról évi mintegy 20 millió tonnára nőtt. Franciaország, Belgium, az Osztrák-Magyar Monarchia és Oroszország összesített termelése az 1870-es évektől évi kb. 2 millió tonnáról 14 millió tonnára emelkedett. A világháború során a katonai igények növekedése további kereslet növekedést jelentett az acéltermékek iránt. A 19. század közepétől az I. világháborúig tartó időszakban tehát a vas és acélgyártás súlypontja Nagy-Britanniából áttevődött egyrészt a tengerentúlra, az Egyesült Államokba, másrészt az európai kontinensre.

A globális acélipar fejlődése a 20. században

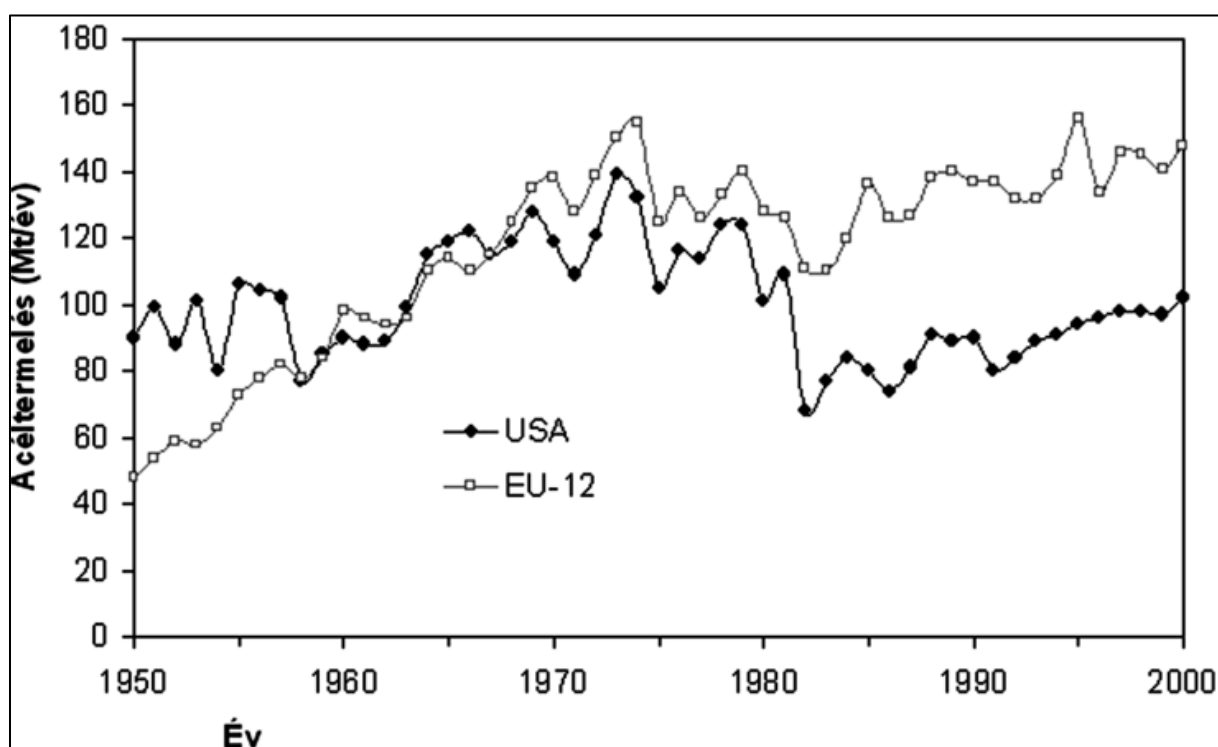
A világ acéltermelése az 1930-as évekre érte el az évi 100 millió tonnát, ami az 1970-es évek második felére 700 millió tonnára nőtt. Az évszázad során az új gyártók piacra lépésével a termelés földrajzilag jelentősen diverzifikálódott. Jelentős kapacitások épültek ki Ázsiában, Dél-Amerikában és az indiai szubkontinensen. A 1990-es évtized végére Kína, Japán és a Szovjetunió a világ vezető acélgyártóivá váltak (1. ábra), míg az USA és az Európai Unió országainak termelése stagnált (2. ábra). A 2022-ben a világ kiemelkedően legnagyobb acélgyártója Kína (1.0 milliárd tonna), amit India és Japán követ, (125,3 milliárd tonna, ill. 89,2 millió tonna). A rangsorban az USA (80.5 millió tonna), Oroszország (71,5 millió tonna) és Dél-Korea (65,8 millió tonna) következik. Németország, Törökország, Brazília és Irán következnek a sorban 30-40 millió tonna közötti termeléssel.

A piaci szerkezet megváltozásával az évszázad során a piaci koncentráció jelentősen csökkent: a Herfindhal-Hirschman index a század eleji 0,3 értékről, lényegében a 0,01 alá csökkent. A globális acélgyártás növekedése a 21. században is folytatódott, de üteme némileg csökkent: a világ termelése 2000-ben 850 millió tonna, 2010-ben 1,45 milliárd, 2022-ben pedig mintegy 1,9 milliárd tonnát ért el.



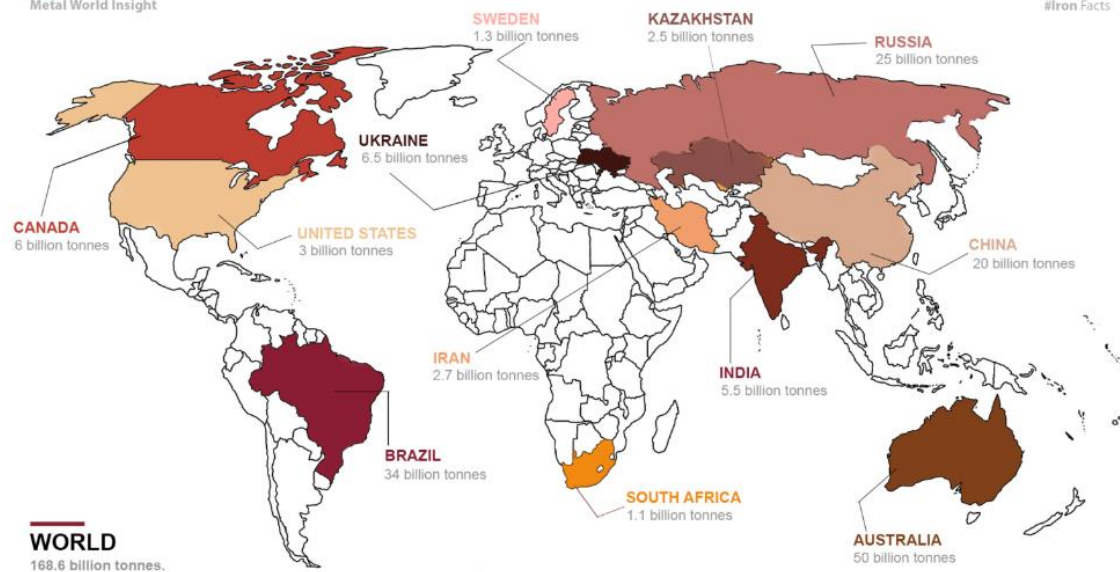
Kína, Szovjetunió és Japán acélgyártásának fejlődése, 1950-2000

Forrás: Sziklavári (2002)



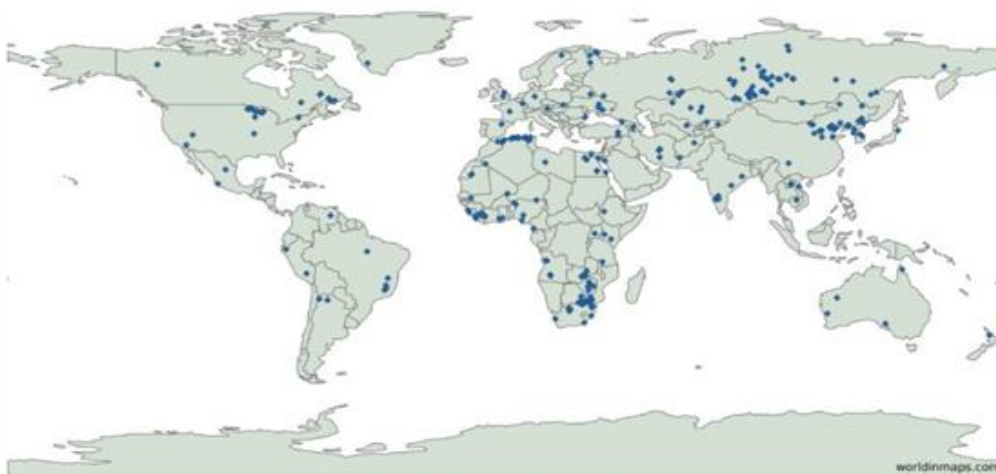
Az USA és az Európai Unió acéltermelése, 1950-2000

Forrás: Sziklavári (2002)



World's 12 Largest Iron Ore Reserves 2020

A 12 legnagyobb vasérckészlettel rendelkező ország



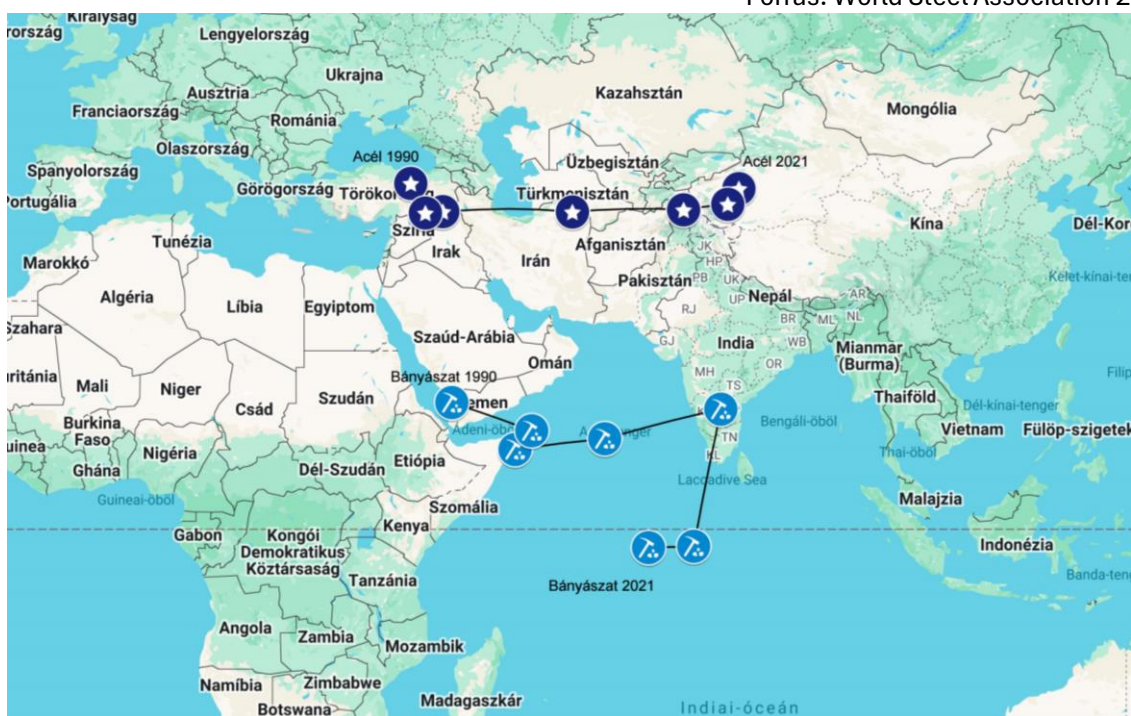
A világ legnagyobb vasérclelőhelyei és vasérckitermelő országai

Térképek forrása: <https://metalworldinsight.com/12-worlds-largest-iron-ore-reserves-2020>

A világ acéltermelése és a gyártó nemzetek rangsora 2022-ben. millió tonna

Világtermelés	1 885,4
Kína	1 010,0
India	125,3
Japán	89,2
USA	80,5
Oroszország	71,5
Dél-Korea	65,8
Németország	36,8
Törökország	35,1
Brazília	34,1
Irán	30,6
Olaszország	21,6
Tajvan	20,8
Vietnám	20,0
Mexikó	18,1
Indonézia	15,6
Franciaország	12,1
Kanada	12,1
Spanyolország	11,5
egyéb országok	174,7

Forrás: World Steel Association 2022



A vas- és acélgyártás globális súlypontjainak változása 1990-2021 között

Saját szerkesztés

A 21. században a továbbiakban világ acélipara három fő kihívással néz szembe. Az első a piaci igények megváltozásával a termelés csökkenése. A második az új technológiák megjelenése és azok integrálása a hagyományos folyamatokba, mint a digitalizáció, a körkörös gazdaság és az

új, egyre kifinomultabb gyártási technológiák. A harmadik kihívás a környezeti versenyképesség bizonyítása a társadalom felé.

Források

- Spoerl, J. S. (2004). A brief history of iron and steel production. Letöltés: https://www.academia.edu/31060927/A_Brief_History_of_Iron_and_Steel_Production
- World Steel Organization (2023). Letöltés: <https://worldsteel.org/>
- Sziklavári, J. (2002). Vaskohászat és környezetgazdálkodás = Magyar Tudomány XLVII. kötet, 2002/7. szám. 903-917. oldal. Letöltés: <http://www.matud.iif.hu/2002-07.pdf>

A FÉM „ÚJKOR”

Az alumínium, mint a könnyűfém korszak meghatározó eleme

Az alumínium, mint fém

Az alumínium a periódusos rendszer 13. eleme a földfémek csoportjában, a Földön az oxigén és a szilícium után a harmadik leggyakrabban előforduló könnyű fém. Nevét a timsó latin névből (alumen) kapta. Színe ezüstfehér, jól vezeti a hőt és az elektromosságot, elektromos vezetőképessége az ezüst, a réz és az arany után a negyedik legjobb. Bár a közhiedelem szerint nem rozsdásodik, ezért is kedvelt burkolóanyag, valójában a felszínén egy vékony oxidréteg alakul ki az oxigénhez való nagy affinitása miatt, ami megvédi az átrozsdásodástól. Ez az oka, hogy kohászati eljárásokkal ipari méretekben nem állítható elő, csak elektrolízissel.

A természetben tiszta állapotban nem fordul elő csak különféle vegyületek formájában. Leggyakoribb alumíniumoxidos ásványai a bauxit, a kaolinit, a nefelin és az alunit. A korund fém-oxidokkal színezett kristályai, a rubin és a zafír féldrágakövek.

Az alumínium története: a felfedezéstől az ipari áttörésig

Az alumínium felfedezőjeként Sir Humphry Davy brit tudós nevét kell megemlíteni, aki 1807-ben elsőként igazolta az elem létezését. Habár Davy neve összefonódik az alumínium felfedezésével, az ipari szintű előállítása még évtizedekig kihívások elé állította a kutatókat. Ezt követően H.C. Oersted, egy dán tudós 1825-ben, kálium-amalgámmal és alumínium-kloriddal végzett hőkezeléssel sikeresen állított elő kisebb alumínium darabokat.

Friedrich Wöhler német kutató további lépéseket tett az 1800-as évek közepén az alumínium megismerésében. 1845-re Wöhler alaposan feltérképezte a fém fizikai jellemzőit, azonban az alumínium előállítása továbbra is összetett művelet volt és magas költségekkel járt, ami korlátozta szélesebb körű ipari felhasználását.

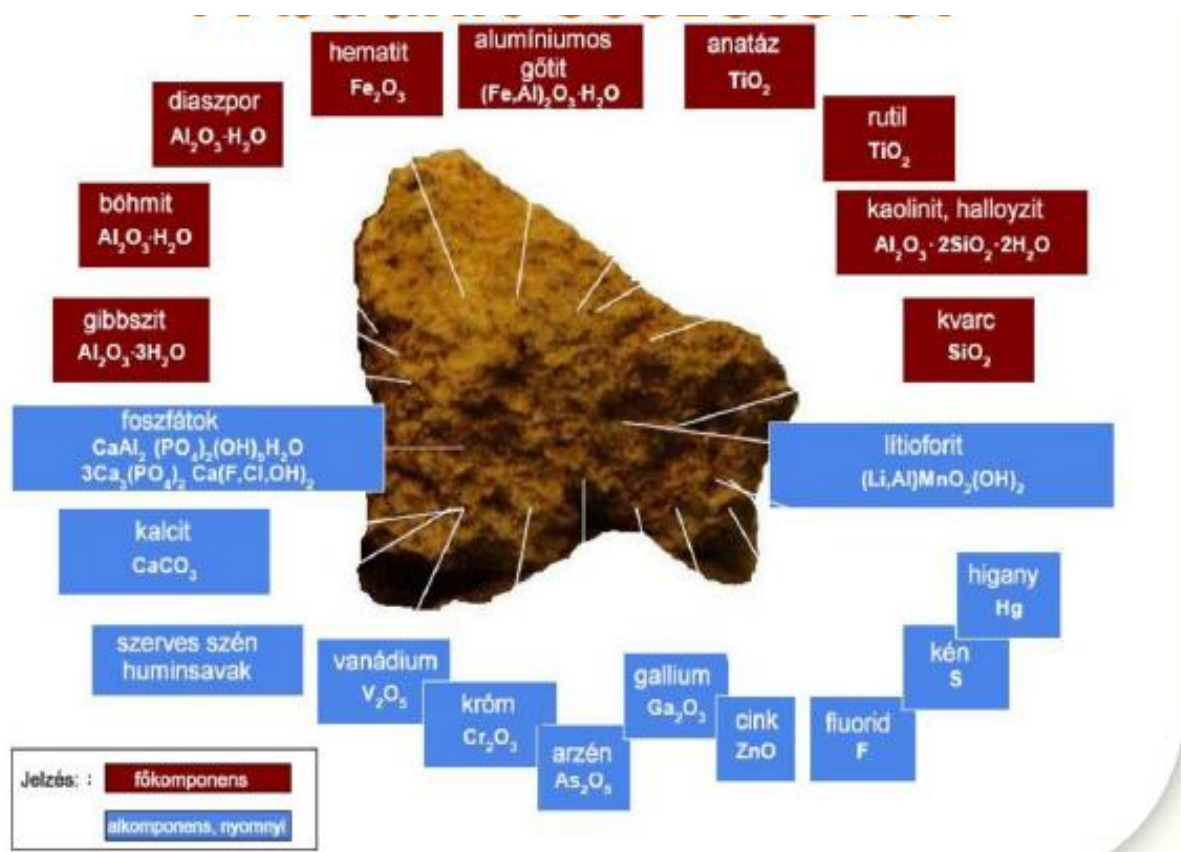
A nagy áttörést később, a 19. század végén érte el az alumíniumipar, Charles Martin Hall és Paul L. T. Héroult által felfedezett elektrolízises kivonási folyamaton keresztül, kriolit használatával. Hall és Héroult függetlenül egymástól dolgoztak ki egy módszert, melyet napjainkban

Hall-Héroult eljárás néven ismerünk. Hall, az amerikai vegyész 1886-ban szabadalmaztatta az alumíniumfém alumínium-oxidból történő elektromos kinyerési eljárását, ami mérföldkövé vált az alumíniumgyártásban. Ugyanebben az évben hasonló megoldást prezentált Héroult, francia kémikus is.

Ezek a fejlesztések lényegesen lecsökkentették az alumínium előállításának költségeit, lehetővé téve a fém nagymennyiségű gyártását. Az alumínium ekkortól vált megfizethetővé és gazdaságilag észszerűvé az ipar számára, a Hall-Héroult folyamat pedig az alumíniumipar későbbi gyors növekedésének alapját teremtette meg a 19. és 20. század fordulóján. (King, 2001)

Az alumínium gyártása

Az alumínium egyetlen gazdaságosan hasznosítható érce a bauxit. Nevét Le Baux dél-franciaországi városról kapta, ahol felfedezték. A bauxit különböző ásványokból álló üledékes kőzet, melynek fő alkotóelemei az alumíniumhidroxid, a vasoxid (hematit), a szilíciumdioxid és a víz számos egyéb ásványi anyag, különböző ritkafémek mellett.



A bauxit összetevői

Forrás: m-t.hu 2020, 5.

Két előfordulási típusa van:

- a laterites bauxit trópusi éghajlat alatt keletkezett mállási termék, mely nagyterjedésű területeken vékony fedőréteggel borítva 5-40 méter vastagságú rétegeket alkot. Ez előnyös a kitermelés szempontjából, mert külszíni fejtésekben nagy termelékenységgel, olcsón kibányászható. Ezzel magyarázható, hogy a világ legnagyobb bauxitkitermelő országai trópusi országok (1. táblázat).
- a karsztbauxit mészkőre, dolomitra ezek karsztos felszínére rakódott le a földtörténeti múltban. Eből adódóan a bauxittelepek nem nagy területeken alkotnak összefüggő rétegeket, hanem a mélyedéseknek megfelelő lencsés vagy tömzs alakúak, vastagságuk 5-30 méter. Ráadásul a rétegeket törések, vetődések zavarják meg, ami a karsztos területeken a bányászatot a karsztvízbetörések veszélye miatt is nehezíti. Ilyen karsztbauxitos területek az európai mediterrán térségben (Franciaország, Görögország, Horvátország bauxitjai) találhatók, de ilyen a magyar és az erdélyi bauxit is. Magyarországon 1990-ben még 2,5 millió tonnát bányásztak, ami 2018-ra 5 tonnára csökkent.

A világ vezető bauxitkitermelő országai

	1990		2000		2 010		2018	
Country	ezer tonna	%	ezer tonna	%	ezer tonna	%	ezer tonna	%
World	113000	100,0 %	136000	100,0 %	238 000	100,0 %	339000	100,0 %
Australia	41400	36,6%	53800	39,6%	68 400	28,7%	95948	28,3%
China	2400	2,1%	9000	6,6%	44 000	18,5%	79000	23,3%
Guinea	15800	14,0%	15700	11,5%	15 300	6,4%	57000	16,8%
Brazil	9680	8,6%	13900	10,2%	32 000	13,4%	32007	9,4%
India	4850	4,3%	7560	5,6%	18 000	7,6%	23229	6,9%
Indonesia	1210	1,1%	1150	0,8%	27 000	11,3%	11000	3,2%
Jamaica	10900	9,6%	11100	8,2%	8 540	3,6%	10058	3,0%

Forrás: US Geological Survey 2018 adatai alapján saját szerkesztés

A bauxittermelés súlypontjának változása jelzi az ázsiai, elsősorban kínai kitermelés rohamos növekedését.



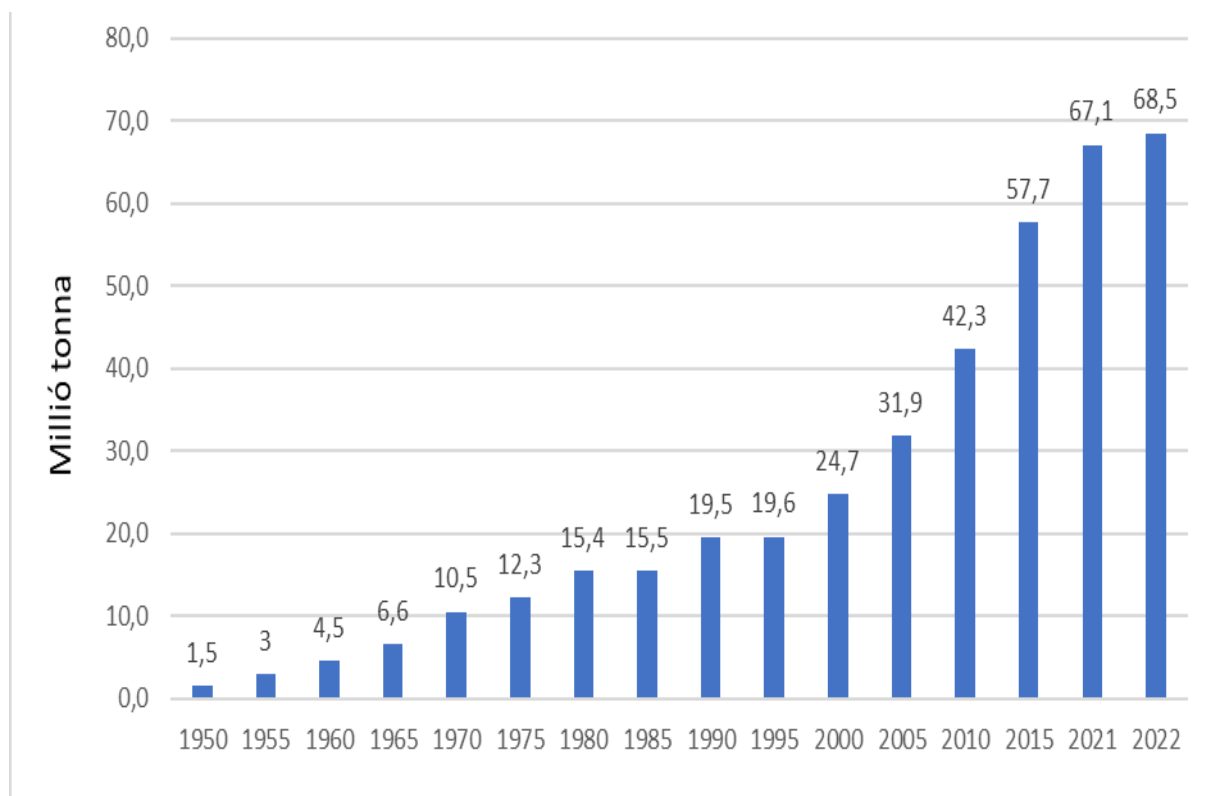
A bauxit kitermelés súlypontjának változása

Forrás: US Geological Survey 2018 alapján saját Google Map szerkesztés

Az alumínium előállításához a bauxitból a Bayer-féle lúgos eljárással (nátronlúg felhasználásával) timföldet (alumíniumoxidot) állítanak elő. Az eljárás mellékterméke a vörös iszap, melyben felhalmozódnak a bauxit alumíniumgyártás számára nem felhasználható anyagok. Szárítása, tárolása az alumíniumgyártás egyik nagy környezeti problémája, pedig mint a fenti ábra is mutatja, sok ritkafémet is tartalmaz a magas vastartalom mellett (ezért vörös). A timföldgyártás tehát magas víz- és fűtőanyagigényű folyamat jelentős nátronlúg igényvel. Magát a timföldet nem csak alumíniumgyártásra használják, hanem csiszolóanyagként korundot, és speciális timföldet is készítenek pl. kemencékhez és kerámiaipari felhasználásra.

A timföldet kriolittal keverik az olvadáspont csökkentés céljából. A kriolitot 1987-ig csak Grönlandon bányászták, azóta a készlet kimerülése miatt mesterségesen állítják elő a bauxitfeldolgozás termékeinek felhasználásával. A timföldből elektrolízissel nyerik ki a 99,3-99,7%-os kohóalumíniumot, tehát a villamosenergiaigénye az alumíniumkohászatnak nagy. Ez az oka annak, hogy az alumíniumkohászat súlypontjai messze esnek a bauxitbányászat súlypontjaitól, változásuk jelzi az ázsiai, elsősorban kínai alumíniumkohászt térnyerését.

Az alumíniumtermelésnek az 1950-es évektől tartó lineáris növekedése 1995 után ugrott meg exponenciális jelleggel, amit a 2020-as évek mérsékeltebb növekedése követett. Ez a visszaesés azonban lehet, hogy csak a COVID okozta járvány hatása:



Elektrolízissel előállított alumínium mennyisége globálisan

Forrás: International Aluminium 2003, 1.



A bauxitbányászat és az alumíniumkohászat súlypontjának változása 1990-2018

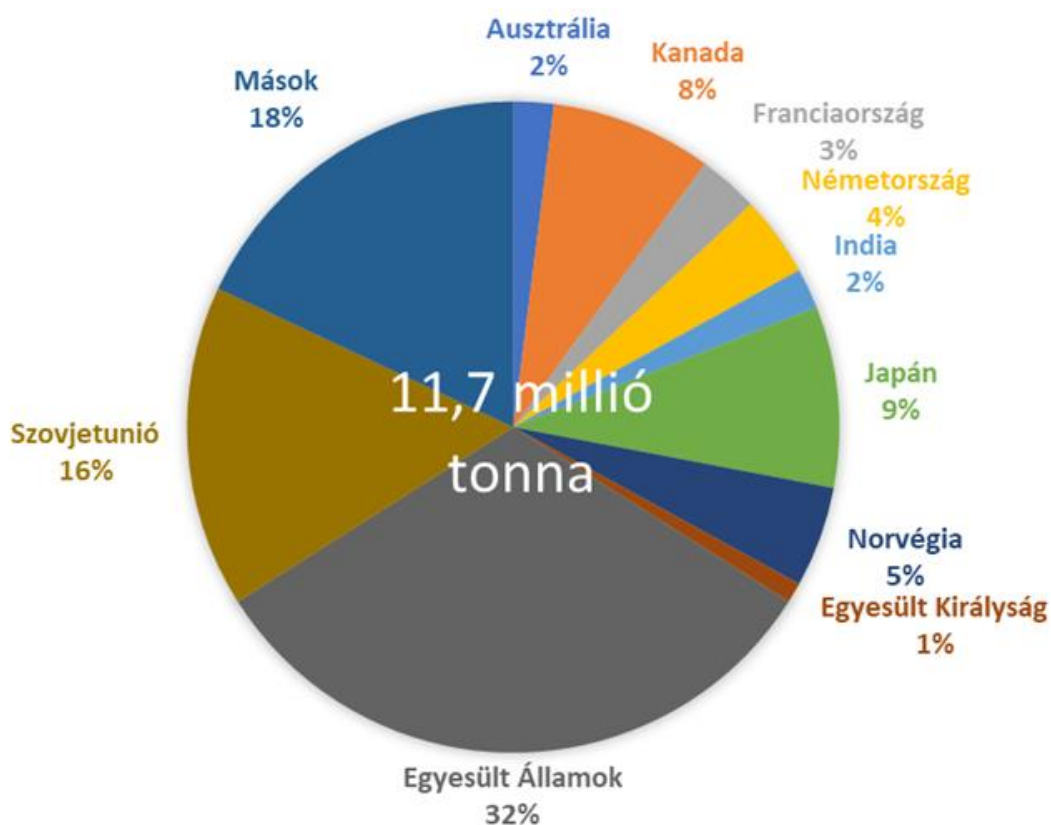
Forrás: US Geological Survey 2018 alapján saját Google Map szerkesztés

Az alumínium kulcsfontosságú szerepe napjainkban

Az alumíniumipar kiemelkedő szerepét jól prezentálja, hogy napjainkra a második legtöbbet felhasznált fém a világon, csak az acél előzi meg. Az alumínium esetében egy rendkívül sokoldalú fémről beszélhetünk. Számos előnnyel rendelkezik, ezáltal hozzájárulva a széleskörű felhasználásához különböző iparágakban. Az alumínium könnyű formálhatósága, alacsony fajsúlya és magas fajlagos szilárdsága miatt rendkívül jelentős a járműiparban és repülőgépgyártásban, ahol a súlycsökkentés döntő szerepet játszik. Az alumínium korrózióállósága további pozitívum a hosszú élettartam és alacsony karbantartási igény miatt. Az alumínium kiváló vezetőképeséggel rendelkezik, ennél fogva nagy arányban használják elektromos vezetékek és hővezető rendszerek gyártásában. Élelmiszerbiztonság szempontjából is kedvező, ezért széles körben alkalmazzák italosdobozok, csomagolóanyagok és élelmiszerrel érintkező termékek előállításánál. Továbbá fontos kiemelni magas szintű újrahasznosíthatóságát a fenntarthatóság szempontjából. Mindezek az előnyök együttesen teszik az alumíniumot a 21. század egyik meghatározó fémévé.

Alumíniumipar felemelkedése

Az alumíniumgyártás kezdetben az iparosodott országokban koncentrált. A nemzetközi alumíniumipart az 1970-es évek elején „Six Majors” néven emlegetett – Alcoa, Alcan, Reynolds, Kaiser, Pechiney és Alusuisse uralta. Együttes részesedésük az elsődleges alumínium termelésben meghaladta a 73%-ot. Piaci előnyükhöz nagyban hozzájárult, hogy vertikális integrációt alkalmaztak, ami a nyersanyagkitermelésen, annak feldolgozásán az alumínium előállításán túl egy kalap alatt kiterjedt a végtermékek előállítására is. Ilyen végső felhasználású termékek például a kábelek, vezetékek, lemezek, fóliák és csövek. Ezzel a tevékenységgel növelni tudták a versenyképességüket és ellenőrzésüket a piaci folyamatok felett.

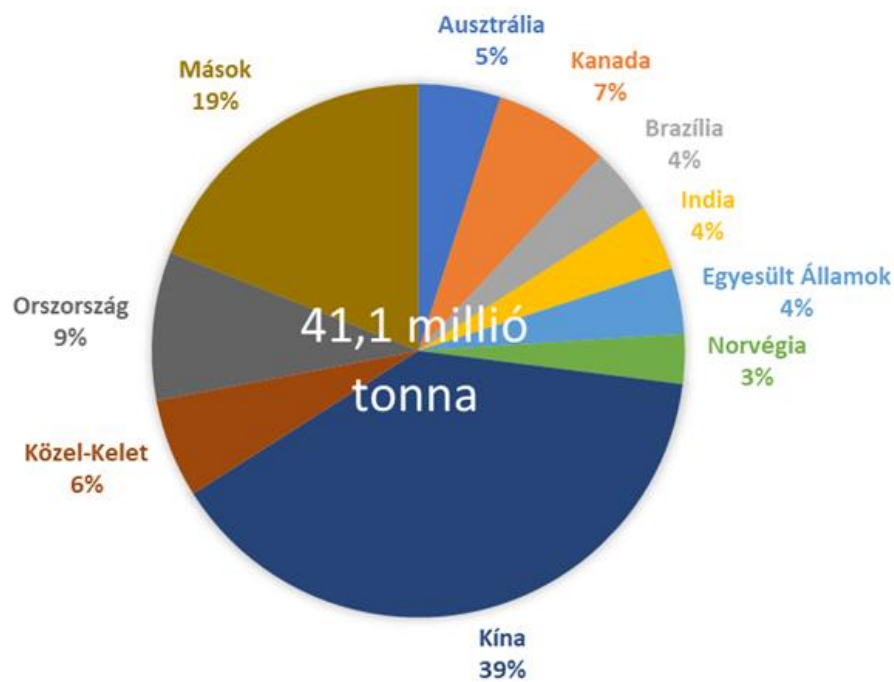


Elsődleges alumínium termelés (1972)

Forrás: Nappi 2013, 4.

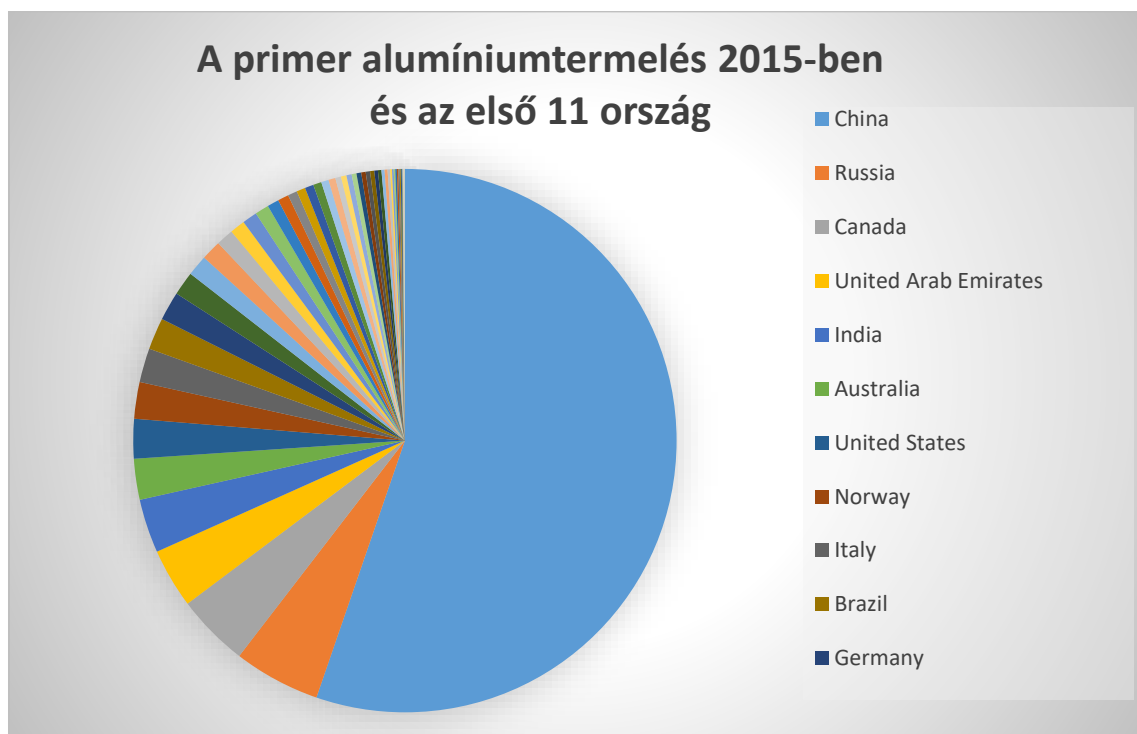
Tekintettel az alumínium forradalminak számító tulajdonságaira, a felhasználás intenzitása dinamikus növekedésnek indult. Az 1945-1972-es időszakban 10%-os összetett növekedési rátát (CAGR) produkált. 1970-es évek elejére az alumínium jelentősen kiszorította a helyettesítőket különböző végfelhasználási területeken, mint például öntöttvas, hengerelt és cinkbevonatú acél, ónból készült lemezek, öntött cink és réz (bronz) vezetékek és csövek, faipar, üveg, karton.

Már korai szakaszban megfigyelhető volt az alumíniumár stabilizálására való törekvés. A nagy szereplők a termelési mennyiség változtatásával érték el befolyást, amennyiben kereslet és a kínálat közötti egyensúlyhiány lépett fel. A még fejletlennek mondható technológiák ellenére sikerült elérni, hogy a valós alumíniumárak évente körülbelül 2%-kal csökkenjenek, ami főleg a méretgazdaságosság javításának volt köszönhető. (Nappi, 2013)



Elsődleges alumínium termelés (2010)

Forrás: World Bureau of Metal Statistics (WBMS)



A primer alumíniumtermelés 2015-ben

Forrás: US Geological Survey 2018 adatai alapján saját szerkesztés

A globális alumíniumipar átalakulása: Energiapolitika és földrajzi elmozdulások

Az alumíniumipar jelentős energiaigénye és a globális energiapolitikai változások az elmúlt évtizedekben alapvetően átalakították a nemzetközi alumíniumpiac szerkezetét. A különböző országokban az energiaárak emelkedése, valamint a kormányzati intézkedések - mint az energia költségek, adók, árfolyamok, kereskedelmi vámok és ipari támogatások - jelentős hatást gyakoroltak az alumínium termelés földrajzi elhelyezkedésére és versenyképességére.

Egyes magas energiaárakkal rendelkező országok, például Japán, az Egyesült Államok és Nyugat-Európa veszítettek versenyképességükből az alacsonyabb költségű régiókkal szemben, mint Ausztrália, Kína és a Közel-Kelet. Ezzel párhuzamosan a globális alumíniumfogyasztás szerkezete is átalakult. Míg 1972-ben a fejlett országok részesedése a globális fogyasztásból 60% volt, addig 2010-re ez az arány 25%-ra csökkent. Ezt az űrt Kína 40%-os részesedéssel, valamint India és Brazília töltötték ki.

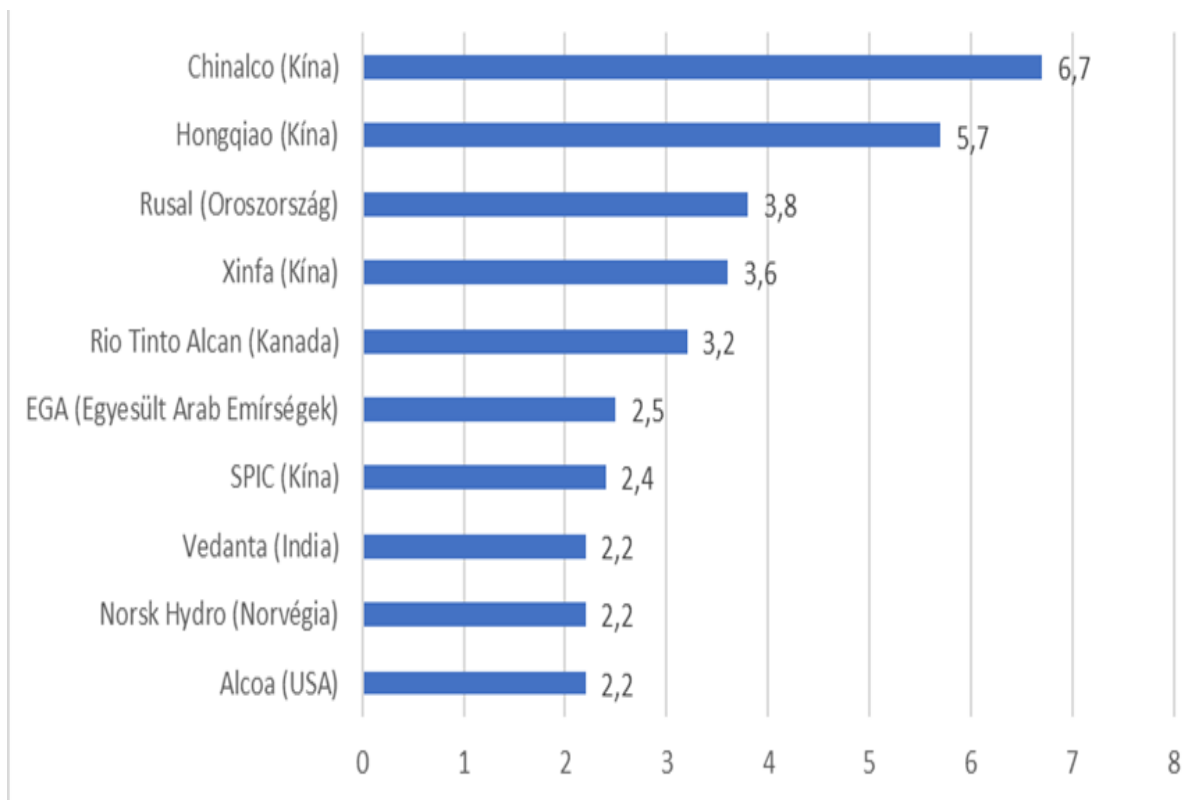
Az alumínium termelési központjainak elmozdulása a magas költségű területekről, mint az Egyesült Államok és Nyugat-Európa, a költséghatékonyabb régiók felé, például Kína, Oroszország, Kanada és a Közel-Kelet felé mutatja a piac dinamikus átalakulását. Kína kiemelkedő szerepet tölt be ebben a folyamatban, részben a nyugati és északnyugati régiókban található bőséges és viszonylag olcsó energiaforrásoknak, valamint a kormányzati támogatásoknak és kereskedelempolitikának köszönhetően. (Nappi, 2013)

A jelenkori alumíniumipar jellemzői: piaci diverzifikáció és versenyszféra változásai

Az elmúlt évtizedek során az alumíniumipar számos változáson ment keresztül, amelyek mélyrehatóan befolyásolták annak struktúráját és versenykörnyezetét. Az egyik legfontosabb jellemző a piaci koncentráció csökkenése, mely többek között Herfindahl-Hirschman Index (HHI) értékeinek jelentős csökkenésében nyilvánul meg. Ennek a mért indexnek az értéke 1971 és 2010 között, 0.103-ról 0.027-ra csökkent. Ezen változások mögött új magán- és állami vállalatok megjelenése áll, mint például a Chinalco/Chalco és a Hydro, amelyek friss versenyt és dinamikát hoztak az iparágba.

Megfigyelhető az iparban a vertikális integráció csökkenése. Az alumíniumipart napjainkban a különböző "stratégiai csoportok" létrejötte jellemzi, amelyek a hasonló üzleti stratégiákat és piaci magatartást követő vállalatok csoportjait jelentik. Például, egyes nagy cégek, mint a Rio Tinto és a BHP, főleg az alumíniumtermelésre, azaz az ellátási lánc kezdeti szakaszaira fókuszálnak, míg más vállalatok, mint az Alcoa és a Hydro, az egész ellátási láncot lefedik, az alumíniumtermeléstől a késztermékekig. Ez a sokszínűség növeli a versenyt az iparágban, hiszen minden cég más és más módszereket alkalmaz a piaci sikerek elérésére. Ezek a különböző megközelítések tükrözik az alumíniumipar folyamatos fejlődését és alkalmazkodó képességét a változó globális piaci környezethez.

Az alábbi ábrán a világ legnagyobb alumíniumgyártóinak éves kibocsátása látható tonnában. A lista élén a Chinalco cég áll Kínából a világtermelés 9,7%-ával, következik a Hongqiao Csoport szintén Kínából, a világtermelés 8,3%-ával. Az orosz Rusal a világtermelés 5,5%-ával a harmadik. Az első 10 alumíniumgyártó adja a világtermelés 50%-át. Ezek belül a világtermelés negyedét a kínai vállalatok adják. (Nappi, 2013)



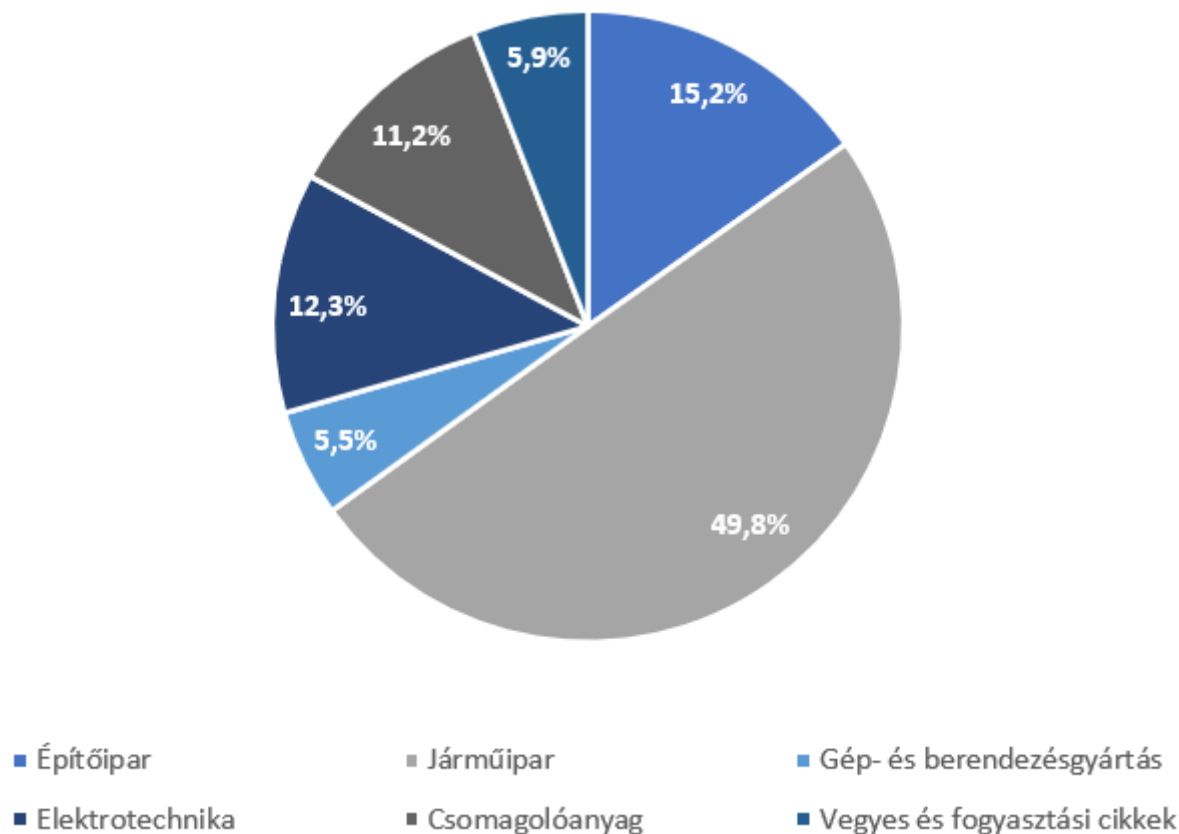
*A világ vezető elsődleges alumíniumgyártó vállalatai 2021-ben,
a termelési kibocsátás alapján (millió tonna)*

Forrás: Statista

Az alumínium végfelhasználása és a járműipar dominanciája

Az alábbi kördiagram az alumínium felhasználásának megoszlását mutatja be az iparágak szerint, ezáltal megvilágítva az anyag széleskörű alkalmazhatóságát különböző területeken. Szembetűnő részesedést tölt be a járműgyártás, ami az összfelhasználás közel felét teszi ki.

Az alumínium adottságai révén alapvető fontosságú anyag a közlekedési és szállítási eszközök gyártásában. Az alumínium először a léghajókban került alkalmazásra, majd a Wright fivérek 1903-as repülőgépében is megjelent. Az alumínium fokozatosan váltotta fel a fát és az acélt a repülőgépek testében, és a 20. század elejére már duralumin (speciális alumínium ötvözet) formájában jelent meg a repülőgépekben. A modern repülőgépek 75-80%-a alumíniumból készül, a fő alkalmazási területek a törzs, a szárnyak, az ülésrácsok és más részek. Az alumínium használata lehetővé tette a hatékonyabb és időjárás viszonyosságainak ellenálló repülőgépek gyártását.



Globális alumínium felhasználás (2015)

Forrás: (Dudin, és mtsai., 2017)

Az alumínium használata a vasúti járművekben szintén meghatározó a hatékonyság növelése tekintetében. Az alumínium szerkezetű vasúti kocsik lényegesen csökkentik a mozgó járműszerelvénnyel összefüggő tömeget; konkrétan egy alumíniumból készült tehervagon tömege egyharmada a hagyományos acélvagonokénak. Ez a jelentős súlymegtakarítás lehetővé teszi a vonatoknak, hogy több árut szállítsanak, illetve kevesebb energiával juttassák célba szállítmányukat. Az alumínium széleskörűen alkalmazott a magas sebességű vasúti rendszerekben, melyek 360 km/h feletti sebességgel képesek közlekedni. Az utasokat szállító vasúti járművek esetében az alumínium szerkezet alacsonyabb energia felhasználását jelenti a gyorsulás és a fékezés során, különösen a gyakran megálló helyi és elővárosi vonatok esetében. A korrózióállóságnak köszönhetően a vasúti kocsik élettartama jelentősen növekszik. Egy alumínium tehervonat kezdeti beruházási költsége jelentős, viszont amortizációja 40 év alatt csupán 10%, ami az idő múltával jelentős költségcsökkenést eredményez.

Az autóipar az elmúlt évek során szintén egyre inkább az alumínium felé mozdult el. Mindezt annak érdekében, hogy a gépjárművek tömegét csökkentse, ezzel javítva az üzemanyaghatékonyságot és minimalizálja a CO₂-kibocsátást. Mivel az alumínium könnyű, de strapabíró anyag több komponens gyártásában is megjelenik, mint például motortérben és a jármű szerkezeti elemeinél. Az 1970-es évek óta az alumínium részaránya az autók teljes súlyában exponenciálisan növekedett: a '70-es évekből 35 kg-ról a mai 152 kg-ra. A szakértők azt prognosztizálják, hogy 2025-re az autókban használt alumínium átlagos mennyisége elérheti a 250 kg-ot. A gépjárműipar fejlesztéseit kombinálva az anyag kiváló energianyelőképességével, nagymértékben hozzájárul az utasvédelmi zónák biztonságosabbá tételéhez. Az autógyárak törekvése a

könnyebb járművek előállítására összhangban áll a fenntarthatósági célkitűzésekkel, pozitívan befolyásolva ezzel az iparág egészének zöld átállását. (Aluminium Leader - UC Rusal, 2020)

Az orosz-ukrán háború hatása az alumíniumiparra: Áremelkedés és globális kihívások

Az orosz-ukrán háborúnak számottevő hatása volt több iparágban, beleértve az alumíniumipart is. A háború kitörése előtt az alumíniumárak már emelkedési trendet mutattak, de a konfliktus kitörésével még magasabb szintre kúsztak. A Londoni Fém Tőzsdén (LME) az alumínium ára tonnánként 4000 dollárra emelkedett 2022 márciusában, ami az előző havi átlaghoz képest jelentős, több mint 20%-os növekedés. Az alumínium árát befolyásoló tényezők között kiemelkedik az olajárak emelkedése, amely az alumíniumot és más árucikkeket egyaránt negatívan érintett. A háború miatt bekövetkező ellátási lánc zavarok szintén jelentős hatást gyakoroltak az alumínium árára, amit a szállítási költségek drámai emelkedése mutat. Bár az árak azóta mérséklődtek, az áremelkedés miatt csökkenő kereslet mellett is az alumínium ára 2022 májusában még mindig 40%-kal magasabb volt az előző év azonos időszakához képest. (Sayed, 2022)



Az alumínium árfolyamváltozása (USA-dollár/tonna)

Forrás: Trading Economics

Összegzés

Az elemzett fém múltját és jelenét, technológiai innovációját és a globális gazdasági változásokat egységesen szemlélve az alumíniumipar folyamatos alkalmazkodásról és fejlődésről tesz tanúbizonyságot. A jelenlegi trendek azt vetítik előre, hogy az alumíniumipar tovább fog bővülni. Különös tekintettel a környezetbarát technológiák és az energiahatékony megoldásokra való igény növekedésével. A fenntarthatóság és az újrahasznosítás előtérbe kerülése, valamint a folyamatos technológiai innovációk meghatározó tényezők lesznek az iparág jövőbeli irányában. Ezek a tényezők biztosítják, hogy az alumínium továbbra is az ipari és gazdasági fejlődés egyik motorja maradjon a 21. században.

Források:

- Aluminium Leader - UC Rusal, 2020. Forrás: Aluminium leader - Transport application: Letöltés: <https://www.aluminiumleader.com/application/transport/>
- Dudin, M. N., Voykova, N. A., Frolova, E. E., Artemieva, J. A., Rusakova, E. P., & Abashidze, A. H. (2017). Modern trends and challenges of development of global aluminum industry. *Metalurgija*, 56(1-2), 255-258.
- International Aluminium (2003): Material Flow Analysis A Look At The Numbers Globally And In Asia, <https://international-aluminium.org/resource/material-flow-analysis-a-look-at-the-numbers-globally-and-in-asia/>, Letöltve: 2023.12.02.
- King, F. J., 2001. The aluminium industry, Woodhead Publishing Limited.
- Nappi, C. (2013). The global aluminium industry 40 years from 1972. World Aluminium, http://www.world-aluminium.org->an_outlook_of_the_global_aluminium_industry_1972_-_present_day.pdf 1-27.
- Sayed, M. 2022. Infomineo. Forrás: Impact of Russia-Ukraine War on Aluminum Industry: Letöltés: <https://infomineo.com/economics/impact-russia-ukraine-war-on-aluminum-industry/>
- Trading Economics, <https://tradingeconomics.com/commodity/aluminum>
- US Geological Survey (2018): U.S. GEOLOGICAL SURVEY MINERALS YEARBOOK—2015; U.S. GEOLOGICAL SURVEY MINERALS YEAR BOOK—2017–2018, U.S. Geological Survey, [year of last update for DS 896, such as 2015], [Table title, such as Copper; World mine production, by country] [through year; last modified Month day, year], in Matos, G.R., comp., Historical global statistics for mineral and material commodities (2015 version): U.S. Geological Survey Data Series 896, x p., accessed [Month day, year], at <http://dx.doi.org/10.3133/ds896>. Letöltve: 2023.11.25.

Az elektronika korszaka – az új rézkor

A réz a periódusos rendszer 29. eleme a nikkel és a cink között. Vöröses színű, jól alakítható, a hőt és az elektromosságot az ezüst után a legjobban vezeti. Ennek köszönheti igen széleskörű modernkori alkalmazását elsősorban a villamosenergia nagy távolságra történő szállításában, de kazánok, vízmelegítők részeként is. A levegő nedvességének és széndioxidjának hatására zöldes színű réteg, a patina képződik rajta. A természetben előfordul termésréz formájában is, de leggyakoribb ásványai a szulfidos kalkopirit, amit amatőr ásványgyűjtők sokszor összetévesztenek az arannyal annak arany színe miatt, és az oxidos kuprit, melynek zöldes színe van.

Klasszikus, kormeghatározó ötvözetek az ónnal a **bronz**. „Jól önthető és vegyileg ellenálló anyag. Főként dísz tárgyakat és alkatrészeket készítenek belőle. Különböző ötvözőelemek használatával a korszerű gépgyártás minden ágában alkalmazták. A bronz jobban ellenáll a korróziónak, és alacsonyabb hőfokon formálható, mint a vas, utóbbi mégis sokkal elterjedtebb, hiszen a bronz ötvözőelemei viszonylag ritkák. Főként azokon a területeken használják, ahol az acélok rosszabb korrózióállóságuk miatt nem felelnek meg.

A réz és a cink ötvöze a **sárgarézt**, amely a vörösréznel keményebb és nagyobb szilárdságú, emellett jól polírozható, de az elektromos vezetőképessége rosszabb. Minél nagyobb a sárgarézt cinktartalma, annál jobban forgácsolható. A sárgarézt két fő csoportba oszthatók. Az alacsony (58%-nál kisebb) réztartalmú sárgaréztet öntött tárgyak készítésére használják (például gáz- és vízvezeték-szerelvények, villamosipari berendezések), míg a nagyobb réztartalmúak jól alakíthatók hengerléssel vagy sajtolással. Főbb felhasználási területei a gépkatrészek gyártása és az építőipar.” (Thyssenkrupp 2023) Széles körben alkalmazzák a hadiiparban (töltényhüvelyek), háztartási berendezések, hangszerek (trombita) díszműtárgyak készítésére. Különböző arányú ötvözeit a speciális igények szerint alakítva igen változatos célokra használják, de a rézgálic és más réztartalmú vegyszerek formájában a mezőgazdaság számára is fontos anyag.

„A réz és a nikkel ötvöze az **alpakka**. Ezüstszerű, vegyileg ellenálló fémről van szó, amely régebben étkezőedények és evőeszközök kedvelt alapanyaga volt. Az alpaka keményebb és szilárdabb a sárgaréztel, ám ugyanúgy nyújtható, ezért főként lemezeket hengerelnek, drótokat húznak és rudakat kovácsolnak belőle.” (Thyssenkrupp 2023)

A rézbányászatban Dél-Amerika még mindig fontos szerepet játszik, de a súlypont fokozatosan eltolódik az ázsiai termelési kapacitások és teljesítmények növekedése következtében. A kitermelés 1990-es globális súlypontja Nyugat Afrika partjainál, a Guineai-öböltől ÉK-i irányba mozdulva a 2020-as évekre eléri Nigéria partjait. A finomított réztermelés globális gravitációs súlypontjainak vándorlása ugyanebben az időszakban Szudántól, Arábián át Pakisztánig terjed. Ennél sokkal határozottabb a finomított réztermelés eltolódása kelet felé 1990 óta.



*A rézérc bányászat és kohászat globális gravitációs súlypontjainak vándorlása
1990-2022 között*

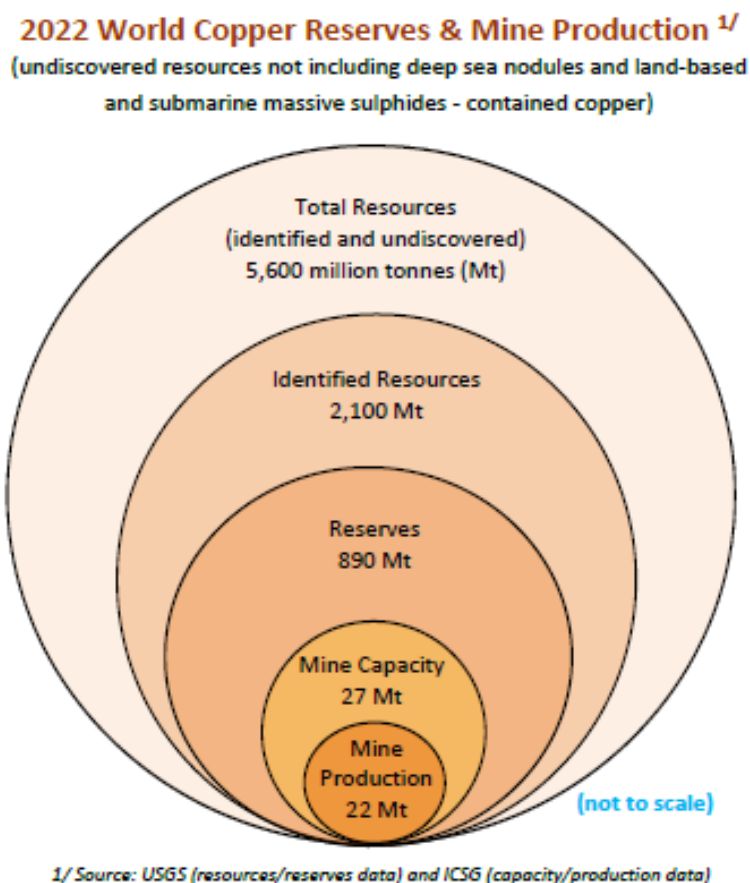
Térképet szerkesztette: Korompai A.

2020-ban a rézérc világtermelésének csaknem 30 %-át bányászták Chilében, 8% körüli volt a termelés Kínában és Kinshasa Kongóban, az USA részesedése 6% körüli, és 4-4,5 % között volt Ausztrália, Zambia és Oroszország részesedése. A finomított réztermelés kevésbé koncentrált, bár ebben is Chile áll az élen a világtermelés kb. 10%-ával. Őt követi % feletti részesedéssel

Japán és Kinshasa Kongó. Oroszország kevéssel a világtermelés 4%-a felett, az USA 4%-a alatt állít elő finomított rézet. 2% feletti részesedése van Dél-Koreának, Németországnak, Lengyelországnak és Kazahsztánnak. A rézérc készletek tekintetében szintén Chile áll az élen a készletek 23%-ával. Őt követi Ausztrália (10,6%), Peru (8,8%), Oroszország (7%), Mexikó (6%) és az USA (5,5%). 3-4% közötti a részesedése Kinshasa Kongónak, Lengyelországnak és Kínának.

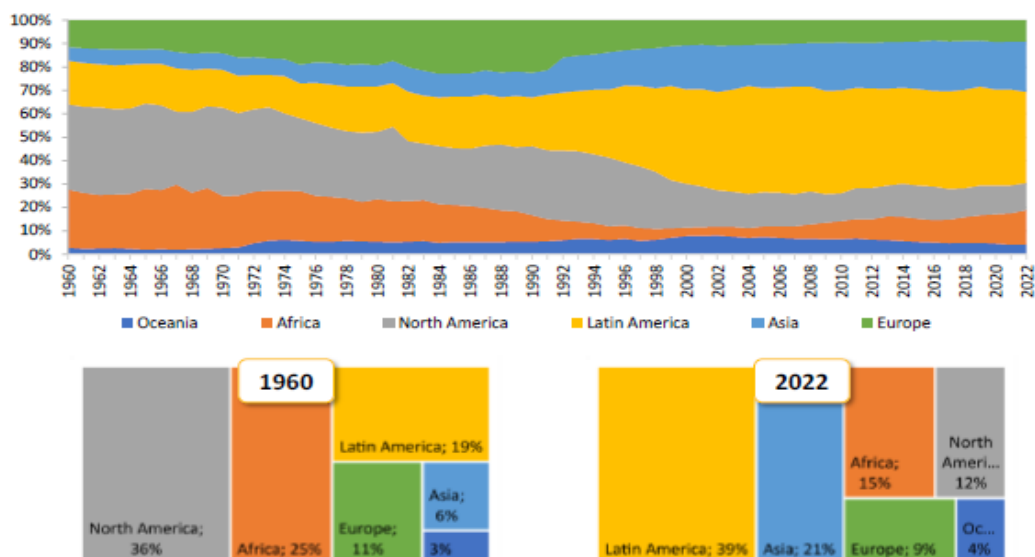
A világ rézkészleteinek és bányászatának potenciálját és egymáshoz viszonyított szerkezetét szemlélteti a 2. ábra a készletek típusaitól a termelési kapacitásokon át a bányászatig. A globális rézbányászat az 1900. évi alig 500 ezer tonnáról évenként 3,15%-os növekedéssel 2022-re elérte a 22 millió tonnát. A rézbányászat területi eloszlásában 1960 után radikális átrendeződés történt (3. ábra). Észak-Amerika 2022-re jelentős mértékben veszített súlyából, miközben Dél-Amerika átvette a vezető szerepet. Afrika súlyának csökkenését Ázsia termelése kompenzálta. Európa és Óceánia minimális súlyvesztést mutat ebben az időszakban.

Kiemelésre érdemes a fenntarthatóság szempontjából, hogy a rézkohászatban egyre nagyobb az újrahasznosított réz aránya (4. ábra). Ugyanakkor jelentős területi eltolódások történtek 1990 és 2022 között (5. ábra). Amerikának a rézkohászati termelés 39%-os részesedése lecsökkent 11%-ra, miközben az ázsiai országok részesedése 2022-re elérte a világtermelés kétharmadát elsősorban a gyors kínai növekedésnek köszönhetően. A többi kontinens részesedéséhez viszonyítva Amerika után a legjelentősebb Európa több, mint 10%-os súlycsökkenése.



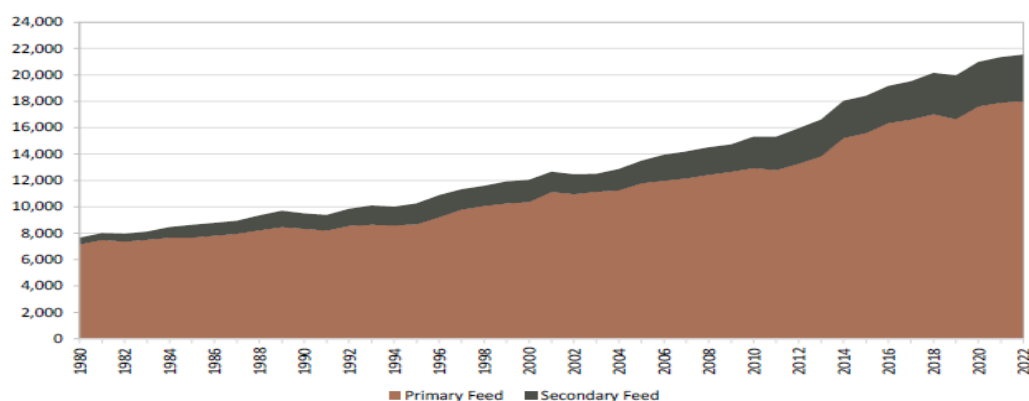
A világ rézkészletei és ércbányászata 2022

Forrás: International Copper Study Group, 2023: The World Copper Factbook 2023, p.6.



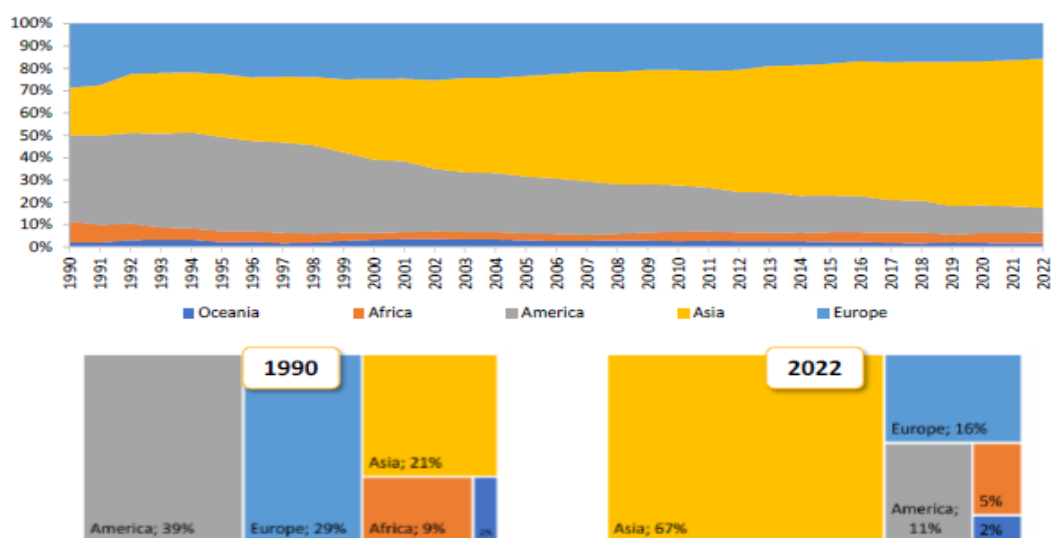
A réztermelés regionális megoszlásának változása 1960-2022

Forrás: International Copper Study Group, 2023: The World Copper Factbook 2023, p.12.



A rézkohászat termelése 1980-2022

Forrás: International Copper Study Group, 2023: The World Copper Factbook 2023, p.17.



A rézkohászat területi megoszlásának változása 1990-2022

Forrás: International Copper Study Group, 2023: The World Copper Factbook 2023, p.19.

A világgazdaság helyzetét számos közgazdász szerint nem elsősorban az arany árfolyamának változása tükrözi, hanem a réz (Kónya 2022). A réz ára (6. ábra) az 1990-es évek végén a Szovjetunió összeomlása idején főleg a hadiipari rendelések csökkenése miatt visszaesett. Az emelkedésben fontos szerepe volt a Közel-Keleten zajlott háborúknak, aminek a 2008. évi válság vetett rövid ideig véget. A 2011-ben történt merénylet az USA-ban újabb csúcsot eredményezett, minek hatása fokozatosan csengett le 2020-ig. A COVID-járvány, majd az orosz-ukrán háború ismét fellendítette a réz iránti keresletet, amit az árak ismételt növekedése jelez.



A réz világpiaci árának változása 1990-2024 (USDollar/tonna)

Forrás: FRED (2024)

A rézérc kitermelése és a kohászathoz szükséges koncentrátumok előállítása és kohászatának területi elhelyezkedése közötti eltérés kiemelkedő szerepet játszik a nemzetközi kereskedelemben. A 2022. évi áramlásokat tükröző, alábbi ábrán szembetűnő a távolkeleti, főleg kínai igény a réz-ipari nyersanyagok iránt.

Major Exporters of Copper Ores and Concentrates, 2022

1. Chile
2. Peru
3. Indonesia
4. Mexico
5. Australia
6. Kazakhstan
7. Canada
8. Serbia
9. United States
10. Panama



Major Importers of Copper Ores and Concentrates, 2022

1. China
2. Japan
3. Korean Rep.
4. India
5. Spain
6. Bulgaria
7. Germany
8. Malaysia
9. Mexico
10. Finland

A rézérc és koncentrátumok globális áramlása 2022-ben

Forrás: International Copper Study Group, 2023: The World Copper Factbook 2023 p.29.

Források

- FRED (2024): Global Price of Copper, International Monetary Fund, Global price of Copper [PCOPPU\$DM], retrieved from FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis; [https://fred.stlouisfed.org/series/PCOPPU\\$DM](https://fred.stlouisfed.org/series/PCOPPU$DM), February 20, 2024.
- International Copper Study Group (2023): The World Copper Factbook 2023, <https://icsg.org/copper-factbook/>; Letöltve: 2023.12.20.
- Kónya Ádám (2022): Ez a fém még az aragnál is fontosabb, mutatjuk, miért, Haszon, <https://haszon.hu/megorizni/piacok/fem-rez-arak>; Letöltve: 2024.02.15.
- Matos, G.R., comp., 2015, Historical global statistics for mineral and material commodities (2015 version): U.S. Geological Survey Data Series 896, accessed [Month day, year], at <http://dx.doi.org/10.3133/ds896>.
- Thyssenkrupp (2023): A réz és ötvözetek, <https://www.thyssenkrupp-materials.hu/hu/hirek/a-rez-es-otvoezetek>; Letöltve: 2023.10.20.
- U.S. Geological Survey (2022): Mineral Commodity Summaries, January 2022, <https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2022>; Letöltve: 2023.12.04.
- U.S. Geological Survey, (2015): [year of last update for DS 896, such as 2015], [Table title, such as Copper; World mine production, by country] [through year; last modified Month day, year], in Matos, G.R., comp., Historical global statistics for mineral and material commodities (2015 version): U.S. Geological Survey Data Series 896, x p., accessed [Month day, year], at <http://dx.doi.org/10.3133/ds896>. Letöltve: 2023.12.20.

Az atomkorszak - az urán és a plutónium kora

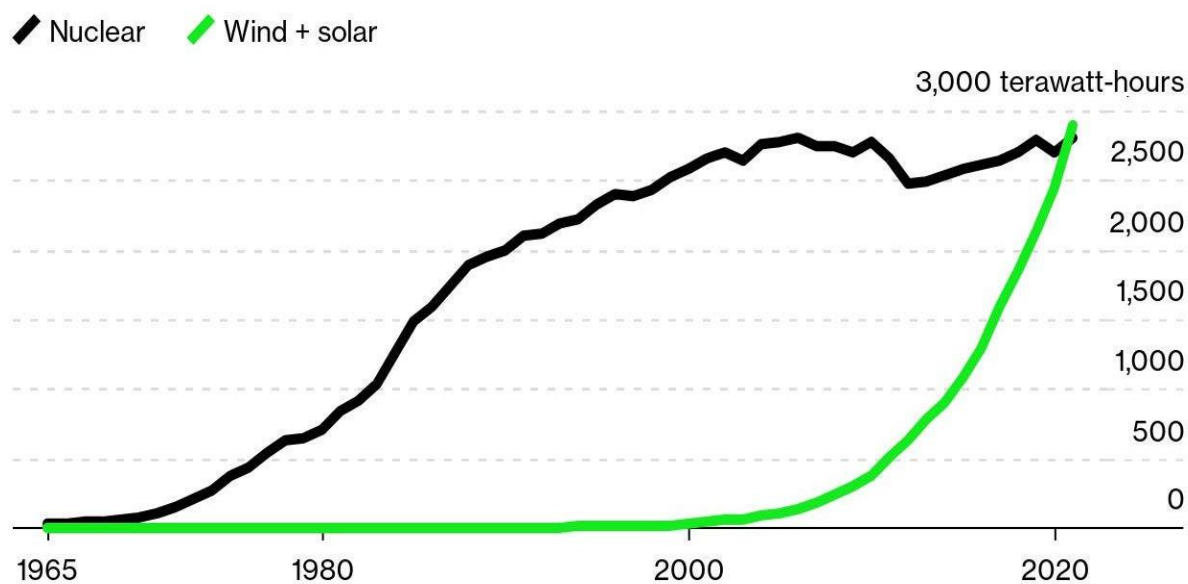
Előszó⁵

Az uránium a globális energiatermelésben betöltött döntő szerepe és egyéb megfontolások miatt mély geopolitikai jelentőséggel bír. Ez a nyersanyag az atomreaktorok elsődleges üzemanyaga, amely a világ villamosenergia-termelésének jelentős részét biztosítja, ezzel egy időben alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiaforrásként szolgál.

Így az uránforrásokhoz való hozzáférés és a nukleáris technológia fejlesztésének képessége nemcsak egy nemzet energiafüggetlenségét befolyásolhatja, hanem a környezetvédelmi kötelezettségvállalásait is. Másrészt az atomreaktorokban előállítható plutónium kulcsfontosságú összetevője a nukleáris fegyvereknek, ami a nukleáris fegyverek elterjedésével szintén a figyelem középpontjában áll. A plutóniumkészletek ellenőrzése létfontosságú a nukleáris fegyverek elterjedésének megakadályozásához, így ezek az anyagok központi szerepet játszanak a nemzetközi kapcsolatok stabilitásában. Az urán- és plutóniumkészletekkel való gondos gazdálkodás és szabályozás döntő fontosságú az energiatermelés és a biztonság közötti egyensúly fenntartása szempontjából a mindenkori és a mai extrémén komplex geopolitikai környezetben.

Az atomenergiát, mint energiatermelési módszert általános támogatás övezi, elismerve annak pozitív hatását a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésére és az energiafüggetlenség fokozására (ennek sikere megfigyelhető Franciaországban).

⁵ Smith, 2022 alapján



Villamosenergia előállítása aránya nukleáris és megújuló forrásból (15)

Forrás: BP Statistical Review of World Energy 2022, idézi: smith, 2022

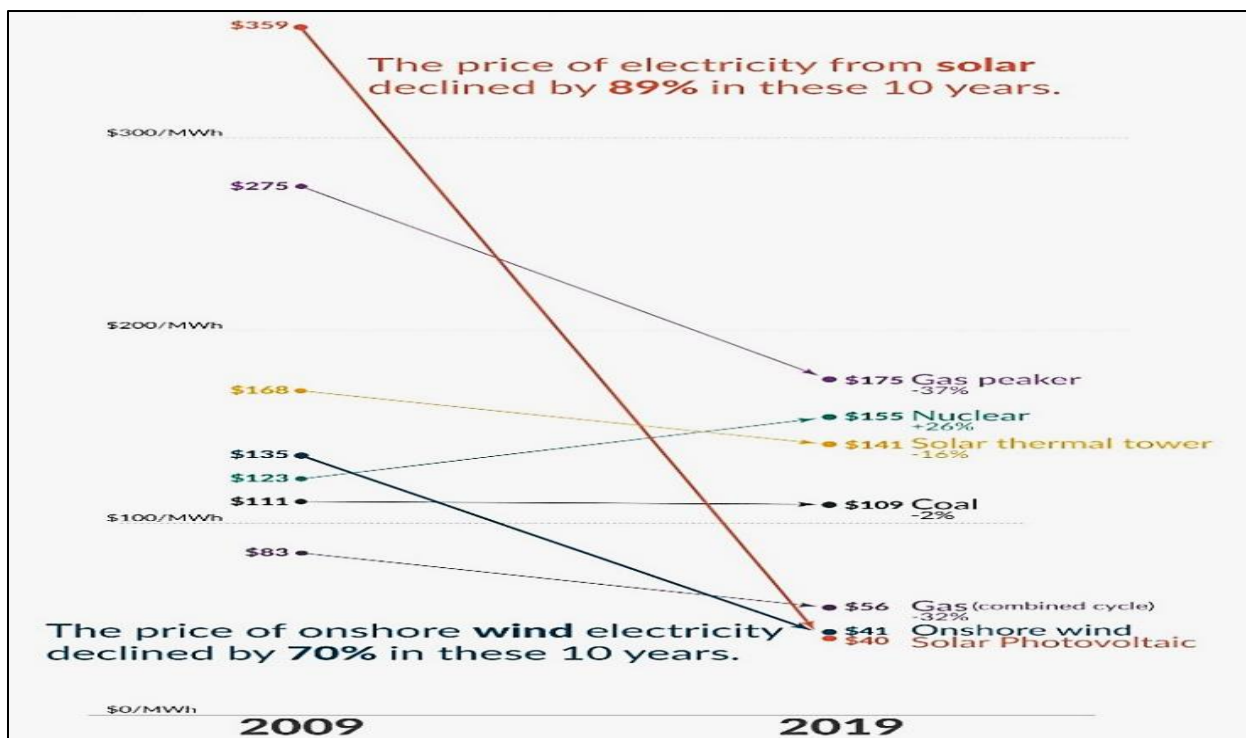
Azonban még itt is kérdőjelek merülnek fel jövőbeli szerepével kapcsolatban. óvatosságra intenek többek között a költségeit illető tényezők.

Elsősorban a jelentős kezdeti költségekből a fokozott biztonsági előírásokból, az erőműépítés komplexitása miatti csökkenő munkaerő produktivitásából eredő nehézségek. (16)

Továbbá az energiamixben történő stagnáló, esetenként csökkenő szerepe arra utal, hogy mint iparág, a maghasadáson alapuló megoldásoknak egzisztenciális problémákkal és ipari strukturális kihívásokkal kell szembenéznie a jövőben. Legfőképp, mert egyelőre a kis moduláris reaktorok bevezetésére irányuló kezdeményezések is óriási finanszírozási akadályokba ütköznek.

Következésképpen a kezdeti optimista narratívákkal ellentétben – a hatékonyság növekedéséig – a nukleáris energiával kapcsolatos beruházások szerényebb megtérülése és kormányzati támogatástól való függése várható, hasonlóan ahhoz, amit a megújuló energiaerőforrások esetében is láthatunk.

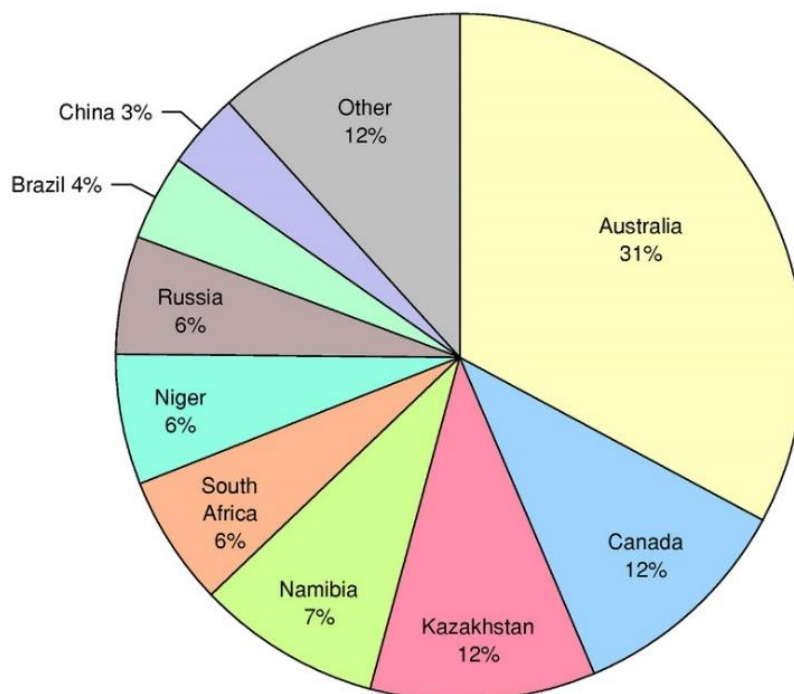
Összességében a gazdasági realitások és a technológiai lehetőségek azt a legvalószínűbb forgatókönyvet indikálják, amelyben az atomenergia tartós jelenlétéhez elengedhetetlen a jelentős kormányzati támogatás. Az iparági nehézségek a 2. ábrán is megfigyelhetők. A grafikon az eltérő erőművekből származó villamosenergia árának a különbségét mutatja be. Alátámasztja a nukleáris energia hátrányát a megújuló energiaforrások, leginkább napenergiával szemben.



A villamosenergia ára az új erőművekből

Forrás: Smith, 2022

Pillanatkép '22. Kitermelés a jelenben⁶



Uránium készletek – 2020.

Forrás: NEA – IAEA 2022
Idézve: Uranium and Thorium 2023

⁶ NEA – IAEA, 2022 alapján

Gazdaságosan, vagyis 130 USD/kgU-nál olcsóbban kinyerhető urán („World Reasonably Assured Resources” – RAR) 2020-ban körülbelül 3791 millió tonnára (Mt) volt becsülhető. A globális készletnek egyedül Ausztrália adja körülbelül a 31 százalékát (3. ábra), aminek köszönhetően hosszútávú piacvezető pozíciója garantált. (11)

Azonban az ausztrál potenciál tárgyalása előtt vegyük végig a fontosabb termelő országokat.

Észak-Amerika

Észak-Amerika 3 886 tonnás termelése 2020-ban a világtermelés 8%-át tette ki, mivel a termelés 2018 óta 3 387 tU-val (47%-kal) csökkent. Ez a termeléseszkökenés a COVID idején bevezetett korlátozásoknak, a túlkínálatnak, illetve az ezekből fakadó amerikai-termelés versenyképesség csökkenésének köszönhető.

Kanada

Kanada sokáig a világ legnagyobb urán kitermelője volt, majd 2009-es vezetőpozíciójának elvesztése után (1. Kazahsztán) mára csak a világ negyedik legnagyobbja (Ausztrália és Namíbia után) azonban Észak-Amerikának még mindig a legdominánsabb termelője.

A jelenlegi a kanadai urántermelés jóval a teljes engedélyezett termelési kapacitás alatt van, ami meghaladja a 25 000 tU-t. Míg a termelés 2020-ban 3 878 tU volt (1975 óta a legalacsonyabb szint). Ez a szám 44%-os csökkenést jelent az előző évinél a COVID korlátozások miatt. 2022 februárjában a Cameco bejelentette, hogy vállalat stratégiai terveivel összhangban (uránpiac javulása, és garancia megszerzés a földben lévő uránkészletek kitermelésére) csökkentett kapacitással indítja újra, a McArthur River lelőhelyen folyó kitermelést.

Fontos lelőhelyek:

- The Rabbit Lake - 2016 közepén az alacsony urániumárak miatt leállt a kitermelés. Azonosított erőforrások 27 000 tU-ra tehetők, átlagosan 0.63% urántartalommal.
- Cigar Lake - 111 100 tU kitermelhető potenciállal, 11%-os átlagos urántartalom mellett, a világ legnagyobb termelő uránbányája volt 2019-ben.
- McArthur River - 154 100 tU azonosított kitermelhető erőforrással rendelkezik, 5,5%-os urántartalommal.

USA

Az Egyesült Államokban az urántermelés 1980-ban érte el a csúcsot, és annak belföldi hasznosítása pedig 1981-ben érte el a csúcsot. 1992 óta az amerikai atomerőmű-üzemeltetők által vásárolt urán nagy részét importálták. Ez kérdés nélkül fundamentálisan negatív hatást gyakorolt az iparágra.

A 2020-as termelésre vonatkozó adatok visszatartásra kerültek. De 2019-ben is mindössze 67 tU-t termeltek, ami 76%-kal kevesebb, a 2018-ban szintén csekély mennyiségű 277 tU-hoz képest. Ezek a számadatok kiválóan tükrözik, hogy az alapvető hazai nehézségek mellett már említett kedvezőtlen világpiaci kondíciók is hatással vannak az USA urán kitermelő iparára. További kiváló bizonyítékként szolgál a tény, hogy az Egyesült Államok számos hagyományos és ISR/ISL-képes lelőhellyel rendelkezik – Texasban és Wyoming-ban – többsége viszont határozatlan időre szünetel kedvezőbb világpiaci körülményekre várva.

Hagyományos bányászathoz kapcsolódó tevékenység a Colorado fennsíkon folyik, azon a részen, amely Colorado, Utah, Új-Mexikó és Arizona területeit foglalja magában. ISR technológia használata Nebraskában és Wyomingban (Crow Butte, Lost Creek, Ross CPP, North Butte, Nichols Ranch és Smith Ranch Highland) folyik.

A belföldi helyzet javítását célzó politikára enged következtetni a 2020 decemberében elfogadott szövetségi költségvetés, amely kötelezettséget vállal az urántermeléssel kapcsolatos fejlesztésének finanszírozására (150 millió USD/év). A terv keretében közvetlenül a hazai kereslet kielégítését céloznák a befektetések, támogatva a hazai feldolgozó és kitermelő ipart. Továbbá a kelet-európai és közel-keleti geopolitikai feszültségek várhatóan tovább ösztönzik a hazai urántermelést. A politikai akarat megjelenése nem véletlen, hiszen a 2022 márciusában közzétett EIA adatok (U.S. Energy Information Administration) alapján az urántermelés 2020-ban 8 tU-ra, 2021-ben pedig 4 tU-ra is csökkent.

Dél-Amerika

Dél-Amerikában 2015 óta nem termeltek uránt. Kivételt képez az a 30 tonnára rugó kitermelés, ami a brazil Engenho lelőhely 2021-es bányászati üzembe helyezése során keletkezett (üzembe helyezés befejezése 2027-re várható). Brazíliából azonban egészen 2014-óta nem jelentettek termelést, viszont az engedélyezés folyamatban van a Cachoeira lelőhely (Lagoa Real) fennmaradó részének kiaknázására. Illetve a Lagoa Real, Caetité egységének 670 tU/évre történő bővítésére is.

Az argentin uránszükséglet kéz a kézben növekszik az ország nukleáris termelő kapacitásával, ami összeségében elenyésző mértékű. Az ország növekvő szükségleteinek részleges kielégítésére a Sierra Pintada, a San Rafael bánya és a Cerro Solo-i új termelési központ kialakítása a kulcs.

A fejlemények a régió termelésének potenciális felfutására engednek következtetni, ámbar mindezzel együtt is csupán elenyésző hányadát tenné ki a teljes dél-amerikai régió termelése a világ termelésének.

Európai Unió

A térségben leginkább a környezetileg káros tevékenységek, illetve a nagy volumenű bányászati tevékenységek visszaszorulása a jellemző. Következésképpen az uniós kitermelés várhatóan tovább csökken. Valamelyest meglepő, hogy az általános csökkenő tendencia ellenére az EU 2020-as teljes bejelentett termelése 44 tU volt, ami 13%-os növekedést jelent a 2018-ban jelentett 39 tU-hoz képest.

Az Európai Unióban 2020-ban a legnagyobb urántermelés egyetlen országból a Cseh Köztársaságból származott. Melyből 28 tU-t ISL-technológia alkalmazásával került kitermelésre. A Rožná-i bányászat megszűnésével, illetve a Cseh Köztársaságban 2017-ben, és 2021-ben hatályba lépő új törvények hatására – amelyek megszüntetik az új engedélyek kiadását – fokozatosan csökken a termelési potenciál.

Az EU-s tagországok leginkább a folyamatban lévő rekultivációs bányavíz-kezelésből, illetve kármentesítési tevékenységek során nyertek vissza urániumot. Azonban a kitermelés e formáját is tovább csökkentik olyan tényezők, mint Németország döntése – ahol 1992 óta az összes urántermelés a königstein-i bánya kármentesítési tevékenységeiből származik – az urán vízből való

visszanyerésének leállításával kapcsolatban. Az elmúlt években az árvizek urán- és nehézfém-tartalma csökkent ennek a döntésnek a hatására.

Régiós szinten fontos termelők:

- Cseh Köztársaság 6 tU-t
- Németország 7 tU-t
- Magyarország 3 tU. Hazánkban, a Mecsekben Kővágószőlősen bányásztak uránércet 1997-ig. Majd a bányákat gazdasági meg nem térülés és egyéb technikai nehézségek miatt bezárták.

EU-n kívüli Európa

Az EU-n kívüli európai országok 2020-ban a teljes globális termelési összérték 8%-át teszik ki. Ezen országok kibocsátása 2020-ban 3 557 tU-t tett ki, ami 4%-os csökkenést jelent 2018-hoz képest. Oroszországban 58 tU-val, Ukrajnában pedig 79 tU-val csökkent a termelés ebben a kétéves időszakban. Előbbire a technológia importját akadályozó szankciók vannak hatással, utóbbira pedig a jelenlegi fegyveres konfliktus, amelyet Oroszországgal folytat.

Oroszország

2020-ban az oroszországi urántermelés 2 846 tU volt, melyet három hagyományosan az Uranium Holding ARMZ-hoz tartozó uránbányászati vállalat biztosította.

- 1 240 tU-t a hagyományos földalatti bányászatból nyertek Priargunskijban (ebből 120 tU-t halomlazítással)
- 1 606 tU-t ISL módszerrel

Fontos mérföldkövek a termelés növelésében:

- 2018 óta Oroszországban az urántermelés 15%-kal csökkent földalatti bányászati technika alkalmazásával, míg az ISL-termelés 11%-kal nőtt.
- 2018-tól 2020-ig a hatékonyság növelésére építési munkálatok folytatódtak az Argunskoye és Zherlovoye lelőhelyeken (potenciális kapacitás 2 300 tU/év). A tervek szerint ezekben a bányákban a termelés 2026-ban indul.
- Eközben a JSC Khiagda (Uranium Holding része) folytatta az ISL uránbányászatot a Khiagda ércmezőn a Burját Köztársaságban, és megkezdte a Kolichikan (potenciális kapacitás 6 530 tU RAR) és Dybryn (potenciális kapacitás 6 634 tU RAR) lelőhelyek fejlesztését is. A bányászat 2021-ben, illetve 2023-ban kezdődött.
- A JSC Dalur (Uranium Holding része) 2020-ban kezdeményezte a dobrovolnojei lelőhely kísérleti uránbányászatának előkészítését. Az Elkon uránrégió lelőhelyeinek fejlesztése azonban ebben az időszakban a kedvezőtlen piaci feltételek miatt felfüggesztésre került.

Ukrajna

Ukrajnában a 2020-as termelés 711 tU volt (623 tE hagyományos bányászattal és 88 tU ISL-vel). A teljes mennyiség az Ukrán értermelő tartományokból (Ingulska, Smolinska és Novokostyantinivska) származik. Országos kapacitás 2020-ra 10%-kal csökkent a 2018-as 790 tU-ról, és tovább csökken.

A kormány hosszú távú tervei között szerepel a Safonivske lelőhely bányászata ISL technológiával, valamint a földalatti kitermelés elindítása a Severinskie-i és Podgaytsevske-i lelőhelyeken.

Ukrajna jóváhagyott 2035-ig terjedő energiastratégiája az ország nukleáris önállóságát tűzte ki célul. Vagyis, hogy az atomenergia előállításához szükséges uránt, teljes egészében hazai termelésnek kell kitermelnie, a jelenlegi 30% helyett.

Afrika

Miközben a globális termelés 18%-át teszi ki az afrikai, 2018-hoz képest 2020-ra 3%-kal, 8 465 tU-ra csökkent. A kontinens vezető kitermelője Namíbia, de Niger és a Dél-Afrikai Köztársaság is számottevő kapacitással rendelkezik.

Namíbia

Namíbia teljes urántermelése 2016-ban elérte a 3 593 tU-t, majd 4 221 tU-ra nőtt 2017-ben ezután 5 520 tU-ra 2018-ban. Termelés teljesítményét segíti, hogy a Husab bánya közel teljes kapacitással üzemel, ahol a külszíni fejtés termelése 2020-ban 3 300 - 3 400 tU-val csúcsra emelkedett.

Habár a rössingi termelés nőtt az elmúlt években, a tervek szerint 2026 végével bezárásra kerül. Viszont Norasa, Etango és egyéb induló projektek, a várakozások szerint bőven kompenzálják a közelgő Rössing bánya bezárását.

Niger

Nigerben a termelés 2019-ben alig 3000 tU-t tett ki, mivel a somairi (Arlit) külszíni bánya termelését 30%-kal csökkentették, a 2015 óta tartó a gyenge piaci viszonyok okán. 2021. március 31-én a magas üzemeltetési költségek miatt a Cominaki Akouta bánya, csaknem 50 évnyi üzemelés után leállította a termelést, ami szintén visszavetette az országon belüli kapacitásokat.

Dél-Afrika

A dél-afrikai termelés a 2018-as 346 tU-ról 2020-ra 62 tonnára csökkent a COVID korlátozásoknak köszönhetően, majd ezek feloldása után 2021-ben 192 tU-ra ugrott. Emellett a jövőben a javuló piaci feltételek következtében Afrikában az urántermelés ugrásszerűen tovább növekedhet.

Közel-Kelet, Közép- és Dél-Ázsia

A régióban 8%-al csökkent a termelés a közelmúltban, leginkább Kazahsztánban megfigyelhető visszaesés miatt. A világ legnagyobb termelőjénél, aki a globális össztermék 41%-t állítja elő, a 2018-as 21 705 tU-ról 2020-ra 19 477 tU-ra csökkent.

India, Pakisztán Üzbegisztán és Irán sem közöl termelési adatokat, ezért csupán becslésekre alapozhatunk. India és Pakisztán 2020-ban összesen 585 tU állítottak elő, míg Irán feltehetőleg 20 tU-os tartományban mozoghat a becslések alapján. Azonban Üzbegisztán 2015 és 2020 között 3500 tU/év kapacitással megőrizte a világon az ötödik pozícióját a legnagyobb kitermelők között.

India

2022 áprilisában arról számoltak be, hogy az elmúlt három évben India összesen 4 557,67 tU-t importált a Kazatompromtól és 2 988,37 tU-t a Camecotól.

Jordánia

Jelenleg nem termel uránt, de folytatja az bányászati kapacitásainak fejlesztését azzal a céllal, hogy a lehetőségét megteremtse. Leginkább a Közép-Jordániára koncentráló külszíni fejtés kapacitását fejleszti.

Kazahsztán

A világ vezető termelőjénél az ISL eljárás a domináns. 2019-ben és 2020-ban a bányászati tevékenység kiterjedt a Kanzhugan, Moinkum, Akdala, Uvanas, Mynkuduk, Inkai, Budenovskoye, Észak és Dél-Karamurun, Irkol, Zarechnoye, Semizbay, Észak-Kharasan-ban található lelőhelyekre. Kazahok szerencséjére az országban fellelhető készletek legnagyobb része (64%) az alacsony költséggel kitermelhető (<40 USD/kgU) kategóriába tartozik.

Az azonosított lelőhelyekkel és ahhoz kapcsolódó infrastruktúrának köszönhetően termelése eléri 27 000 tU/év kapacitás. Ezzel a kiemelkedő számmal Kazahsztán várhatóan továbbra is a világ legnagyobb termelője marad a belátható jövőben. 2021. július 2-án a Kazatomprom bejelentette, hogy továbbra sem tér el piacorientált, tehát az árszínvonal által diktált bányászati tevékenységét. Ebből kifolyólag a kereslet erősödéséig a tervezettnél várhatóan 20%-kal lesz alacsonyabb a termelése.

Üzbegisztán

Az 1992 óta Üzbegisztánban előállított uránt főleg USA-ba, Kínába, Indiába és Koreába exportálják. 2014 májusában a kínai CGN bejelentette, hogy 800 millió USD uránt vásárol 2021-ig bezárólag. Az üzbegisztáni állami tulajdonú Navoi Bányászati és Kohászati Kombinát (NMMC) szerződést írt alá 2000 tU Indiába történő szállításáról 2014 és 2018 között.

2019 decemberében Üzbegisztán beleegyezett abba, hogy uránt ad el két japán kereskedelmi vállalatnak: ITOCHU (636,4 millió USD értékben) és Marubeni (értéke: 510,1 millió USD). Mindkét megállapodás a 2023 és 2030 közötti uránszállításokra vonatkozik

Kelet-Ázsia

Kína

Kelet-Ázsia egyetlen urán termelő országa. Ahogy az ország termelési fókuszja áthelyeződik a magasabb költségű, nagyobb környezeti lábnyomot hagyó, leginkább délen elhelyezkedő földalatti kitermeléssel operáló bányákról az északi, ISL módszert alkalmazó termelési központjaira. Feltételezhető, hogy a termelés stabilan 1 600 tU/év szinten tartható a kedvezőtlenebb piaci körülmények között is. Az ország 2018 óta (1 620 tU/év) nem jelentett pontos termelési adatokat. ISL technológia kínai dominanciája és expanziója, Xinjiang Autonóm Területen (Északnyugat-Kína) és Belső-Mongóliában (Északkelet-Kína) manifesztálódik. Azonban a kapacitás pontos szintje a bővítések után nem ismert.

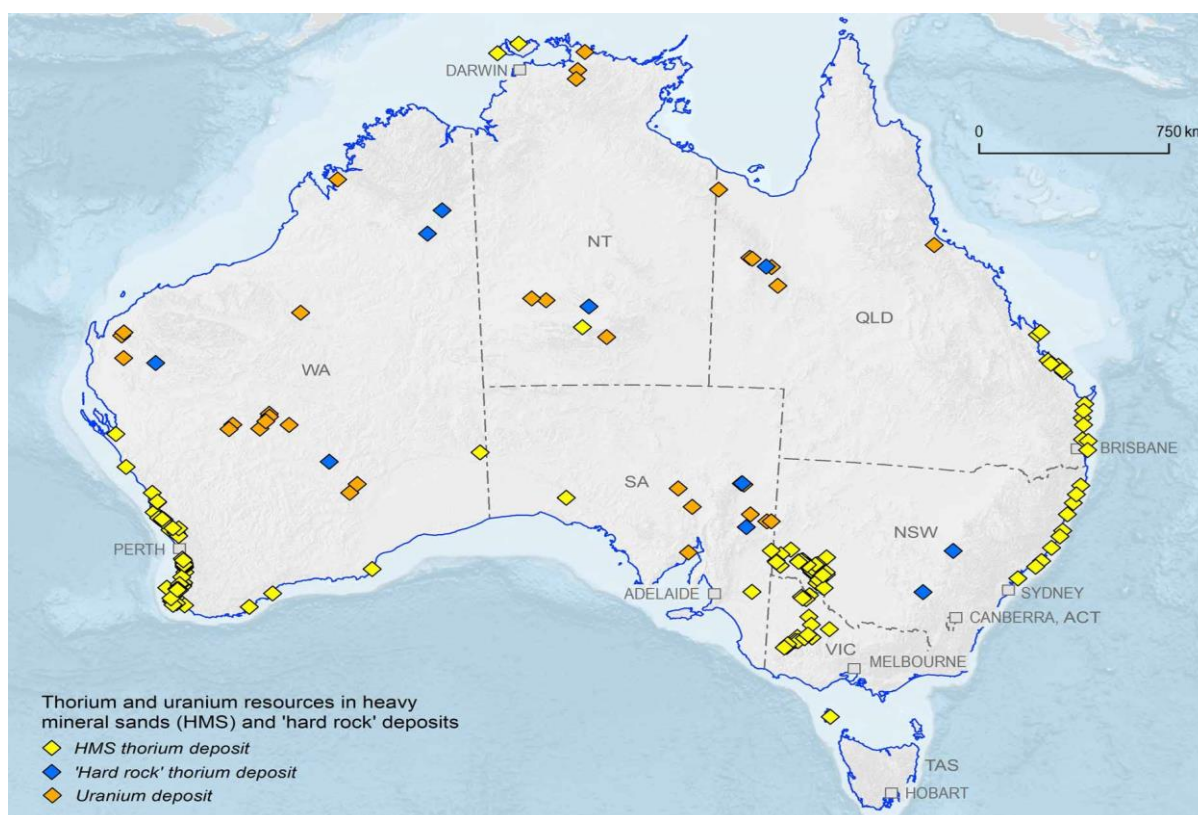
Csendes-óceáni térség

Ausztrália (11)

Ausztrália átlagos éves uránexport mennyisége az elmúlt 10 évben (2022-től számítva) körülbelül 5910 tonna (tU) körül mozgott. Középtávon azonban Ausztrália uránexportja hozzávetőleg 20 százalékkal csökken a Ranger bánya működésének 2021 januárjában történő beszüntetése miatt. Jelenleg öt engedélyezett uránbányája van az országnak, mindegyik Dél-Ausztráliában: Four Mile, Olympic Gate, Honeymoon, Beverley, és Beverley North. Olympic Dam nagymértékű bővítésére vonatkozó terveket visszafogták és bár a térség legértékesebb vállalata a BHP azt tervezi, hogy a termelés a közeljövőben stabil marad, ez várhatóan a termelési hatékonyság fokozódása és új beruházások révén még növekedhet is. Négy uránbányászati projekt -mind Nyugat-Ausztráliában - már megszerzett kormányzati jóváhagyással készületben állt a termelés megkezdésére 2022-ben, várva a javuló piaci feltételekre:

- Kintyre és Yeelirrie (Cameco Australia Pty Ltd.),
- Wiluna (Toro Energy Ltd.)
- Mulga Rock (Vimy Resources Ltd).

Ha a Honeymoon mellett mind a négy fejlesztés alatt álló projekt sikeresen beindul, akkor Ausztráliában az éves termelési kapacitás 8 000 tU-val nőhet. Termelőkenységük ellenére Ausztrália jelenleg nem tervez hazai atomenergia-ipart. Azonban jelenleg nagymértékben a szénre támaszkodó iparát károsíthatják a villamosenergia-termelésre vonatkozó, közeljövőben élesedő szén-dioxid-kibocsátási korlátok, így komoly lehetőségek és potenciálok maradnak fent a változásra.



Ausztrália ismert urán és tórium készletei

Forrás: Uranium and Thorium 2023

Összesítés: Az uránium termelés tulajdonjoga országoként

Az alábbi táblázat az urántermelés tulajdonjogainak viszonyát mutatja be a 17 termelő országban 2020-ban, illetve Brazíliát, amely 2020-ban nem, de a közelmúltban termelt.

A nemzeti bányavállalatok termelése 2020-ban is az össztermelés mintegy 56%-át tették ki, akárcsak 2018-ban. A nemzeti kormányzati részvétel a 2016-os 37%-ról 2018-ra 42%-ra nőtt, főképp az állami részvényállomány növekedésének köszönhetően Kazahsztánban és Namíbiában.

Továbbá a nem belföldi bányászati vállalatok továbbra is a termelés mintegy 44%-át irányították 2020-ban. (USA és Ausztrália nem jelentett adatokat).

Emellett az iparági alkalmazottak száma a jelenleg tapasztalható csökkenés ellenére a hosszútávon feltehetőleg nőni fog, a tervezett bővítések és es karbantartási munkálatok befejeztével. Mivel azonban a favorizált kínai ISL kitermelő üzemek nagymértékben automatizáltak, valószínűsíthetően a kínai urántermelési szektorban a foglalkoztatás nem tér vissza a 2018 előtti szintre. Az előbbieken felsorolt faktorok hatására azonban ismét uránbőség alakulhat ki a piacon, ami az árak csökkenését eredményezheti, egy kedvezőtlenül hullámzó kereslet-kínálati piacot kialakítva.

Az uránérc kitermelés tulajdoni szerkezete országoként (2020-ban)

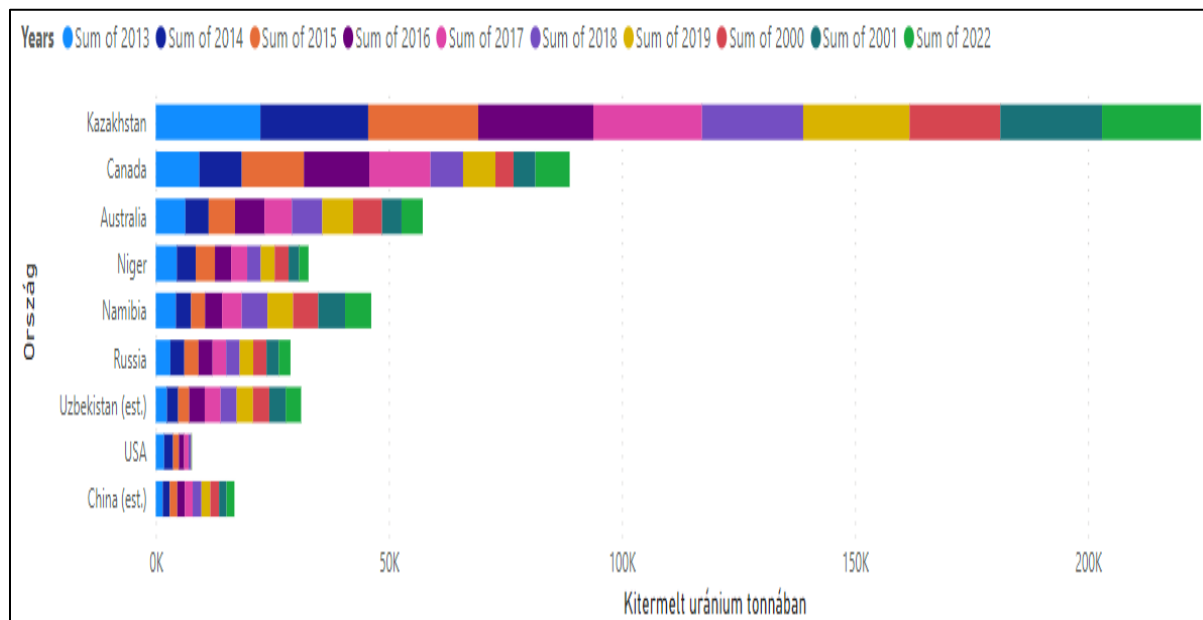
Country	Domestic mining companies				Non-domestic mining companies				Total
	Government-owned		Privately-owned		Government-owned		Privately-owned		
	tU	%	tU	%	tU	%	tU	%	
Australia ¹	0	0	3 226	52	2 969	48	0	0	6 195
Brazil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Canada	0	0	1 939	50	1 435	37	504	13	3 878
China*	1 600	100	0	0	0	0	0	0	1 600
Czech Republic	34	100	0	0	0	0	0	0	34
Germany	7	100	0	0	0	0	0	0	7
Hungary	3	100	0	0	0	0	0	0	3
India*	540	100	0	0	0	0	0	0	540
Iran, Islamic Rep of*	21	100	0	0	0	0	0	0	21
Kazakhstan	10 712	55	0	0	6 038	31	2 727	14	19 477
Namibia	402	7	0	0	4 957	92	53	1	5 412
Niger*	1 032	35	0	0	1 570	53	389	13	2 991
Pakistan*	45	100	0	0	0	0	0	0	45
Russia	2 846	100	0	0	0	0	0	0	2 846
South Africa*	0	0	62	100	0	0	0	0	62
Ukraine	711	100	0	0	0	0	0	0	711
United States*	W	W	8	100	0	0	W	W	8
Uzbekistan*	3 512	100	0	0	0	0	0	0	3 512
Total	21 465	45	5 235	11	16 969	36	3 673	8	47 342

* Secretariat estimate. 1. Government and Private Non-domestic ownership of uranium production not separated. W = Data withheld to avoid disclosure of individual company data.

Forrás: NEA (Nuclear Energy Agency) 2023

Exportgenerálás, cégek és a GDP

Jól látszik, hogy kumulatív szempontból mára Európa (EU és non-EU) „labdába se rúg” a bányászatban, így az iparági erőviszonyok szintjén sem játszik nagy szerepet. Emellett a kivételt képező Franciaország történelmi, példa nélküli kiterjedt és folytatólagos bányászati kapcsolatai az afrikai kontinensen hozzájárulnak a nukleáris és védelmi ipara versenyképességéhez. Ugyanakkor importfüggővé is teszik az országot az ipar létfontosságú nyersanyagaival kapcsolatban.⁷



Uránium kitermelés országonként 2013-2022

Forrás: WNA (World Nuclear Association) 2023

A globális uránbányászat jelentős átalakuláson ment keresztül, amely folyamat földrajzi szempontból is jól megfigyelhető. A folyamatot egyértelmű elmozdulás jellemzi, mivel a hagyományosan az Egyesült Államok és az Európai Unió által dominált iparági középont átkerült Ázsiába. Ázsián belül is a Kaukázus régióba, ebben a kontextusban ez Kazahsztánt és Üzbegisztánt foglalja magában. Emellett Ausztrália is kiemelkedő szereplővé vált, kihasználva kiterjedt urán-tartalékát és az ország stabil politikai hátterét, amely elősegíti a bányászati tevékenységeket.

Ki kell emelni, hogy a nyugati országok közül Kanada megtartotta kiemelkedő szerepét a világ uránpiacán. Ezzel szemben Afrika relatíve állandó termeléssel bír, hangsúlyozva urántartalékai tartósságának fontosságát.

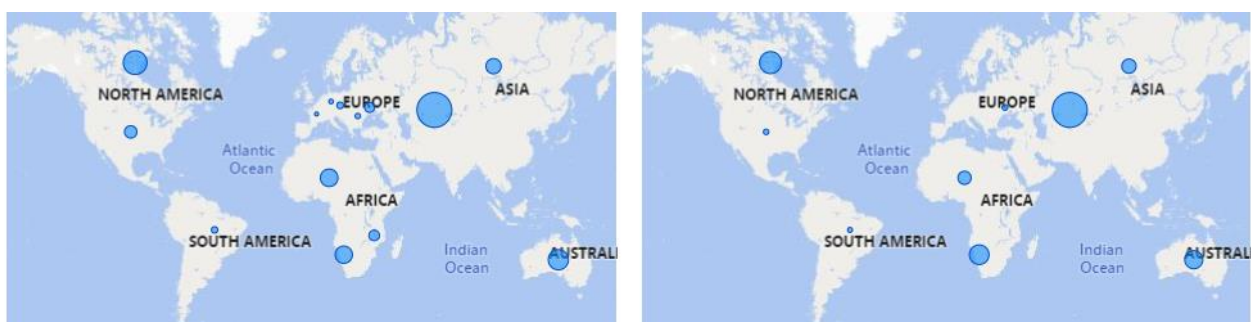
A globális súlypont elmozdulásának több tényező az oka, beleértve az érintett régiók geopolitikai fontosságát, a munkaerő ár-színvonalát, jelentős urántartalékaik mibenlétét és a fejlett bányászati infrastruktúra kialakulását és fejlődését. Ez a szélesebb átrendeződés a geopolitikai dinamikák, a rendelkezésre álló erőforrások és a bányászati technológiák fejlődésének bonyolult kölcsönhatását tükrözi, alakítva ezzel a globális uránbányászat tájképét.

⁷ [UNdata 2022 | record view | Uranium adatai alapján](#)



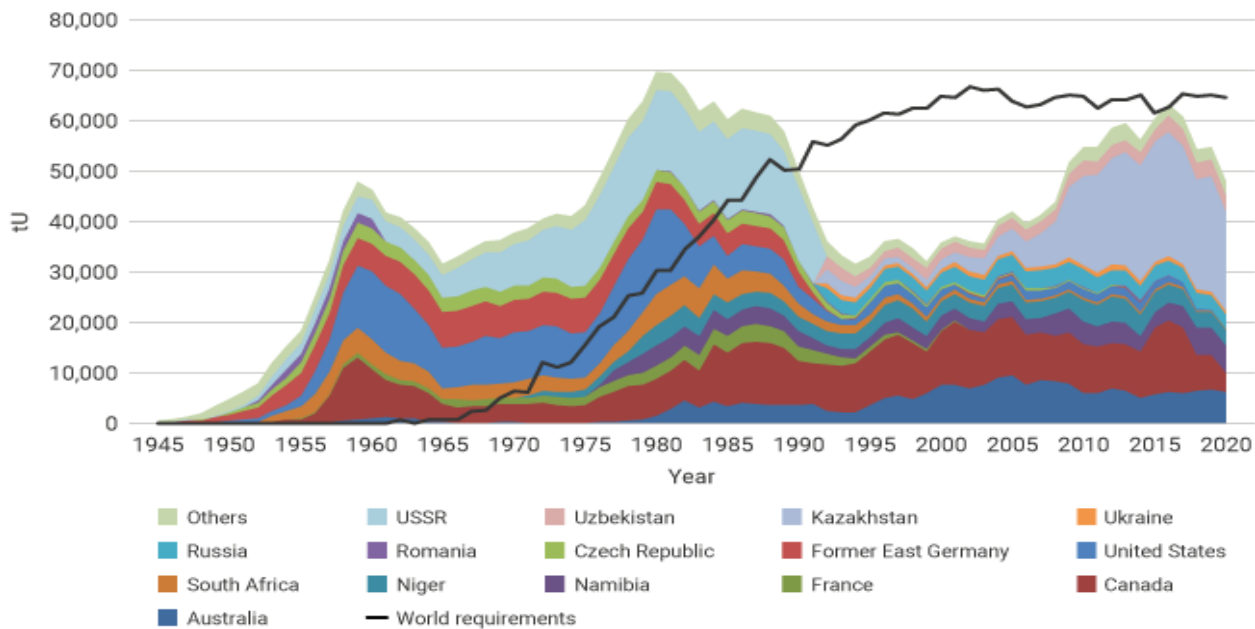
Uránium kitermelés régiók szerint 1990

Forrás: UN data 2022



Uránium kitermelés régiók szerint 2013 és 2022

Forrás: WNA 2023 (World Nuclear Association)



*Az uránkitermelés alakulása 1945-2020 között országonként;
a fekete vonal a világpiaci kereslet alakulását ábrázolja*

Forrás: WNA 2023 (World Nuclear Association)

Kitermelési technológiák⁸

Alábbi fejezet célja a különböző uránérc termelési technológiák bemutatása. Az uránérc kinyeréséhez többféle módszer alkalmazható:

- Mélyművelés - Földbe ásott és kiépített barlangrendszerből. Ezen technológia használata drámaian csökken. 2010-ben az összes kitermelt tonna 28%-át, míg 1990-ben 55%-át tette ki.
- Felszíni bányászat - Uránban gazdag kőzet felszínhez közeli elhelyezkedése esetén, az adott területen külszíni fejtéssel. (A hasznosíthatatlan talaj elhordásával nyerve hozzáférést a bányászható ásványt tartalmazó közétréteghez)
- Savas kioldás - „In situ” kioldással/mosással (ISL/ISR). Ekkor az első fúrás nyomán kémiai oldat befecskendezésére kerül sor, majd az oldattal feloldott uránt egy második fúrólyukon keresztül visszanyerik a felszínre. Ezzel a technikával 2010-ben 22 108 tonnát nyertek ki, vagyis a világ ércének 41% -át. Manapság ez az arány 57%-ra tehető. Ez a technika jelentős fejlődésen megy keresztül elsősorban Kazahsztánban.
- A koprodukció: Az urán melléktermékként is kinyerhető más társtermékekkel, például molibdénnel, vanádiummal, nikkellel, cinkkel és kőolajtermékekkel együtt. Az urán gyakran megtalálható a foszfát ásványokban is, ahonnan azonban eltávolítandó, hiszen a foszfátot többnyire műtrágyákhoz használják.
- Tengervízből való visszanyerés: Tudományos vélekedések szerint megtalálható a tengervízben az Urán, azonban uránkoncentráció rendkívül alacsony a tengervízben, körülbelül 3,3 mikro-gramm/liter. Erre irányuló kutatás és fejlesztés alacsony hasznosítási hatékonyság miatt leállításra került (Guy, 1989).

Az urán mindenhol megtalálható a Földön. Talajban levő átlagos koncentráció 3-5 gramm/tonna, -természetesen az átlagkoncentrációnál sokkal termékenyebb területek is fellelhetők – azonban mint gazdasági alapvetés – kimondható, hogy az uránérc kitermelése a földkéregből általában akkor kifizetődő, ha az uránkoncentráció a 0,5-5 g/kg értéket eléri.

Napjainkban nagyvolumenű projekteknél használatos módszer a külszíni bányászat és az In-situ kioldás. A kibányászott kőzetet erre a célra létrehozott malmokban porrá őrölik, ezután feloldják kénsavban az uránérc kinyerése érdekében. Az összezúzott ércen kémiai reakciók sorozatát alkalmazva jutnak hozzá a kívánt végtermékhez. Az anyagból szűrőn áthaladva eltávolítják a kőzetet majd az oldatból urán-oxid (U₃O₈) formájában kinyerik a végterméket. Az U₃O₈ sárgás színű por, amit pogácsákká sajtolnak. Bányászati folyamat a kitermelés befejezése után a rekultivációval kell, hogy folytatódjék!

Kultúra, tudomány és politikai aktivizmus

Az uránbányászat és az atomkor kulturális dimenziói szorosan kapcsolódnak a gazdasági, politikai és társadalmi szférákhoz, különböző mozgalmakat eredményezve. A tudományos és technológiai lehetőségek együttesen formálták a kultúrát, amelyben a nukleáris fejlődés gazdasági fejlődést eredményezhet és energiafüggetlenséget képes biztosítani egy régió számára. Az uránbányászatra, mint gazdasági növekedési motorként tekinthetünk, amivel párhuzamosan felmerültek a környezeti és egészségügyi aggodalmak is.

⁸ MVM, 2020 alapján

Politikai vonatkoztatásban a hidegháború korszakával párosult leginkább, ahol a nukleáris fegyverek és energiastratégiák meghatározták a nemzetközi politikai térképet és erőviszonyokat. Az uránbányászat és a nukleáris ipar gazdasági jelentősége befolyásolta a politikai döntéseket, míg a politikai aktivizmus megpróbálta kihangsúlyozni a fenntarthatóbb gyakorlatok és a környezeti biztonság fontosságát. A hidegháború idején a politikai rivalizálás és a nukleáris fegyverkezés kultúrája elkerülhetetlenül formálta az emberek gondolkodását és politikai aktivizmusát. A társadalom egy része aktívan tiltakozott a nukleáris fegyverek ellen, míg mások a nukleáris energia előnyeit hangsúlyozták. Ezen mozgalmak a hidegháborús politikai eseményekhez kapcsolódtak, és egyidejűleg formálták a közösségi érzületet.

Végül, az uránbányászat kapcsán felmerülő politikai, gazdasági és környezeti témák együttesen befolyásolták a kulturális diskurzust és formálták az emberiség és az atom kapcsolatát a modernkori történelemben. Ennek jelenkori kicsúcsosodását és a civil szféra erejét a fejlett demokráciákban kiválóan példázza a német „Energiewende” eredményei. Aminek gazdasági következményeinek latolgatása ezen az értekezésen túlmutatnak, hatása a politikára és kultúrára vitathatatlan.

Ezen mozgalmakat és a közbeszédet a nukleáris hulladék tárolásának nehézségei körül felmerülő kérdések és a nukleáris erőművekben bekövetkezett balesetek, mint például a csernobili katasztrófa, vagy fukushimai baleset szintén jelentősen befolyásolták.⁹

Fontosabb tudományos mérföldkövek¹⁰

Röntgensugárzás felfedezése

1895. novemberben fedezte fel a röntgensugárzás jelenségét Wilhelm C. Röntgen a würzburgi egyetemen. Ekkor Röntgen bebizonyította, hogy a sugárzás az üvegső falának arról a helyéről indul ki, ahová a katódsugarak becsapódnak, aminek hatására az üvegfal itt erősen lumineszkál, és Poincaré feltételezte, hogy a röntgensugárzás és a lumineszcencia rokon jelenségek. 1896-ban több vezető tudósnak bemutatta az ilyen módon készült radiográfiás felvételeket és az ezzel kapcsolatban tett megállapításait és az ezeket alátámasztó mérési eredményeket. Ennek hatására Franciaországban elkészült a párizsi Tudományos Akadémián az első orvosi röntgenfelvétel.

Radioaktivitás felfedezése

1897 végén Marie Curie-Sklodowska Franciaországban megkezdte a fizikai állami doktorátus megszerzésének céljából munkáját. Leendő férje Pierre Curie ekkor már elismert fizikus volt felfedezései révén, amit a piezoelektromosság, szimmetria és mágnesség területén végzett kutatásainak köszönhetett. Pierre Curie segítségével felállítottak egy laboratóriumot Marie Curie részére, abból a célból, hogy a Becquerel sugárzást tanulmányozza, és mérhesse a sugárzás mértékét. A készülék elektrométerből, ionizációs kamrából és egy piezoelektromos kvarckristályból állt, amelyet Pierre és fivére Jacques fejlesztett ki. Marie Curie számos kémiai vegyületet és ásványt tanulmányozott és megfigyeléseiből megállapította, hogy a tórium is úgy viselkedik, mint az urán. Ebből azt a következtetést vonta le, hogy az anyag általános tulajdonságai közé tartozik a sugárzás kibocsátása, aminek leírására a „radioaktivitás” szót találta ki. Úgy sejtette, hogy a radioaktivitás egy atomi tulajdonság és elkezdtek kutatni az ismeretlen

⁹ Ezekről „Az atomerőművek környezeti kockázatai” c. fejezetben lesz szó.

¹⁰ Forrás: Nikodém E 2013 alapján.

radioaktív elemet. Ekkor férje is csatlakozott Marie munkájához és együtt sikerült leválasztaniuk vegyészeti eljárások útján ezt az elemet, amelyet rádiumnak neveztek el.

A tudományos felfedezéseikért a Curie házaspár és Henri Becquerel közösen megkapták a fizikai Nobel-díjat 1903-ban. Marie Curie 1911-ben megkapta a második Nobel-díját, szintén kémiaiából, a rádium leválasztásáért és tulajdonságainak meghatározásáért.

Pierre Curie 1905-ben Stockholmban tartott Nobel-előadásában a jövőbe látóan vont le a következtetést: *"Elképzelhető, hogy a rádium, bűnözők kezébe kerülve igen nagy veszélyt jelent; felvetődik a kérdés, hogy előnyös-e az emberiség számára, ha megismeri a természet titkait és elég érett-e ahhoz, hogy jóra használja, nem válik-e ártalmára ez a tudás? Nobel felfedezése jó példa erre: nagyerejű robbanóanyagokkal csodálatos munkát lehet végezni, ugyanakkor szörnyű eszköz bűnözők kezében, akik a népek között háborúkat robbantanak ki. Azok közé tartozom, akik Nobellel együtt úgy gondolják, hogy új felfedezésekből több jó származik, mint rossz."*

Radioaktivitás első alkalmazásai

1901. júniusban a radioaktív anyagok fiziológiai hatását vizsgálta Pierre Curie olyan módon, hogy 10 órán keresztül tartott a karján egy rádiumforrást azért, hogy meghatározza az okozott károsodást. Észleléseit közölte a párizsi Saint-Louis kórház orvosaival annak érdekében, hogy a bőrbetegségek sugárkezelésének tanulmányozására hívja fel a figyelmet, ezt később „curiete-rápiának” nevezték el.

1903-ban Pierre Curie és André Laborde rájöttek, hogy a rádium folyamatosan hőt fejleszt. Mégpedig megállapították, hogy egy óra alatt adott tömegű rádium vele azonos tömegű jég megolvasztására elegendő hőt termel. 1903-ban elfogadottá vált a felismerés, hogy a Föld kérgét alkotó ásványok tartalmaznak csekély mértékben radioaktív elemeket. Ebből azt a megállapítást vonták le, hogy ennek hatására maradhatott a Föld hőmérséklete nagyon hosszú időn keresztül állandó, ami elősegítette az élet kifejlődését. 1904-1905-ben megtörtént az uránásványok kormeghatározása, aminek eredményeként megállapították, hogy bizonyos elsődleges ásványok 400 – 2200 millió éve keletkeztek.

Az atommaghasadás hasznosítása¹¹

1932-ben James Chadwick felfedezte a neutronot, majd ugyanebben az évben Cockcroft és Walton atomokat bombáztak felgyorsított protonokkal, amelyből megállapították, hogy mesterséges radionuklidokat hoztak létre. A következő évben Enrico Fermi, aki Szilár Leóval dolgozott, úgy találta, hogy sokkal több mesterséges radionuklid képződik, ha protonok helyett neutronokat használnak. 1933-ban Szilárd Leó kigondolta a nukleáris láncreakció elvét és bevezette a kritikus tömeg fogalmát. Erre az eljárásra szabadalmat is jelentett be (1934), de azonnal katonai titokká is nyilvánította.

1938 végén a Berlinben dolgozó Otto Hahn és Fritz Strassmann kimutatták, hogy az új könnyebb elemek, amelyek az atomok bombázása során képződtek (pl.: bárium), az urán tömegének körülbelül a felét teszik ki, ezzel bizonyítva, hogy atomhasadás történt. Hahn és Strassmann kimutatta, hogy a hasadás sok energiát termel, illetve további neutronokat is felszabadít, amelyek más uránmagokban hasadást és talán önfenntartó láncreakciót okozhatnak, ami hatalmas

¹¹ Forrás: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx>

energiafelszabaduláshoz vezet. Ezt az elgondolást hamarosan kíséretekkel és számításokkal is megerősítette több tudós, köztük Szilárd Leó, aki ekkor Fermivel dolgozott New Yorkban. Bohr és Wheeler kiterjesztette ezeket a gondolatokat a hasadási folyamat klasszikus elemzésére, és tanulmányukat csak két nappal az 1939-es háború kitörése előtt tették közzé.

Francis Perrin párizsi csoportja bebizonyította, hogy az urán-víz keverékben (a neutronok lelassítására használt víz) láncreakció tartható fenn, feltéve, hogy külső neutronokat injektálnak a rendszerbe. Ezután kidolgozták a folyamatban a neutronelnyelő anyagok használatának ötletét is, amivel korlátozhatják a neutronok keletkezését, ezáltal szabályozhatóvá téve a nukleáris reakciót, ami az atomerőmű működésének az alapja.

Atombomba

Werner Heisenberg, aki 1939 áprilisától a német hadrendészeti hivatal alatt a német atomenergia-projektet vezette, a katonai célú felhasználások területén kutatott. Heisenberg megjegyezte, hogy a tiszta urán-235-öt, egy ritka izotópot használhatják robbanóanyagként, de láthatóan úgy gondolta, hogy a szükséges kritikus tömeg nagyobb a gyakorlatnál. 1940 nyarán Carl Friedrich von Weizsäcker, Heisenberg fiatalabb kollégája arra a következtetésre jutott, hogy ha egy urángép képes fenntartani a láncreakciót, akkor az urán-238-ból átalakítható az úgynevezett „94-es elemmé”, amelyet ma plutóniumnak neveznek. Megállapítottak, hogy urán-235-höz hasonlóan a 94-es elem is hihetetlenül erős robbanóanyag lenne. Carl Friedrich von Weizsäcker szabaddalmi kérelmet nyújtott be egy urángép alkalmazására plutónium előállításának céljából, azonban mivel a rendelkezésre állónál több erőforrást igényelt elvetették az ötletet és a rakétaépítésre fókuszáltak. Ez az úgynevezett német „Uranverein projekt” volt a fő ösztönző Nagy-Britanniának és az USA-nak az atombomba kifejlesztésére. 1939-ben többek között Szilárd Leó is hallott a németországi maghasítási kísérletek sikeréről, amit számításokkal ellenőrzött. Azonban a háborús viszonyok miatt a felfedezés megjelentetését meg akarta akadályozni, de 1939 őszén napvilágot látott a hír. Attól tartva, hogy a németek hamarosan képesek lehetnek atombomba előállítására, Wigner Jenő segítségével meggyőzte Einstent a veszély valódiságáról és levelet írtak Roosevelt elnöknek, aminek hatására elindult az amerikai atombomba-kutatás, a Manhattan program. A programban együtt dolgozott Wigner Jenő, Neumann János, Teller Ede és Enrico Fermi sok más tudóssal, köztük Oppenheimerrel is. A fegyverkezési versenyt az USA megnyerte, viszont Németország ekkora elveszítette a háborút. Azonban a Csendes-Óceáni hadszíntéren még folyt a háború és mivel Japán nem szándékozott kapitulálni, végül be is vetették az atombombát Hirosimában végül Nagaszakiban. Az első atombombát, amely U-235-öt tartalmazott, 1945. augusztus 6-án dobták le Hirosimára. A második, Pu-239-et tartalmazó bombát augusztus 9-én dobták le Nagaszakira. Ugyanezen a napon a Szovjetunió hadat üzent Japánnak. 1945. augusztus 10-én a japán kormány megadta magát és véget ért a második világháború.

Atomreaktorok megjelenése

A második világháború után elérkezett a hidegháborús időszak, ahol a vasfüggöny mindkét oldalán folytatódott a fegyverek fejlesztése. Miután sikeresen létrehozták és felrobbantották a Szovjetunióban az első atombombájukat, az anyagi és szellemi erőforrásokat az atomenergia békés célú felhasználására fordították. Így tették ezt az USA-ban is, bár ott 1952-ben felrobbantották az első fúziós atombombát, a hidrogénbombát. Már az atombomba fejlesztése alatt is felismerték a folyamat során létrejövő hatalmas energiában rejlő potenciálokat, amelyeket villamosenergia termelésére lehetne felhasználni. Ráadásul a maghasadási folyamat szabályozhatóvá tételével körvonalazódott, hogy kompakt és hosszú élettartamú energiaforrásokat lehet

létrehozni, amelyek különféle felhasználási területeken is technológia áttöréseket eredményeztek. Ilyen terület volt a hajózás, elsősorban a tengeralattjáró fejlesztés.

Az első villamos energiát előállító atomreaktor az Argonne National Laboratory által tervezett és üzemeltetett kis Experimental Breeder reaktor (EBR-1) volt, amelyet Idaho államban (USA) 1951 decemberében indítottak be. 1953-ban Eisenhower elnök javasolta az „Atomok a békéért” programját, amely a jelentős kutatási erőfeszítéseket a villamosenergia-termelés felé irányította, és irányt szabott a polgári atomenergia-fejlesztésnek az Egyesült Államokban.

Ezzel párhuzamosan a Szovjetunióban is folytak a fejlesztések és 1954 júniusában beindították az Obnyinszki grafitmoderálású plutóniumtermelésre is használható, hő- és villamosenergia termelésre alkalmas reaktort. Az Obnyinszki Atomerőmű vízhűtésű reaktorról üzemelt, villamos teljesítménye 5 MW volt. Az 1950-es években Obnyinszkban a haditengerészet számára FBR reaktorok fejlesztésével is foglalkoztak, aminek eredményeként 1955-ben megkezdte a BR-1 (bystry reaktor) gyorsreaktor.

Amerikában a nyomás alatti vízreaktor PWR fejlesztésével foglalkoztak, amelyet a haditengerészet számára tengeralattjárók és felszíni hajók meghajtására használtak. A Mark 1 haditengerészeti reaktor 1953-ban készült el, majd 1954-ben vízre bocsájtották a USS Nautilust az első atommeghajtású tengeralattjárót. A Mark 1 reaktor sikerei ösztönözték az Egyesült Államok Atomenergia Bizottságát, hogy megépítsék a 60MW teljesítményű Shippingport PWR reaktort, amelyet 1957-ben helyeztek üzembe. Ez a nyomottvízes PWR reaktor technológia, ami a legelterjedtebb a világon, tekintve, hogy a ma üzemelő 438 atomreaktorból legalább 300 ilyen elven működik.

Eisenhower elnök híres "Atoms for Peace" beszédéből egy részlet:

"módszereket, melyek segítségével a hasadóképes anyagokat az emberiség békés céljainak szolgálatába lehet állítani. Szakértőket kell megbízni, hogy az atomenergiát a mezőgazdaság, orvostudomány és más békés tevékenységek számára felhasználhatóvá tegyék. Kiemelt cél lehet a világ energiáinségben szenvedő területeinek bőséges elektromos energiával történő ellátása."

Források

- Australia's Uranium | Uranium Mining in Australia - World Nuclear Association (world-nuclear.org)
- Smith, N. 2022. Solar is happening. Nuclear is (mostly) not. Letöltés: <https://www.noahpinion.blog/p/solar-is-happening-nuclear-is-mostly>
- Martin, Guy. 1989. Uranium: A Case-Study in Franco-African Relations = The Journal of Modern African Studies, vol. 27, no. 4, 1989, pp. 625–40. JSTOR, Letöltés: <http://www.jstor.org/stable/161112>. Accessed 13 Nov. 2023
- MVM 2020. Az uránérc bányászatától az atomerőművi felhasználásig.ashx (mvm.hu) Letöltés: <https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Az-uranerc-banyaszata-tol-az-atomeromuvi-felhasznalasig.ashx>
- NEA – IAEA Nuclear Energy Agency – International Atomic Energy Agency (2022). Uranium Resources, Production and Demand, OECD Publishing, Paris. oecd-nea.org Letöltés: https://www.oecd-nea.org/up-load/docs/application/pdf/2023-04/7634_uranium_-_resources_production_and_demand_2022.pdf
- Nikodém E. 2013. Felhasználható-e egy adott ország atomerőműve nukleáris terrortámadás eszközeként, célpontjaként? = Hadmérnök 8. 10 pp 129-139. Letöltés: http://www.hadmernok.hu/2013_1_nikodeme.pdf
- UNdata 2022 | record view | Uranium. Letöltés: <http://data.un.org/Data.aspx?d=EDATA&f=cmID%3AUR>

- Uranium and Thorium 2023. Australia's Energy Commodity. Australian Government – Geoscience Australia. Letöltés: <https://www.ga.gov.au/digital-publication/aecr2023/uranium-and-thorium>
- WNA 2023. World Nuclear Association. Uranium Production | Uranium Output - World Nuclear Association (world-nuclear.org). Letöltés: <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/uranium-production-figures.aspx>

Mellékletek

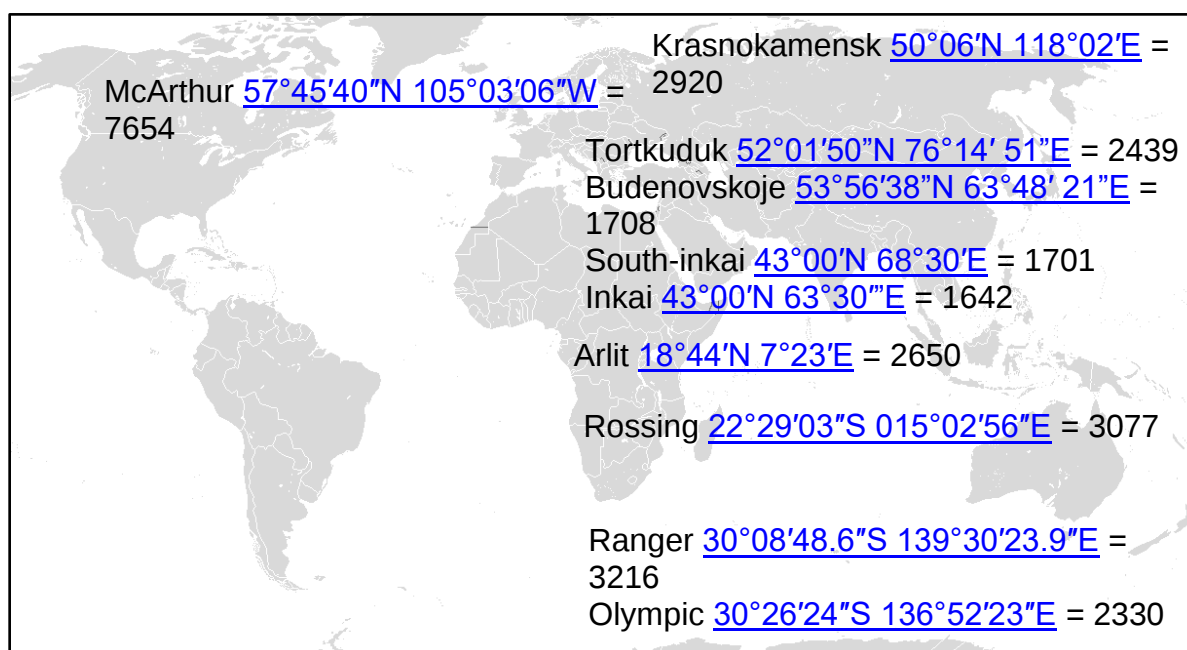
A legnagyobb működő aknák

A világtermelés 55% -a tíz aknából származik, amelyek közül négy Kazahsztánban található.

Enyém	Ország	Tulajdonos	típus	Gyártás 2010	A világtermelés részesedése
McArthur folyó	Kanada	Cameco	föld alatt	7 654	14%
Tarakos	Ausztrália	ERA (Rio Tinto : 68%)	szabad ég	3,216	6%
Rossing	Namíbia	Rio Tinto : 69%	szabad ég	3,077	6%
Krasnokamensk	Oroszország	ARMZ	föld alatt	2 920	5%
Arlit	Niger	SOMAIR / Areva	szabad ég	2,650	5%
Tortkuduk	Kazahsztán	Katco JV / Areva	ISL	2,439	5%
Olimpai gát	Ausztrália	BHP Billiton	föld alatt	2,330	4%
Budenovskoye 2	Kazahsztán	Karatau JV / Kazatomoprom	ISL	1,708	3%
Dél-Inkai	Kazahsztán	Betpak-Dala JV / Uranium One	ISL	1,701	3%
Inkai	Kazahsztán	Inkai JV / Cameco	ISL	1642	3%
Összesen 10 legnagyobb bánya				29 337	54%

A világ legnagyobb működő aknái

Forrás: https://hu.frwiki.wiki/wiki/Extraction_de_l%27uranium



A világ legjelentősebb uránérc kitermelő helyei (tonna)

Szerk.: Tózsa I. 2023



A világ uránérc kitermelő helyeinek földrajzi súlypontja 2021

Szerk.: Korompai A. 2023

Az atomerőművek környezeti kockázata¹²

Tózsza István

Tessék választani!

Úton, sínen, vízben, vagy levegőben?

Van, aki nagyon fél a repüléstől, mert tudja, hogy ott a legkisebb műszaki, vagy emberi hiba az összes utas halálát okozhatja, míg ellenben az országúti, vasúti karambolok, vagy akár a hajó-balesetek túlélésére mindig van esély. Ha azonban úgy hozza a sors, hogy ez a valaki Lisszabonból Tokióba kell, hogy utazzon, nagyon kicsi a valószínűsége annak, hogy többszöri átszállással, vonattal teszi meg a nagyjából tíz napos utat, Moszkván át a távol-keleti Vlagyivosztokig, a Transzszibériai vasút végállomásáig, ahonnan hajóval kel át Japánba, ahol ismét vonatra vagy autóbuszra ülve jut el Tokióba. Ehelyett – józan eszére hallgatva – a „halálos” veszélyt rejtő repülőt választja; és nagy valószínűséggel nem is következik be járatán egy légikatasztrofófa.

Így van ez az atomerőművek „halálos” veszélyt rejtő, energia-termelő működésével is. A valóban szennyező fa-, szén-, olaj- és gázüzemű hőerőművek helyett, ha nagyon félünk az atomerőművekben felléphető emberi-műszaki hibáktól (Csernobil, 1986), vagy egy cunamival kísért

¹² A fejezet Tózsza István: *Nuclear Risk Management* c. előadásának alapján készült a Budapesti Corvinus Egyetem, az Universität Regensburg és az Università di Trento közös képzésében: Joint European Master in Comparative Local Development (2016-2018). Az előadás tematikájának és az egészségügyi adatok forrása: Tózsza I. 1989. Az atomerőművekből származó sugárzó anyagok és felhalmozódásuk a bioszférában: „*ad usum delphini*” = Műhely – a Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutató Intézet Környezetminősítő és Számítástechnikai Osztályának Tanulmány-sorozata. 1989. No: 5. Budapest. 19 p. Letöltés: <https://tozsaistvan.net/?p=2652>

földrengéses atomerőmű balesettől (Fukusima, 2011); kínálja magát a zöldenergia, a megújuló erőforrásokat használó, tiszta zöldenergia. Napenergia, szélenergia, vízenergia, bioenergia és geotermális energia.

- Magyarországon a napenergiával egyrészt az elektromos hálózat terhelhetősége, másrészt a szezonális jelenti a gondot. Előbbi rendkívüli költséggel felújítható, az utóbbihoz pedig meg kellene oldani a nyáron termelt villamosenergia tárolását a téli hónapokra. Ehhez viszont hatalmas mennyiségű, új technológiájú akkumulátorokra lenne szükség ...
- A szélenergia gazdaságos felhasználásához – a jelenleg elterjedt turbinák esetében – 12 m/sec átlagos szélsébségre lenne szükség, mint Dániában például. A Kárpát-medencében az Alpok és a Kárpátok hegyláncai megvédik Magyarországot a szelek, ciklonok által generált szélsőséges időjárástól, ennek ára azonban az, hogy hazánkban az átlagos szélsébség – Magyarország Nemzeti Atlasza szerint is – sehol nem haladja meg a 4 m/sec-ot.
- A vízierőművek is környezetszennyezés nélkül működnek, ehhez azonban gátakkal körülvett óriási víztározókat kellene létesíteni a Dunán és a Tiszán. A Mindenható rendelkezése szerint hegységeinkben pedig nem rendelkezünk nagyon bőséges csapadékkal ellátott, nagyon bővizű, nagyon nagy esésű folyókkal sem, ahol áramot tudnánk termelni, mint például a norvégek Norvégiában.
- A biomassza-erőművek elektromos áramtermelése országos viszonylatban Magyarországon – is – 1 % alatt marad a magas költség és a „fűtőanyag” korlátozott mennyisége miatt. A geotermális erőmű már megfontolandó kérdés, mert Magyarországon a geotermikus gradiens (az a mutató, amelyik a földmélység növekedéséhez tartozó hőmérséklet növekedést jelzi) magas. A földkéreg a Kárpát-medence alatt olyan vékony, mint az óceánok mélyén, átlagosan csak kb. 10 km a kontinensek alatti átlagos kb. 30 km-hez képest. Ez azt jelenti, hogy a földköpeny izzó, folyékony kőzetóceánjától csak egy 10 km vastag, igen forró kőzetréteg választ el bennünket. Ha a forró vízgőz vagy repedéseken át felszínre érne, könnyű lenne a geotermikus energiát elektromos árammá alakítani, mint Izlandon. Ott azonban előfordulhat, hogy egy erőművet vagy éppen egy várost véletlenül vulkánra telepítenek, hiszen egész Izland, az Atlanti-hátság hatalmas repedésén egy vulkánnak fogható fel. Magyarországon egy geotermikus erőművel a felfelé törekvő forró vizek és gázok energiáját még a mélyben turbinákba fogni; óriási technológiai kihívás – bár, ha valahol nagyobb kockázat nélkül ez megéri, akkor éppen ez az a hely – és nem Izland, Kamcsatka, vagy Új-Zéland, ahol veszélyes, aktív vulkanizmus kíséri a geotermikus energiát.

Józan ésszel (is) belátható, hogy ma, 2023-ban Magyarországon, amennyiben a külföldi forrásokból¹³ érkező olaj- és földgázalapú energiái termelésről lemondunk, és nem akarunk teljes egészében a bükkaljai lignitre hagyatkozni, vagy az ugyancsak alacsony fűtőértékű barnakőszén bányáinkat újra nyitni a hőerőművi szennyezés jegyében, kénytelenek vagyunk a további, „halálos” atomerőműfejlesztés mellett állást foglalni. Ennek fényében lássuk, hogy mik az atomerőművek környezeti kockázata?

¹³ Csővezetéken ez jellemzően orosz, vagy közép-ázsiai kőolaj- és földgáz mezőkről érkezik. Cseppfolyósított földgáz, LNG (= *liquefied natural gas*) az USA-ból a leközelebbi tengeri kikötőig (Trieszt, Pireusz, Konstanz, Burgasz, Gdansk, Hamburg, Rotterdam) tartályhajóval és onnan – mivel Magyarország a sors szeszélye folytán nem rendelkezik tengeri kikötővel – vonattal érkezik meg az villamosenergia termelő erőműveinkhez. Talán nem kell közgazdásznak lenni ahhoz, hogy az LNG megoldást Magyarország esetében kizárjuk.

Atomenergia kockázat-menedzsment

Az atomerőmű üzemeltetés közvetlen környezetkárosító hatása mindössze a meleg hűtővizének a folyóba – nálunk a Dunába – eresztése, ennek hidrobiológiai hatásával. Kéményeiből vízgőz száll fel, tehát a légkörön át egyáltalán NEM károsítja a környezetet. Sem füsttel, sem sugárzással. A kiégett fűtőelemek helyes, vagy helytelen elhelyezése, hosszútávú tárolása jelenti a környezeti kockázatot, illetve az olyan műszaki baleset, üzemzavar, természeti katasztrófa (nálunk jelesen földrengés), vagy terrortámadás, esetleg háború, melynek során radioaktív anyag kerül ki az erőműből szálló por formájában.

Ez azt jelenti, hogy nem az energiatermelés során kibocsájtott szennyező anyagot, hatást kell kezelni, hanem azoknak a kockázatát. Ezek az alábbiak. Mit jelent a környezetbe kiszabaduló sugárzás? Hogyan lehet ellene védekezni? Hogyan és földrajzilag hol kell tárolni az évtizedekig, évszázadokig sugárzó, kiégett fűtőelemeket?

Radioaktív sugárzás

A radioaktív sugárzás az elektromágneses spektrumban a nagyon rövid hullámhosszú és magas energiájú (béta, gamma) sugárzás, amely eltérően a nagyon hosszú hullámhosszú és kis energiájú sugárzásoktól (mint a hősugárzás, a látható fény, a rádióhullámok vagy a radar), ha áthalad az élő szöveteken, a sejteken, roncsolja azokat. A rákos megbetegedéseket a radioaktív sugárzás éppen azzal kelti, hogy a sejteken belül, nagy energiával szétroncsolja azokat a zárványokat (is), amelyekben az élő szervezet önvédelmi reflexként a karcinogén – rákkeltő – vegyületeket bezárta. Ezáltal ezek a káros vegyi anyagok a sejtekben szabadon kifejtik hatásukat és dagadtos megbetegedéseket indíthatnak el. A sejtek örökítőanyagait, a kromoszómákat, géneket is károsíthatja a nagy energiájú, nagyon rövid hullámhosszú sugárzás. Nagy dózisban ez valóban halálos veszélyforrás az élő szervezetekre.

Érdekessége a radioaktív sugárzásnak, hogy – eltérően más káros hatásoktól és anyagoktól – nincs egészségügyi határértéke. Ha csak nagyon rövid ideig van kitéve egy élő szövet a sugárzásnak, de az éppen telibe talál egy karcinogén zárványt, az éppen úgy elindíthat egy rákos megbetegedést, mint egy jóval hosszabb ideig tartó sugárzás. Úgy lehet ezt érzékeltetni képletesen, mintha egy vadász löne puskával egy távolban futó nyúlra; nem biztos, hogy eltalálja, de ha kettő, öt, vagy száz vadász lö egyszerre, egyre nagyobb a valószínűsége a találatnak. Még sincs határérték, hogy mi a „halálos” találat valószínűsége, mert egyetlen lövés is halálos lehet, ha talál. Ezért a sugárzás által keltett „sugárbetegségeknel” nem határértékkel számolunk, hanem valószínűséggel.

A radioaktív sugárzás mérése és forrásai

A sugárzás forrásától függetlenül az egyes sugárbetegségek kialakulásának valószínűségét az embert érő rövidhullámú sugárzásmennyiség, a dózis határozza meg. A sugárzás dózisának orvosi mértékegysége a REM (*Roentgen Equivalent in Man*). A sugárzás fizikai mértékegysége a Sievert. $1 \text{ Sievert (Sv)} = 100 \text{ REM}$. Évente 5 REM nem jelent semmilyen egészségügyi kockázatot – ennyi sugárzás mindenkit elkerülhetetlenül ér a környezetében: a napsugárzásból, a föld közeiből az épületek építőanyagaiból és az esetleges orvosi röntgen-vizsgálatokból.

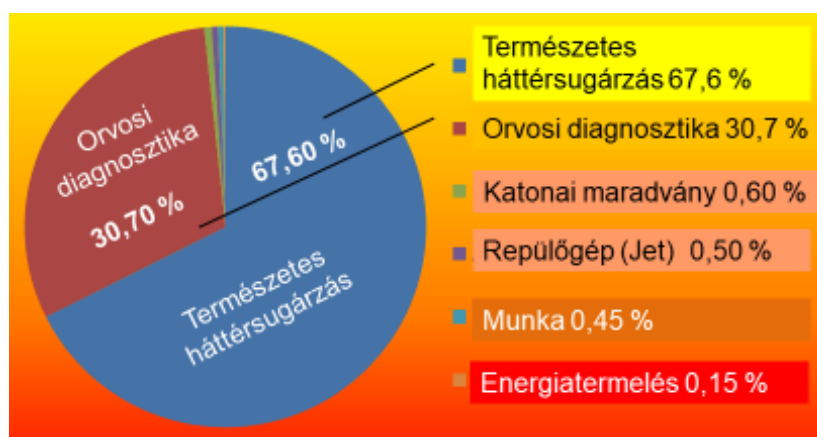
A radioaktív sugárzás dózisainak káros élettani hatásai

Éves REM dózis	Rák kialakulási valószínűség	Éves REM dózis	Rák kialakulási valószínűség	Éves REM dózis	Rák kialakulási valószínűség
$\leq 0,5$	nincs kockázat	12	leukémia	30	bármilyen tumor
$5,0 \leq 12$	csonttrák tüdőrák	15 25	mellrák prosztata rák	200 700	halálos rákbetegség azonnali halál

Forrás: saját szerkesztés

Rákos megbetegedést természetesen nem csak a rövidhullámú, radioaktív sugárzás hatására a sejtekben zárványokba „zárt” karcinogén anyagok kiszabadítása okozhat, hanem a védekező immunrendszer nem megfelelő működése, illetve a karcinogén – rákkeltő – anyagok túlzott mértékű bevitelével lélegzéssel, táplálkozással, bőrön át. A rövidhullámú sugárzás nagy dózisa „csak” növeli a betegségek kialakulásának valószínűségét.

Rövidhullámú, nagyenergiájú radioaktív sugárzás forrásai 98,3 %-ban a természeti, fizikai környezetből és az orvosi vizsgálatokból éri az embert, s csak 1,7 % az egyéb forrás.



A környezeti sugárterhelés forrásainak egymáshoz viszonyított arányai

Forrás: saját szerkesztés

Az 1960-as évek kísérleti, katonai atombomba robbantásainak maradvány sugárzása a mai napig érezteti hatását (0,6 %), a 10 km magasság feletti utasszállító gépeken is a felszínénél valamivel nagyobb a napsugárzás káros hatása (0,5 %); egyes munkakörök is okozhatnak sugárterhelést (0,45 %). Az atomenergia termelés jelentette veszély 0,15 %, aminél kereken 450-szer nagyobb sugárdózist kapunk kitéve az utcán a járda- és útburkolatból, a beton- és téglafalakból a lakásokban, a talajból és a Napból a szabad természetben is.

A települési lakókörnyezetünk sugárterhelésében a rizikótényezőket a bazalt és az andezit utca- és burkolatok jelentik, illetve a téglák és a betonfalak abban az esetben, ha az üledékes (agyag, illetve kavics) kőzet, amiből készítették őket vulkanikus kőzetek aprózódásából jött létre. (A vulkanikus kőzetek sugárzása ugyanis nagyobb, mint az üledékes kőzeteké.) Ugyancsak magasabb a kőzetekből és a talajból származó sugárzás mértéke az alagsorokban, pincékben, ahol a

szellőztetés nem megfelelően megoldott, megoldható. A Szerző saját mérései igazolták, hogy pl. a bazaltköves utcaburkolatokon, a betonelemes panelházak falánál, az épületek pince- és padlástereiben (ahol nincs megfelelő szellőztetés), vagy éppen az olyan szobákban, ahol hosszú ideje nem szellőztettek, a 0,1 mSv átlagos magyarországi háttérsugárzási dózissal általában a 10-szerese az érték (1 – 1,5 mSv). Ez igaz a fürdőszobákra és a konyhákra is.

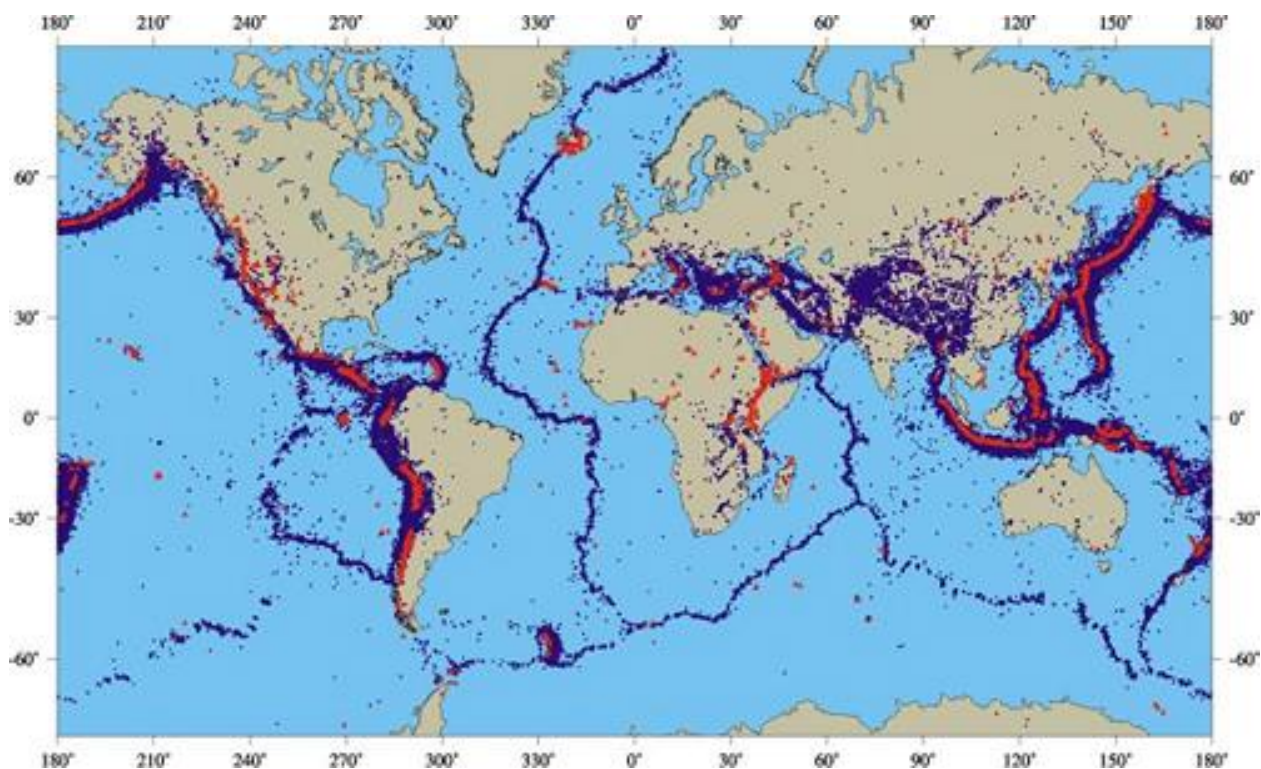


Rizikófaktoros „helyek” a lakókörnyezetünkben a természetes háttérsugárzás szempontjából, melyek az „atomerőművi” kockázat több százszorosát jelentik

Forrás: saját szerkesztés internetes képekből

Az USA-ban az általános iskolákban a Szerző tapasztalata szerint az 1980-as években elterjedt szóróanyag volt a „Citizens’ Guide to Radon” című füzetecske, melyben a konyhák és a fürdőszobák gyakori szellőztetésére figyelmeztették a – gyermekeket. Is. Miért? A kőzetekben található radioaktív izotópokból radioaktív radon kerül az ivóvizet is szolgáltató rétegvizekbe. Az ivóvíz rendszerben a nyomás alatt tartott víz tárolja a sugárzó radonizotópokat is, és amikor megnyitjuk a vízcsapot – jelesül a fürdőszobában és a konyhában –, ez a radon a víznyomás alól felszabadulva, elillan a vízből a helyiség légterébe. Ahol, ha nem szellőztetünk gyakran, feldúsulhat.

Magyarországon – bár található építőanyagként használt vulkáni kőzetek is, mint a bazalt és az andezit – mégsem annyira kedvezőtlen a háttérsugárzás még a „magas” értékeivel sem: 0,015 REM. A világ aktív vulkanizmussal és tektonikus mozgásokkal, földrengésekkel jellemezhető térségein ennek a 100-szorosa is mérhető (1,5 REM) az orvosföldrajzi vizsgálatok mégsem mutatnak ki lényeges különbséget a rákos megbetegedések tekintetében. Sőt. Inkább a táplálkozási és az immunrendszert is befolyásoló életmódbeli különbségek a szembetűnő kiváltó okok keresésekor.



A világ tektonikusan aktív, vulkanizmussal és földrengésekkel veszélyeztetett térségei, ahol a természetes háttérsugárzás mértéke viszonylag magas, de az élettani hatása még nem jelent egészségügyi kockázatot, viszont atomerőművek és atomhulladéktárolók kialakítására kedvezőtlenek.

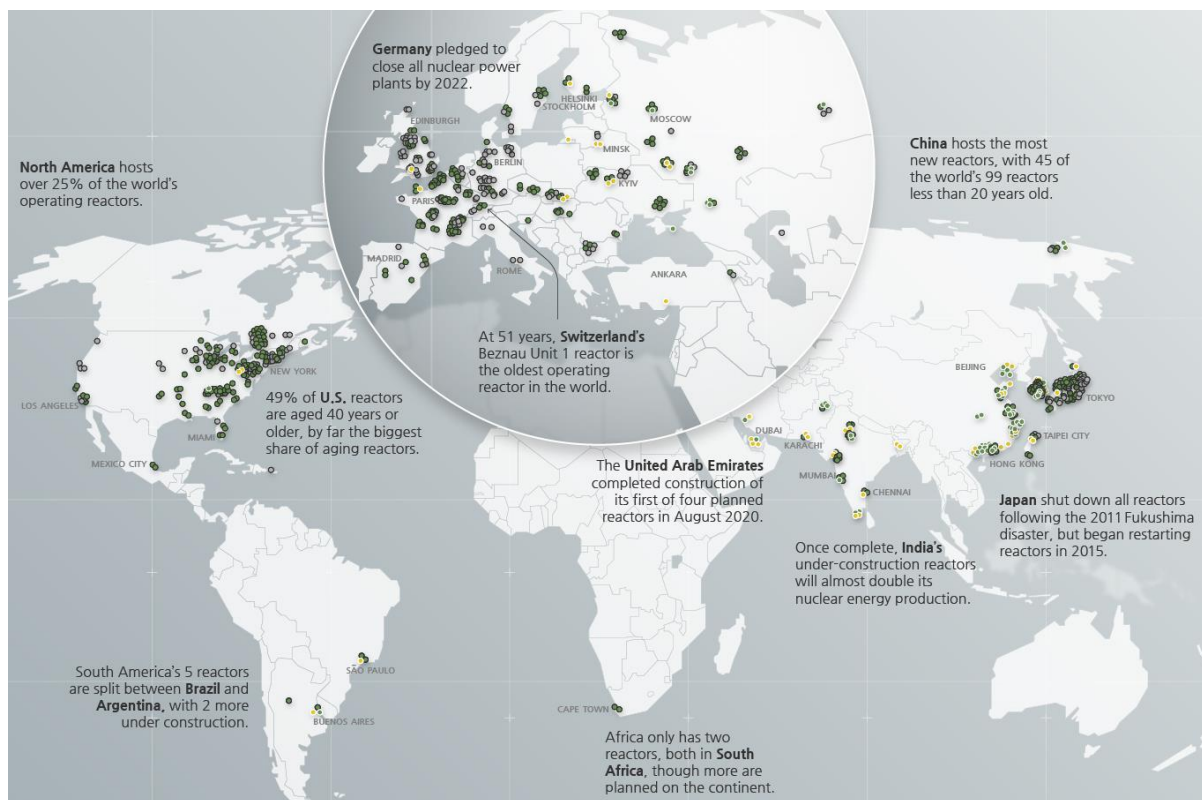
Forrás: Rovan, 2008

Az atomerőművek

Az atomerőművek eloszlása a világban rendkívüli aránytalanságot mutat; elsősorban a fejlett (az USA, Japán és Európa), valamint az erőteljes fejlődésnek induló régiókban (Kína, India) jelentős a számuk és az energiatermelésben betöltött szerepük. Dél-Amerika, Afrika, Kanada, Ausztrália, Szibéria, Belső-Ázsia, Alaszka hatalmas területein nem kell számolni a nukleáris erőművek jelentette kockázattal.

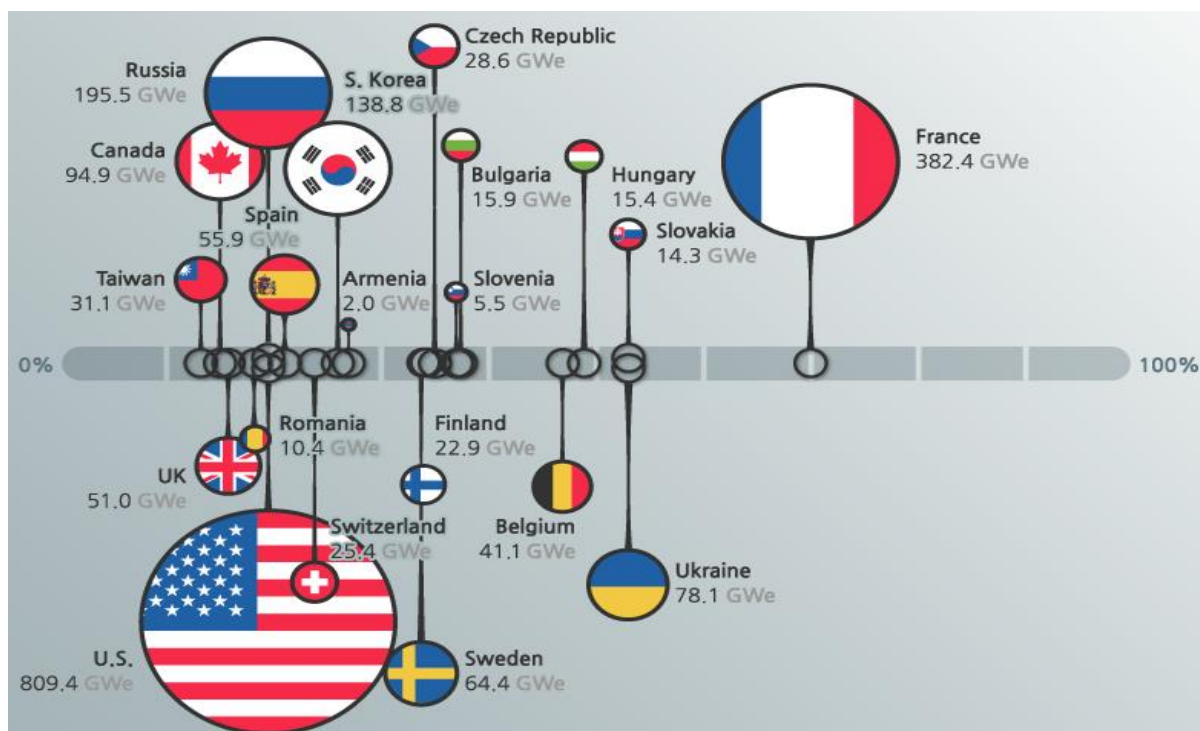
A világ 99 húsz évnél fiatalabb, működő reaktorából 45 Kínában található. Észak-Amerikában található a jelenleg működő reaktorok 25 %-a. Az USA reaktorainak 49 %-a 40 évnél idősebb. A világ legidősebb (53 éves) működő reaktora Svájcban található. Németország 2022-re bezárni tervezte az összes reaktorát (2023-ban még 3 üzemel). Japán a fukushimai katasztrófa után, 2011-ben leállította az összes reaktorát, amelyeket 2015 után elkezdett újraindítani. Kínában, Indiában, Brazíliában, Argentínában, Dél-Afrikában és az Egyesült Arab Emírátsokban folytatódik az atomerőművek építése.

Ha a világ 20 legjelentősebb atomenergia termelő országát tekintjük, gigawattban és az illető ország energia-ellátásának százalékában, akkor Franciaország az utóbbiban 70 %-kal az első, termelési kapacitását tekintve a második. Az országok zöme 10-30 % atomenergiát használ fel. Franciaország, Ukrajna és Szlovákia után Magyarország a negyedik helyen áll e tekintetben (lásd 5. ábra).



A világ atomerőműveinek eloszlása (zöld = működő, szürke = bezárt, sárga = épülő)

Forrás: Visual Capitalist: International Atomic Energy Agency 2020¹⁴



A 20 vezető atomenergia termelő ország sorrendje 2020-ban

Forrás: Visual Capitalist: International Atomic Energy Agency 2020

¹⁴ <https://www.visualcapitalist.com/wp-content/uploads/2020/08/World-Nuclear-Landscape-1500px.html>

Atomerőmű balesetek

Az atomerőművekben (1) a **természeti katasztrófa**, úgy, mint földrengés, földmozgás, szökőár, (2) emberi mulasztás, vagy a megfelelő karbantartás hiánya okozta **műszaki hiba** és (3) **terror-támadás**, vagy háború okozhat olyan helyzetet, hogy a reaktorból kiszabaduló radioaktív anyagokat tartalmazó por az esemény idején érvényesülő széljárástól függő irányba sodródik. A bioszférába, és így az emberi szervezetbe is bejutó, ilyen veszélyes anyag a kripton (10 éves felezési idővel), a radon (3 napos felezési idővel, bár ez az atomerőmű esetleges balesettől függetlenül, folyamatosan éri a környezetet az urán tartalmú kőzetekből és építőanyagokból, illetve a vezetékes vízből); és a trícium (amely a katonai nukleáris kísérletek visszamaradt sugárzásával terjed). Ilyen a szén 14 (5730 éves felezési idővel). Az orosz/szovjet gyártmányú reaktorok baleseténél a legveszélyesebbek a **jód** (129 éves felezési idővel), a **stroncium** (90 évvel) és a **cézium** (137 évvel) radioaktív izotópjai.

„Olyan rosszindulatúan süt a nap” – mondta a Szerző édesapja 1986. május 17-én, amikor Észak-Magyarországon, az Aggteleki-karszthegység egy kis falujának, Teresztenyének a határában a Szerző, a szülei, és várandós felesége a szőlőben kapált. Egyetlen felhő sem volt az égen, mégis, nem a jellegzetes tavaszi, szikrázóan kék ég volt, hanem valami szürkés-kék forróság. Akkor, Pestre visszatérve, addig soha nem látott, nagy szemű szedret, valamint minőségi málnát és epret lehetett dobozban vásárolni, meglepően olcsó áron! Ausztriából. Úgy látszik, az osztrákoknak valamiért nem kellett. Olcsón, ha nem ingyen, tovább adták a magyaroknak. Később tudtuk csak meg, hogy két héttel korábban atomerőmű baleset volt Csernobilban, amiről a szovjet, és így a magyar hírek sem szóltak ugyan, de a fejlett Nyugaton kimérték a drasztikusan megnövekedett légköri sugárzást. Azt is tudták, hogy ebben a nyugati irányba terjedő, egész Európa nyugati felét lefedő porban a sugárzó cézium és stroncium elsősorban az áfonyában, a földieperben, a málnában és fejes salátában dúsul fel. Senki nem vásárolta akkor ezeket Ausztriában, így az ügyes osztrák kereskedők gyorsan és olcsón eladták a készleteket magyaroknak – a kommunista ország tájékozatlan népének.



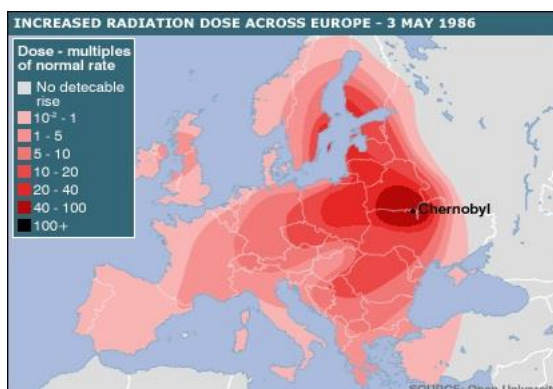
Csernobil 1986 (Szovjetunió, Ukrajna);
ok: műszaki hiba, emberi mulasztás



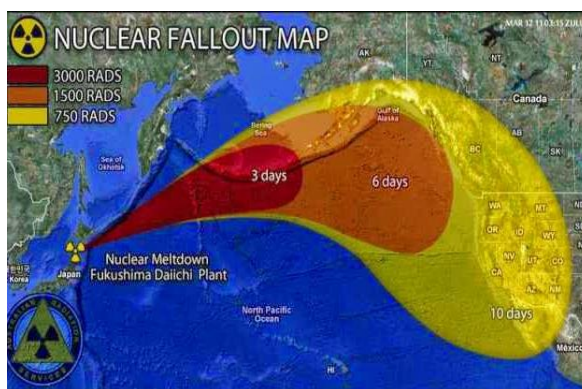
Fukushima 2011 (Japán);
ok: földrengés és szökőár együtt

Az eddigi két atomerőmű katasztrófa

Képek forrása: Internet



A csernobili baleset által veszélyeztetett európai térség keleti széljárásnál¹⁵



A fukushimai baleset által veszélyeztetett csendes-óceáni és amerikai térség nyugati széljárásnál¹⁶

Az atomerőmű baleseteknél a veszélybe kerülő régiókra nézve meghatározó az éppen uralkodó légmozgás iránya és sebessége

Képek forrása: Internet

Csernobil kapcsán mégis, valamelyest szerencsésnek mondhatjuk magunkat, mert a domborzati térképre nézve látható, hogy a Kárpátok hegyvonulatainak köszönhetően a Kárpát-medence központja, s így egész Magyarország kevésbé volt kitéve a veszélynek, mint a tőlünk északra, délre, sőt nyugatra fekvő országok



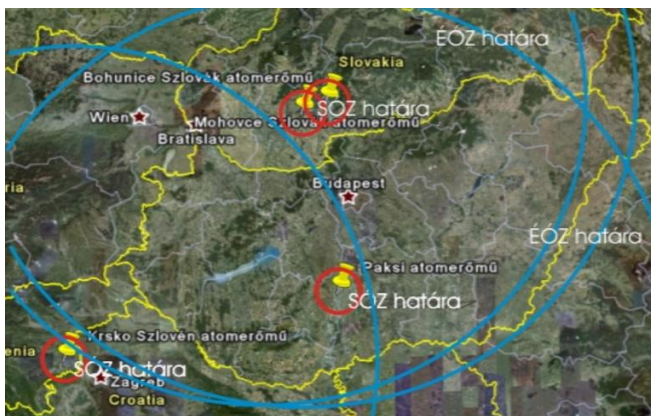
A radioaktív céziumot és stronciumot leginkább megkötő zöldség-gyümölcs

Képek forrása: Interne

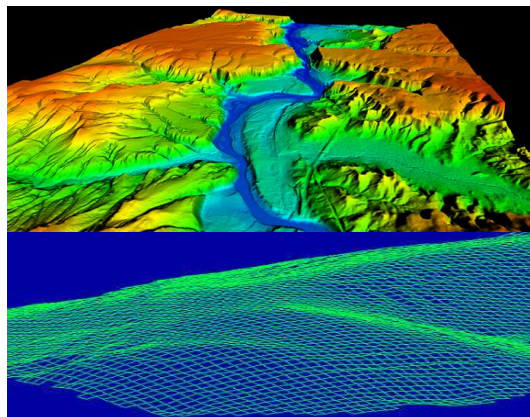
Az atomerőmű balesetekre minden ország hatásainak fel kell készülniük, akkor is, ha az adott országban nincs működő reaktor, de a térségben van. Magyarországon a Paksi atomerőmű működik, de tőlünk északra Szlovákiában a bohunicei és a mohovcei; tőlünk délre Szlovéniában a krsko-i reaktorok találhatók. Az, hogy egy atomerőmű baleset mely térséget érinti a szélről és a domborzattól függ; ezért a katasztrófavédelemnek modelleznie kell minden szélirányra és szélerősségre a veszélyeztetett terület nagyságát, ahol, a sugárzásnak leginkább kitett zónákból lakossági evakuációs, kimenekítési tervet is kell készíteni. Egész pontosan arra nézve, hogy a széliránytól és erősségtől függően honnan, hány teherautóval, milyen útvonalon és hová tudják majd elszállítani és elszállásolni a lakosságot.

¹⁵ Kép forrása: Fairewinds, 2017

¹⁶ Kép forrása: <https://survivel.cultu.be/radioactive-risk>



A kék körív vonalak azt mutatják, hogy a paksi, a szlovéniai (Krsko) és a két szlovákiai Bohunice, Mohovce) atomerőmű esetleges katasztrófája hogyan érinti a légmozgás függvényében egész Magyarország területét¹⁷



A baleset (robbanás) színhelyétől a széllel terjedő sugárzó anyagot tartalmazó por terjedésének pontos, térbeli kiterjedésének modellezéséhez a felszín digitális terepmodelljére is szükség van¹⁸

Az atomerőművek térségében a katasztrófavédelmi hatóság köteles hatásvizsgálatokat modellezni minden szélirány és szélerősség, valamint a domborzat figyelembevételével, és minden helyzetre lakossági evakuációs tervet kell készítenie, hogy katasztrófa esetén azonnal megtudja tenni a szükséges lépéseket

Forrás: Internet

Atomerőmű balesetnél nagyban csökkenti a hatásterület kiterjedését, ha esős az idő, mert az a légkörből gyorsabban kimossa a belekerülő veszélyes anyagokat. Ugyancsak csökkenti a veszélyeztetettség kiterjedését, a távoli területek szennyezését a szélcsend.

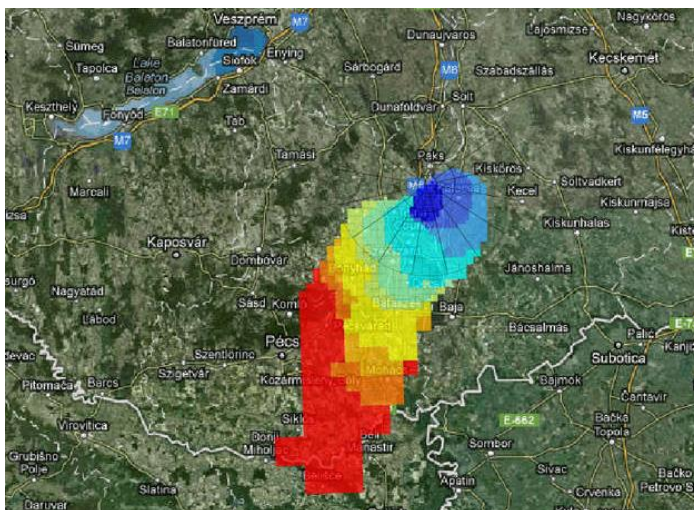
Tennivalók a katasztrófa hatásterületén

Atomerőmű balesetkor az előzetesen modellezett helyzetek egyike szerint bekövetkezett helyzetnek megfelelően el kell kezdeni a lakosság kimenekítését a legerősebben veszélyeztetett körzetekből. Mérni kell az evakuáltak ruházatának sugárszennyezését, ki kell helyezni a sugárzás-veszélyt jelző sárga-piros táblákat a veszélyes zónák határánál, el kell kezdeni a szennyezett ingatlanok (pl. épületek, utak) és ingóságok (pl. gépkocsik) zárt rendszerű lemosását, hogy elkerülhető legyen az élővizek további szennyezése.

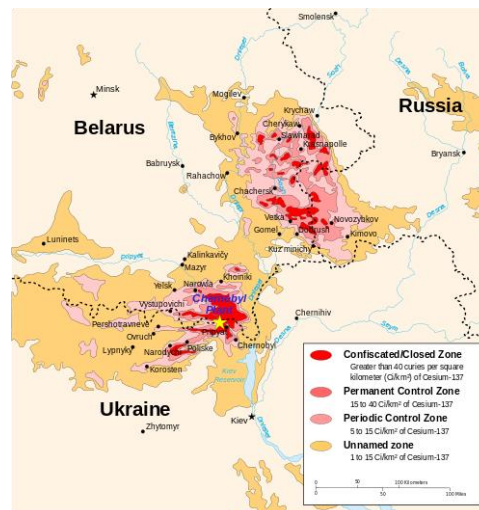
Az emberi szervezetbe bejutó jód a pajzsmirigyben halmozódik fel, a felesleg kiürül. Atomerőmű balesetnél előfordul, hogy radioaktív jód kerül a környezetbe, a bioszférába. Különösen ott, ahol az ivóvíz nem tartalmaz jódot, vagy a lakosság nem fogyaszt jódozott sót, a katasztrófavédelemnek és a tisztiorvosi szolgáltatásnak jódtablettákat kell kiosztania a lakosság körében, azt megakadályozandó, hogy az emberek pajzsmirigyébe radioaktív jóddizotóp kerüljön be és halmozódjon fel.

¹⁷ Kép forrása: Vedelem.hu, 2008

¹⁸ Képek forrása: Indiamart, Archeology Data Service



Egy paksi atomerőmű baleset hatásterületének modellezése észak-északkeleti szélirány esetén¹⁹



A csernobili katasztrófa közvetlen hatásterülete a mai Ukrajnában és Belorusziában a kelet-délkeleti szélirány és a dombvidéki domborzat függvényében²⁰

Egy modellezett és egy valódi katasztrófa hatásterülete (impact zoning) más és más légköri viszonyok közepette

Forrás: Internet



A katasztrófavédelmi hatóság legsürgősebb tennivalói atomerőmű baleset körzetében: evakuáció, vészhelyzet, sugárzásmérés, zárt rendszerű lemosás

Képek forrása: Internet

A radioaktív anyagokat tartalmazó por belélegzését és a ruházatra való kerülését elkerülendő, figyelmeztetni kell az embereket a baleset tágabb hatósugarában, hogy lehetőleg ne hagyják el

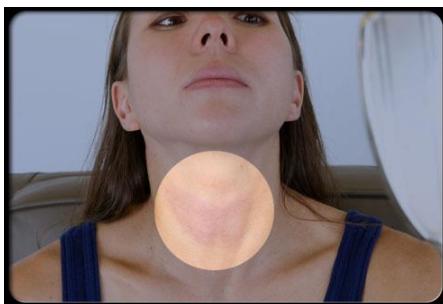
¹⁹ Kép forrása: BM, OFK, 2012

²⁰ Kép forrása: Wikimedia Commons, 1996

a házaikat és a nyílászárókat tartsák zárva, zárkózzanak el az intenzív radioaktív por légköri leülepedésének körzetében és idejében.



Jód tabletta



Pajzsmirigy védelem



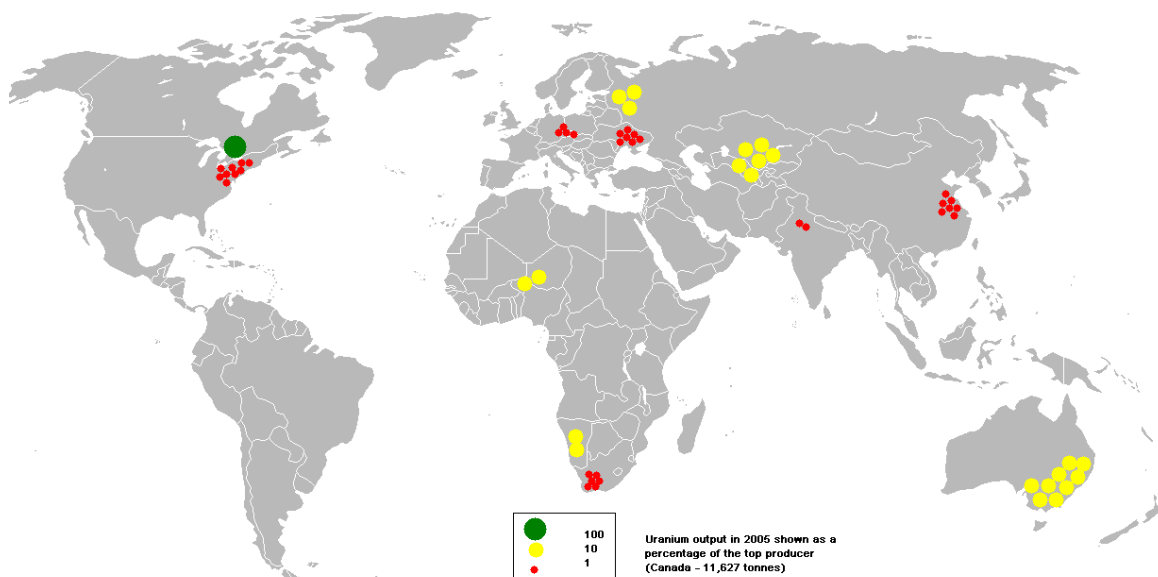
Elzárkózás

Atomerőmű baleset hatásterületén nagyon fontos feladat a radioaktív jód izotóp szervezetbe (a pajzsmirigybe) való kerülésének a megakadályozása

Képek forrása: Internet

Az uránium bányák

Az atomerőművek alapvetően biztonságosan üzemelnek, a hatalmas kéményeiken kibocsátott anyaguk: vízgőz, illetve a melegvíz. Ugyanez nem mondható el az atomenergia alapvető nyersanyagáról, az urániumról. Az uránium bányák és dúsítók körzetében a por radioaktív uránium és radon izotópokat tartalmaz, amely a tüdőre és a csontokra jelent valószínűsíthető veszélyt a szervezetbe kerülve. A bányák közelében 1 km-en belül – szélirányban – 0,025 -0,250 REM lehet az éves sugárterhelés, ami még mindig alatta marad a teljesen kockázatmentes 0,5 REM-nek. Ennek ellenére az esetleges váratlan vészhelyzetek megelőzése érdekében, mind az atomerőművek, mind az uránbányák körzetében rendszeresen mérik a sugárzás szintjét.



A világ legjelentősebb uránérc bányái: Kanada, Ausztrália, Belső-Ázsia (Kazahsztán), Észak-Kelet-Európa (Oroszország), Ukrajna, Új-Anglia (USA), Kínai-alföld, Namíbia, Niger, Dél-Afrika, Kelet-Németország, India

Forrás: Alegs Online, 2015

A kiégett atomerőművi fűtőelemek tárolása

Az atomenergia-ipar legérzékenyebb környezetterhelő munkafolyamata az évszázadokon át veszélyes hulladéknak megmaradó, sugárzó fűtőelemek tárolásának kérdése. Jóllehet az atomenergia hulladéka a többi nem megújuló, fosszilis energiahordozóhoz, a szénhez, olajhoz, földgázhoz képest messze a legalacsonyabb: egy négytagú családra és 25 évre vetítve mindössze kettő (2) köbcentiméter! Ez azonban nagyon veszélyes hulladék, amelyet körültekintően a bioszférától jól elszigetelve kell tárolni évtizedeken át.²¹ Megsemmisítésére, vagy újra hasznosítására egyelőre nincs lehetőség. A hulladéktározók 1 km-es körzetében a trícium, cézium, stroncium és jód radioaktív izotópok 0,003 – 0,09 REM sugárdózist jelentenek évente. Mivel a radioaktív hulladékok tárolása változatlanságot és jó szigetelést feltételez, általában föld alatt oldják meg.



A radioaktív hulladékok hosszútávú tárolása jelenti a legnagyobb környezeti kihívást

Képek forrása: Internet

A radioaktív sugárzást kibocsátó, kiégett fűtőelemek tárolásának kritériumai

- A talajvízzel történő bármilyen lehetséges érintkezését meg kell akadályozni (ezért csak vizet át nem eresztő, ún. impermeábilis közetben lehet kialakítani tározót: agyagban, só-tömbökben, és szilárd, repedésektől mentes kristályos kőzetekben, úgy, mint a gránit, gneisz, pala, esetleg szilárd Dachstein-i mészkő. Tilos elhelyezni homokban, kavicsban, karsztos mészkőben, és bármilyen magas talajvízű, vizes területen.
- Minél távolabb kell, hogy legyen a településektől és a felszíni vizektől.
- Teljes szeizmikus nyugalomban lévő területen kell elhelyezni, a földrengés valószínűségét ki kell zárni. Nem szabad tektonikus kőzetrepedések közelében elhelyezni a tározót. Olyan helyekre sem szabad, ahol előfordulhat a szél vagy a víz (pl. nagy esők) okozta felszínmozgás, földcsuszamlás, erózió.
- Olyan helyet kell találni, amelyeket később nem valószínű, hogy bármilyen bányászati célra fognak hasznosítani (fúrásokkal, robbantásokkal).

Konklúzió

Az atomenergia tiszta és hatékony villamosenergia forrás. Ha – érthető környezetvédelmi okokból – lemondunk a szén, az olaj és a gáztüzelésű erőművekről, az atomerőművek kiváltására a jelenlegi technológiák tükrében globálisan NINCS más lehetőség. Erről, és a megújuló energiák kínált megoldásokról részletesen lásd Lóránt Károly érvelését.²²

Az atomenergia termelés környezeti kockázatát természeti katasztrófa, emberi mulasztást feltételező üzemzavar és terrortámadás, illetve háborús rongálás jelentheti. Baleset esetén gyors

²¹Erről részletesen lásd: <https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Radioaktiv-hulladekok.ashx>

²² <https://www.magyarhirlap.hu/velemen/20231128-klimavallas-templomai>

közbeavatkozásra van szükség, mert a radioaktív sugárzásnak kitett élő szervezet megbetegedési kockázata a sugárzás időtartamával és dóziséval nő. A gyors cselekvéshez modellezni kell a bekövetkező balesetek hatásterületének kiterjedését, ami a szél irányától, erősségétől, az esőtől és a domborzattól függ.

A katasztrófavédelmi hatóság a nukleáris kockázatmenedzsment során a modelleknek megfelelő cselekvési tervvel meg kell, hogy valósítsa a veszélyeztetett lakosság evakuálását; a helyben maradók figyelmeztetését, elzárkóztatást, a használati tárgyak és ingatlanok zárt rendszerű lemosását és a jódbevitel biztosítását. A kockázatmenedzsment része az atomerőművek kiégett fűtőelemeinek geológiai és hidrogeológiai szempontból szakszerű, hosszútávú tárolásának megoldása.

Magyarország biztonságos energiaellátást, energiafüggetlenségét – országos szinten – a jelenlegi (2023) technológiai, geostratégiai, politikai viszonyok között csak a nukleáris energiával lehet megoldani. Ennek környezeti kockázati menedzsmentje lehetséges és kockázata minimális. Éppen annyira, mint egy Budapest – Los Angeles, vagy egy Budapest – Tokió repülőút vállalása!

Források

- Alegs Online, 2015. Letöltés: https://www.alegsaonline.com/zoom.php?image=Uranium_production_world.PNG
- Archeology data Service. Letöltés: <https://archaeologydataservice.ac.uk/help-guidance/guides-to-good-practice/data-analysis-and-visualisation/cad/appendices/case-study-5-a-gps-survey-of-hambledon-hill/>
- BM, OFK (Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság), 2012. Letöltés: https://www.elftsv.hu/svon-line/docs/kulonsz/2012sv/Kossa_BM_OKF_NBI%C3%89K.pdf
- Fairewinds.org, 2017. Letöltés: <https://www.fairewinds.org/newsletter-archive/consequences-of-a-catastrophe-31-years-of-chernobyl>
- Indiamart, Drone Survey Service. Letöltés: <https://www.indiamart.com/proddetail/drone-survey-service-22591402848.html>
- Lóránt K. 2023. A klímavallás templomai. Letöltés: <https://www.magyarhirlap.hu/velemenyt/20231128-klimavallas-templomai>
- <https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Radioaktiv-hulladekok.ashx>
- Rován, C. 2008. What plate tectonics doesn't tell you. News and Commentary from the world of Geology and Earth Science. Letöltés: <https://all-geo.org/highlyallochthonous/2008/02/what-plate-tectonics-doesnt-tell-you/>
- Tózsá I. 1989. Az atomerőművekből származó sugárzó anyagok és felhalmozódásuk a bioszférában: „ad usum delphini” = Műhely – a Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutató Intézet Környezetminősítő és Számítástechnikai Osztályának Tanulmány-sorozata. 1989. No: 5. Budapest. 19 p. Letöltés: <https://tozsaistvan.net/?p=2652>
- Tózsá I. 2018. *Nuclear Risk Management* c. előadásának alapján készült a Budapesti Corvinus Egyetem, az Universität Regensburg és az Università di Trento közös képzésében: Joint European Master in Comparative Local Development (2016-2018).
- Védelem.hu, 2018. Letöltés: <https://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/181-uj-nuklearisbaleset-elharitasi-intezkedesi-terv-beit-fejer-megyeben.pdf>
- Visual Capitalist: International Atomic Energy Agency 2020. Letöltés: <https://www.visualcapitalist.com/wp-content/uploads/2020/08/World-Nuclear-Landscape-1500px.html>
- Wikimedia Commons, 1996. Letöltés: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chernobyl_radiation_map_1996.svg



A világ legnagyobb atomerőmű központjai: az aktív reaktorok száma 2022-ben

Forrás: World Nuclear Industry Status Report, 2022



A világ atomenergia termelésének gravitációs földrajzi központja

Szerkesztette: Korompai Attila

A FÉM „JÖVŐ”

A „chipkorszak” az alkáli- és ritkaföldfémek kora

Ittrium a XXI. század sokoldalú és precíziós ritka földfémje

Az ittrium fémesszürke átmenetifém. Vegyjele: Y, rendszáma 39. Kémiai jellemzői, elektron-szerkezete, atomtömege alapján ritkaföldfémek közé sorolják. Az ittrium önmagában sohasem fordul elő. Mindig más ritkaföldfémekkel együtt található meg a különböző ásványokban. A ritkaföldfémek kémiai tulajdonságainak nagymértékű hasonlósága miatt rendkívül nehéz a szétválasztásuk is és a tiszta ittrium előállítása is. Egyetlen stabil izotópja van a 89 tömegszámú 89Y. Ez az egyetlen természetes ittrium izotóp. Több izotópját is mesterségesen állítják elő. Különösen fontos a 90Y izotópja, amit a nukleáris medicinában alkalmaznak széleskörűen.

Az elemet 1787-ben fedezte fel a svéd természettudós Carl Axel Arrhenius Ytterby-ben. Az újonnan felfedezett fémét a falu neve után ytterbitnek nevezte el.

Az ittrium-oxidot (Y_2O_3) 1789-ben sikerült azonosítani az Arrhenius által felfedezett ásványban. A vegytiszta elemi ittriumot csak negyven évvel később tudták előállítani.

Az ittrium különleges tulajdonsága, hogy ötvözőanyagként felhasználva jelentősen javítja a különböző fémötvözetek kémiai és fizikai tulajdonságait. Emiatt különösen alkalmas precíziós berendezések, elektronikai eszközök anyagaként való felhasználásra. A mikroelektronika, a nanotechnológia fejlődésével épp emiatt nő meg az ittrium iránti kereslet.

Az ittrium pont az a fém, amit tiszta formájában szinte sohasem használnak még. Nagyon kis mennyiségben asználják ötvöző fémként, így viszont a legkülönfélébb területeken a felhasználási lehetőségek végtelen tárházát nyitja meg. Használata több esetben nem csak az anyagtechnológiát, hanem a legkülönfélébb felhasználási területeket is forradalmasíthatja. Stratégiai jelentőségét épp a sokoldalú felhasználása és a felhasználásának nagyon magas multiplikátor hatása adja.

Ezt ugyanakkor jelentősen korlátozhatja az, hogy a világtermelés közel kétharmadát Kína adja. Még másik három ország -USA, Myanmar, Ausztrália – adja a világtermelés 34%-át. Stratégiai jelentőségével Kína is tisztában van, hiszen nagyon erősen igyekszik korlátozni a ritkaföldfémek, köztük az ittrium, exportját. Aki az ittriumot birtokolja, az nem csak a legtisztább égszínkében láthatja a világot, hanem hatalmas versenyelőnyre tehet szert a lézertechnikában, a nukleáris medicinában, a televíziók, a mobiltelefonok, számítógépek kijelzőinek minőségében és gyártásában, a benzin és dízel meghajtású autók károsanyag kibocsátásának csökkentésében. Az USA ittriumvegyület importja 95%-ban Kínából, 3%-ban Németországból, illetve 1-1% Koreai Köztársaságból és Japánból érkezett. Az ittriumfém és -vegyületek szinte teljes mennyisége Kínában feldolgozott ásványi koncentrátumokból származik. Az importforrások nem tartalmazzák a hozzáadott értékű intermedierekben és késztermékekben található ittriumot.

A világ éves ittrium-oxid-termelése 2001-ben 600 tonna volt. 2023-ra 15000 tonnára nőtt. Az ittrium-oxid globális készleteit 2014-ben több mint 450 000 tonnára becsülték. A legnagyobb ittrium készletekkel rendelkező országok közé tartozik Ausztrália, Brazília, Kína, India és az Amerikai Egyesült Államok. Évente csak néhány tonna ittriumfémot állítanak elő az ittrium-

fluorid kalcium-magnéziumötvözetből készült fémszivaccsá redukálásával. Egy ívkemence 1600 °C-nál magasabb hőmérséklete elegendő az ittrium megolvasztásához²³.

Kína a világ ittrium-készletének legnagyobb részét a déli tartományokban – elsősorban Fujian, Guangdong és Jiangxi –, valamint kisebb számú Guangxi és Hunan lelőhelyéből állította elő mállott agyagion-adszorpciós értelepeiből. Az ittriumot szintén hasonló burmai agyaglerakódásokból állították elő.

Világszerte az ittriumot főként oxidvegyületek formájában használták fel kerámiákhoz és foszforokhoz. Kisebb mennyiséget használtak fel az elektronikai eszközökben, lézerekben, optikai üvegekben és kohászati termelésben ötvöző anyagként. Az ittrium fém és az Y₂O₃ átlagos ára nőtt 2021-hez képest. A kínai Ipari és Informatikai Minisztérium 210 000 tonnára, illetve 202 000 tonna ritkaföldfém-oxid-egyenértékre emelte a ritkaföldfém-bányászat és -leválasztás kvótáját. A termelési kvóta ittriumtartalmát nem határozták meg. A bányatermelést 190 850 tonna könnyű ritkaföldfémre és 19 150 tonna ionadszorpciós agyagra osztották fel.

2022-ben Kína ittriumvegyület- és fémexportját 2400 tonna Y₂O₃-egyenértékre becsülték, és a vezető exportcélpontok csökkenő sorrendben Japán, az Egyesült Államok, a Koreai Köztársaság és Németország voltak. 2021-ben Kína ittriumvegyület-exportja 2100 tonna Y₂O₃-egyenérték volt.

Az ittrium ipari felhasználása

Az ittrium legfontosabb felhasználási területe a foszforeszkáló anyagok előállítása. Az ittriumot a legnagyobb mennyiségben a hagyományos katódsugárcsöves televíziók képernyőjében és újabban a LED lámpáknál használják. Az ittrium többi felhasználási területe közé tartozik az elektródok, elektrolitok, elektronikus szűrők gyártása.

Az ittrium fémkristály szerkezete teszi lehetővé, hogy ötvöző anyagként használják lézerrel működő vagy azt felhasználó eszközök és a szupravezetők gyártásában. A különböző orvosi eszközök, egészségügyi berendezések közül az MR és a CT berendezésekben, illetve más képalkotó eszközökben használják.

A tiszta fém ittriumot a reaktortechnológiában a csövek építésére használják. Az ittrium kobalttal alkotott YCo₅ ötvöze különösen erős mágnesként használható. Az ittriumot a tömegspektrométerekben lévő ionforrásokban lévő huzalok melegítésére használják.

A kohászatban kis mennyiségű ittriumot használnak a szemcsék, a fémkristályok méretének csökkentésére, az ötvözetek finomítására. Ez javítja az ötvözetek mechanikai tulajdonságait, rugalmasságát, szakítószilárdságát. Az ittriumot nagyon gyakran használják vas-króm-alumínium fűtővezető ötvözetekben, krómban, molibdénben, titánban és cirkónium ötvözetekben. Növeli az alumínium és magnézium ötvözetek szilárdságát. A lítium-vas-foszfát akkumulátorok ittriummal való adalékolása növeli a teljesítményüket és a tartósságukat. Azonos tömegű akkumulátorok esetén az ittrium övezetekkel készített akkumulátorok teljesítménye nagyobb, vagyis nagyobb töltésmennyiség felvételére alkalmasak. Az ittrium alkalmazása növeli az akkumulátorok élettartamát. Vagyis több feltöltést bírnak ki úgy, hogy az áramfelvevő kapacitásuk nem csökken például 500 feltöltés után a névleges kapacitás 70%-ára. Az ittrium ötvözetekkel készített akkumulátorok 500 feltöltés után is még több, mint 80%-ig feltölthetők és csak

²³ [Yttrium \(usgs.gov\)](https://www.usgs.gov)

1000 feltöltés után csökken a kapacitásuk az eredetinek kb. 70%-ára. Vagyis a elektromos meghajtású személygépkocsik vezetőinek nem kell attól tartaniuk, hogy az idő, a feltöltések számának előre haladásával egy töltéssel csak egyre rövidebb távolságot tudnak megtenni.

A tiszta fém ittriumot a reaktorteknológiában a csövek építésére használják. Az ittrium kobalttal alkotott YCo5 ötvözetek különösen erős mágnesként használható. Az ittriumot a tömegspektrométerekben lévő ionforrásokban lévő huzalok melegítésére használják.

Az ittriumoxid vegyületek is nagyon fontos szerepet töltenek be a különböző műszaki területeken:

- Az ittrium-nitrát a külső felszínek fényes bevonó anyagaként
- Az ittrium-alumínium-oxid szemcsék lézerkristályként használhatók
- Az ittrium-vas-oxid szemcsék nagyon jó mikrohullámú szűrők.
- Az ittrium-oxiddal stabilizált cirkónium-dioxid a szilárd elektrolitot tartalmazó az üzemanyagcellák töltőanyaga.
- Az YInMn a festékipar egyik kedvenc gyártmánya, mert a legtisztább kék színű festékek alapanyaga. Az ittrium-, indium- és mangán-oxidok kevert oxidja nagyon tiszta és ragyogó kéket mutat.

Az ittrium-oxidok és ittrium-oxid-szulfidok legfontosabb felhasználási területe a kijelzők és képcsövek gyártása. Az ittrium-oxidok alkotják a színes televíziózás és a képalkotás anyagi alapját. A három vegyértékű európiummal (piros) és tuliummal (kék) adalékolt luminoforok (foszforok) széles köre teszi lehetővé a legkülönbözőbb színek megjelenítését a televíziós képernyőkben és kijelzőkben. Az kijelzőkön megjelenő színek tisztasága, élessége a felhasznált ittrium ötvözetek, luminoforok kristályszerkezetének precíz kivitelezésétől függ.

Az ittrium kerámiát és ötvözeit a következő területeken is használják:

- A lambda szondák a benzinmotoros személygépkocsikban a katalizátor elé beépítve mérik a kipufogógázok oxigéntartalmát. Ezzel egyszerre szolgáltat a katalizátor hatékony működéséhez szükséges oxigénszint beállításához, illetve üzemanyag/levegő mennyiségi arányának szabályozásához szükséges információkat. Az ittrium a lambda szonda által szolgáltatott elektromos jelek generálásához szükséges. Lambda szondákat a világon két nagy gyártó készít, a német Bosch és a japán NGC/NTK. Az ittrium ilyen felhasználása hagyományos autózásban kiemelt jelentőségű a környezetvédelem szempontjából.
- Szupravezetőként is használható az ittrium-bárium-réz-oxid ötvözet ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) Ez az elektromos vezetékek belső ellenállásának, hálózati veszteségének nagyon jelentős csökkenését eredményezheti.
- ODS (*oxid dispersion strengthened*) ötvözetek
- Gyújtógyertyák kerámia alkatrészei.

Ittrium gyógyászati felhasználása

Az ittrium mesterségesen előállított 90 tömegszámú izotópját a nukleáris medicinában használják gyógyításra. Az ittrium 90Y izotópok felhasználásának előnye a tiszta (vagyis tervezhető, irányítható) béta sugárzás. Ez a rákos sejtekre irányuló célzott radioaktív sugárzás feltétele, hogy minél kevesebb egészséges szövetet károsítsanak. Az ittrium 90Y izotópját használják

tovább a csontmetasztázisok, rákos csonttátek radionuklidterápiájára, a radioimmunterápiára és a vastagbélrák kezelésére.

Az Ittrium-citrátot alkalmazzák a radioszinoviortézisre. Ez új jelenség. A különösen nagy terhelésnek kitett csípő és térd ízületek deformálódásának kezelésre alkalmazott új gyógyászati eljárás. Ez a betegek életminőségét jelentősen növeli a mozgáskorlátozottság enyhítésével.²⁴ Amennyiben ez az eljárás tömegessé és sikeressé válik, az a szerzők szerint a GDP-nek akár 1%-os megtakarítását is eredményezheti.

Lítium

A lítium, mint kémiai elem a legkisebb tömegszámú fém. Vegyjele Li. A periódusos rendszerben 3-as rendszámmal rendelkezik. Ez egy puha, ezüstös fehér alkálifém. Normál körülmények között ez a legkisebb sűrűségű és szilárdságú fém, illetve szilárd elem. Ezüstös színű, fémes fényt mutat. Mint minden alkálifém, a lítium is nagyon reaktív és gyúlékony. A levegő oxigénjével nagyon gyorsan reakcióba lép. Emiatt az tiszta elemi formában nagyon nehezen kezelhető, tárolható, illetve szállítható. Az akkumulátorgyártás környezeti hatásaival kapcsolatos aggodalmak épp ebből is származnak. A lítiumot tiszta fém formájában ezért vákuumban, inert atmoszférában vagy inert folyadékban, például tisztított kerozinban vagy ásványolajban kell tárolni. A rendkívüli reakcióképessége miatt a természetben nem fordul elő elemi állapotban, hanem csak a vegyületeiben kötött formában. Ionként való oldhatósága miatt jelen van az óceánok vizében. Bár ennek pontos mennyisége és koncentrációja nem ismert. A lítium ismert szárazföldi előfordulásai is általában korábbi víz borította helyszínekhez, kiszáradt tavakhoz, medencékhez kapcsolódnak. Ennek megfelelően a legtöbb lítiumot sóoldatból nyerik ki. A fém lítiumot elektrolitikus úton nyerik ki a lítium-klorid és kálium-klorid keverékéből.

A lítiumatom magja az instabilitás határán található. A természetben található két stabil lítiumizotóp atommag kötési energiája a legalacsonyabb az összes stabil elem közül. A lítium atommag instabilitása miatt a lítium kisebb koncentrációban és mennyiségben található meg a Naprendszerben, mint ahogy az a rendszáma alapján várható lenne. Az atommagjának instabilitása miatt a lítium fontos szerepet játszik a magfizikában és a nukleáris fegyverekben. A lítium atomokat 1932-ben alakították át először héliummá. Ez volt az első mesterséges nukleáris reakció. A lítium-deuterid fúziós üzemanyagként szolgál a hidrogénbombákban.

A lítiumnak és vegyületeinek számos ipari felhasználása van. A lítium hagyományos felhasználási területei közé tartozik a hőálló üvegek és kerámiák készítése. A lítium fontos adalékanyaga a zsír-kenőanyagoknak. A vas-, acél- és alumíniumgyártás során a lítiumadalék felhasználása könnyíti meg a frissen kiolvasztott fémek folyasztását. A lítium felhasználásban viszont robbanásszerű változásokat hozott a szárazfém akkumulátorok és a lítium-ion akkumulátorok elterjedése először a mobiltelefonok, majd a hordozható számítógépek és napjainkban az elektromos autók gyártásában és mindennapos használatában. Az akkumulátorok töltőanyagaként történő felhasználás a lítiumtermelés több mint háromnegyedét köti le. A lítium nyomokban jelen van a biológiai rendszerekben. Eredetileg nincs élettani funkciója. A lítium alapú gyógyszerek hangulatstabilizálóként és antidepresszánsként hasznosak a mentális betegségek, például a bipoláris zavar kezelésében.

²⁴ Szentesi Margit - Nagy Zoltán - Géher Pál - Papp István - Kampen W. Uwe (2020) Yttrium-90 radiosynoviorthesis hosszú távú (10 éves) eredményei inflammált térdarthrosisban ORVOSI HETILAP 161. évfolyam, 43. szám pp 1831–1839

A lítium előfordulásai

A lítium sokkal kevésbé gyakori, mint a többi alkáli és alkáliföldfém (Na, K, Mg, Ca). Ennek ellenére a természetben széles körben elterjedt. A földkéregben a koncentrációja a becslések szerint 20–70 ppm (ppm) (azaz 20–70 mg/kg). A lítium a Föld 33. leggyakoribb eleme. Bár a világ minden részén megtalálható, nem található tiszta fém állapotban a vízzel és a levegővel való nagy reakcióképessége miatt. A lítium kis mennyiségben jelen van a magmás kőzetekben, legmagasabb koncentrációja gránitokban van. A gránitos pegmatitok a legnagyobb mennyiségű lítiummal rendelkező ásványok. A spodumén és a petalit a lítium bányászat legjövedelmezőbb előfordulásai. A lepidolit is jelentős mennyiségben tartalmaz lítiumot. A lítium másik forrását a hektorit ásványok jelentik, amiket az Egyesült Államokban bányásznak.

A tengervizek teljes lítiumtartalmát 230 milliárd tonnára becsülik. A tengerek vizében viszonylag állandó a koncentrációja, ami a 0,14 és 0,25 ppm között van. A tengerfenéken lévő hidrotermális kúrtók közelében azonban magasabb a lítium koncentrációja, ott közel 7 ppm koncentráció figyelhető meg. A lítium olyan koncentrációban, amely lehetővé teszi a nyereséges gazdasági kitermelést, nagyon kevés helyen fordul elő a Földön. Főként más alkálifémek sóinak szennyeződése, főleg a következő formákban:

- lítium-klorid LiCl , főleg néhány régi kontinentális sós tó sós vizében, és keverve más alkálifémek sóival, egyes geotermikus vizekkel vagy olajmezőkkel (Ilyet akar kitermelni a MOL Pusztaföldváron);
- szilikátok, beleértve a spodumént, $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ vagy szilalit ($\text{Li}(\text{AlSi}_4\text{O}_{10})$ pegmatitban;
- hektorit, egyfajta agyag, képlete $\text{NaO}, 4\text{Mg } 2, 7\text{LiO}, 3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, amely bizonyos vulkáni kőzetek megváltozásából ered;
- jadarit, $\text{Li Na Si B}_3\text{O}_7(\text{OH})$, amely egy borát ;
- rhassoul, stevensitben gazdag marokkói agyag ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ és lítium).

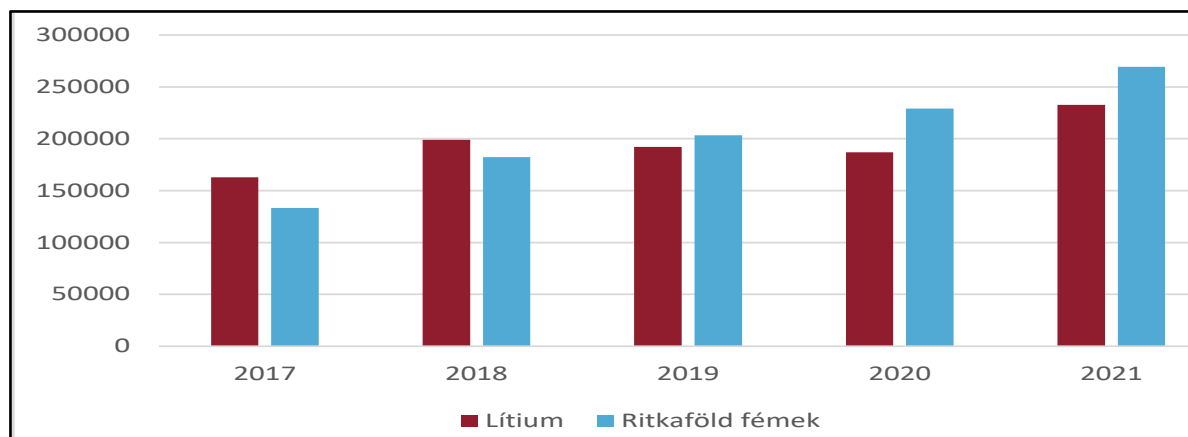
Az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatának (USGS) becslése szerint a globálisan bizonyított lítiumkészlet 22 millió tonna volt 2021 végén. Ennek az ismert és kitermelhető készletnek a 42% -a Chilében, 26% -a Ausztráliában, 10% Argentínában, 7% -a Kínában és 3,4% -a az Egyesült Államokban volt megtalálható.

Az ismert lítium lelőhelyek készleteinek teljes mennyiségét 89 millió tonnára becsülik, amelynek 24%-a Bolíviában, 21%-a Argentínában, 11%-a Chilében, 10%-a az Egyesült Államokban, 8%-a Ausztráliában és 6%-a Kínában található. A legnagyobb bizonytalanság itt elsősorban a legnagyobb feltelezett lelőhely, a Bolíviában található Salar de Uyuni miatt van. A lelőhelyen található só lítium koncentrációja nagyon alacsony, mert csak ezrelékekben mérhető. A lelőhely nagyon magasan van a tengerszint felett. Bolívia külső fizetési nehézségei és államosító gazdaságpolitikája miatt ráadásul hosszú évek óta nem tartozik befektetésre ajánlott országok közé. Ezek miatt megbecsülni sem lehet, hogy mikor és hogyan férhet hozzá a világgazdaság az Andok kincséhez. Globális termelése 2021-ben 100 ezer tonna volt. Ausztráliában a kitermelés 55%-a, Chilében 26%-a, Kínában 14%-a és Argentínában a 6%-a.

Bizonyított és potenciális lítium készletek a világ országaiban

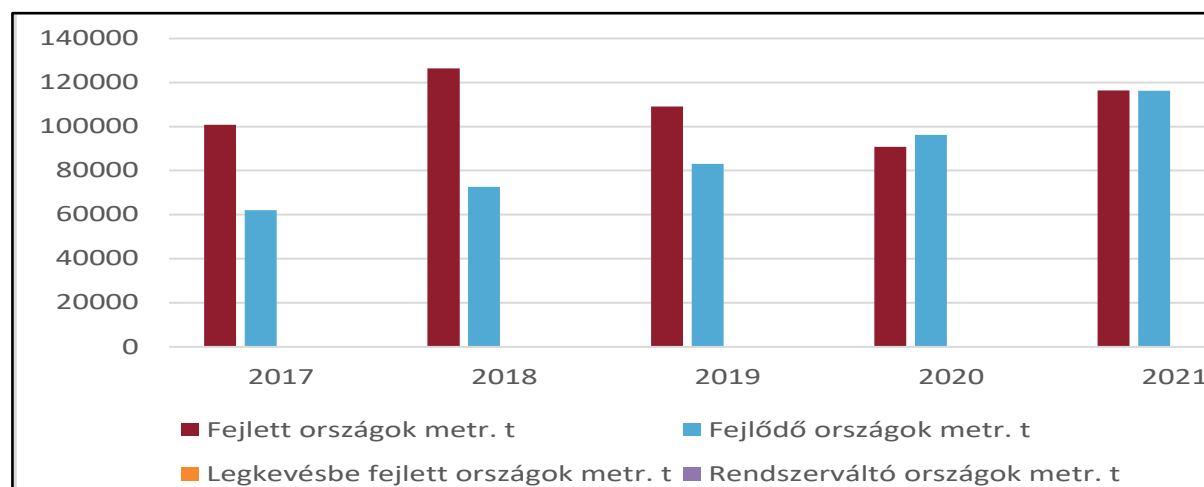
Ország	Termelés 2018	Termelés 2019	Termelés 2020	Termelés 2021	Becsült 2022-es termelés	Bizonyított tartalékok tonna	Becsült erőforrások készletek tonna
Argentína	6 400	6 300	5 900	5 970	6 200	2 700 000	20 000 000
Ausztrália	58 800	45 000	39 700	55 300	61 000	6 200 000	7 900 000
Bolívia	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	21 000 000
Brazília	300	2 400	1 420	1 700	2 200	250 000	730 000
Kanada	2 400	200	n.a.	n.a.	500	930 000	2 900 000
Chile	17 000	19 300	21 500	28 300	39 000	9 300 000	11 000 000
Kína	7 100	10 800	13 300	14 000	19 000	2 000 000	6 800 000
Kongói Demokratikus Köztársaság	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3 000 000
Egyesült Államok	900	900	900	n.a.	900	1 000 000	12 000 000
Németország	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3 200 000
Mexikó	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1 700 000
Cseh Köztársaság	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1 300 000
Peru	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	880 000
Spanyolország	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	320 000
Portugália	800	900	348	900	600	60 000	270 000
Mali	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	840 000
Oroszország	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1 000 000
Szerbia	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1 200 000
Zimbabwe	1 600	1 200	417	710	800	310 000	690 000
Más országok						3 300 000	
A világ összesen	95 000	86 000	82 500	107 000	130 000	26 000 000	98 000 000

Forrás: US Geological Survey



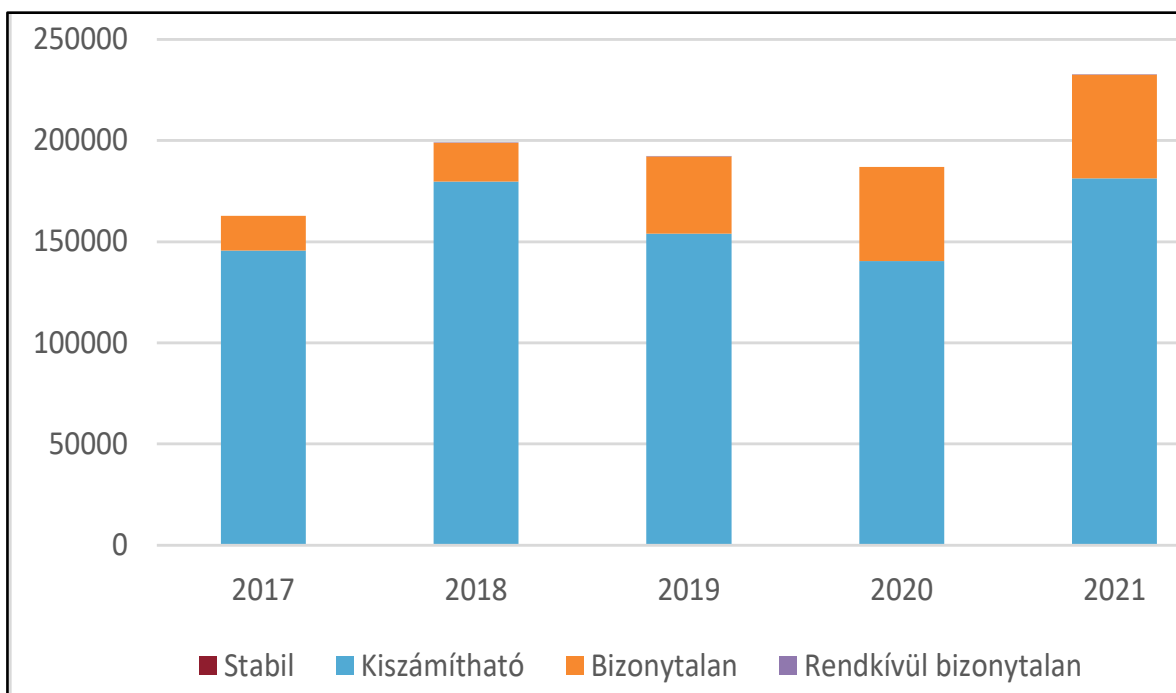
A lítium és a ritkaföldfémek termelésének mennyisége tonnában

Forrás: [World Mining Data - Data Section \(world-mining-data.info\)](https://world-mining-data.info/)



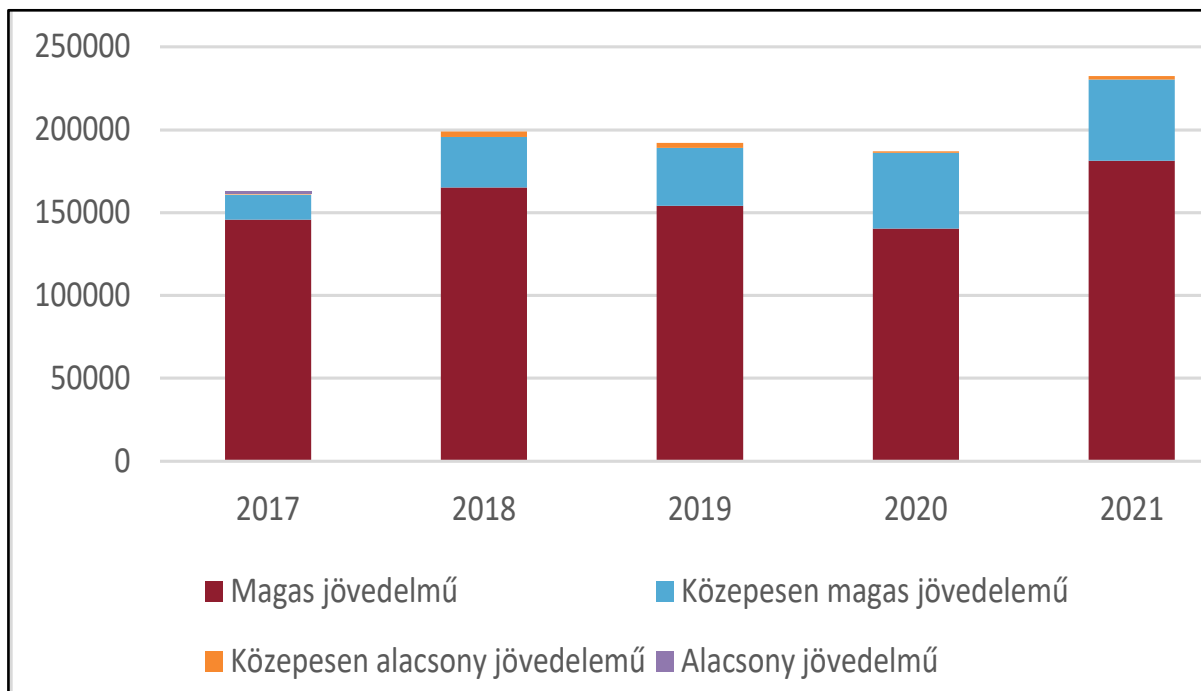
Lítium kitermelés az országok fejlettsége szerint (tonna)

Forrás: [World Mining Data - Data Section \(world-mining-data.info\)](https://world-mining-data.info/)



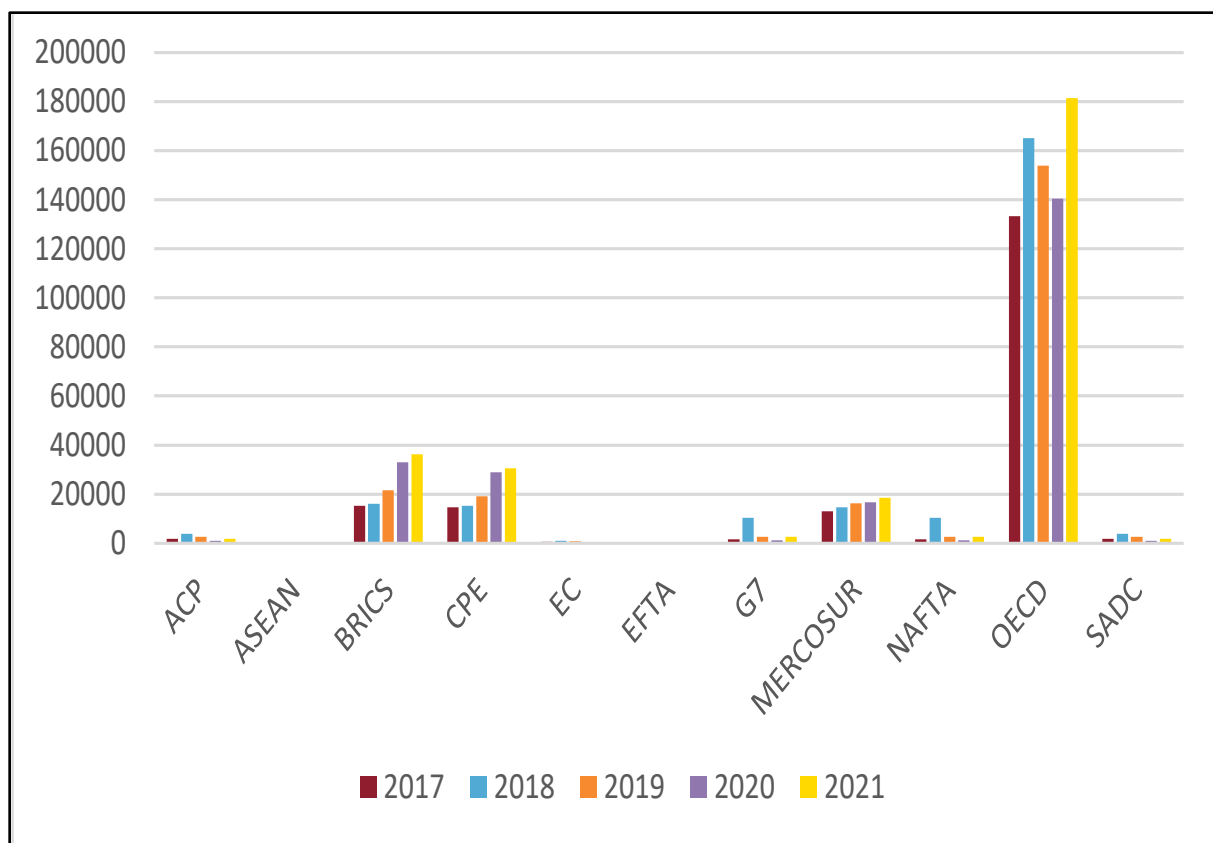
Lítium kitermelés politikai stabilitás szerint (tonna)

Forrás: [World Mining Data - Data Section \(world-mining-data.info\)](https://world-mining-data.info)



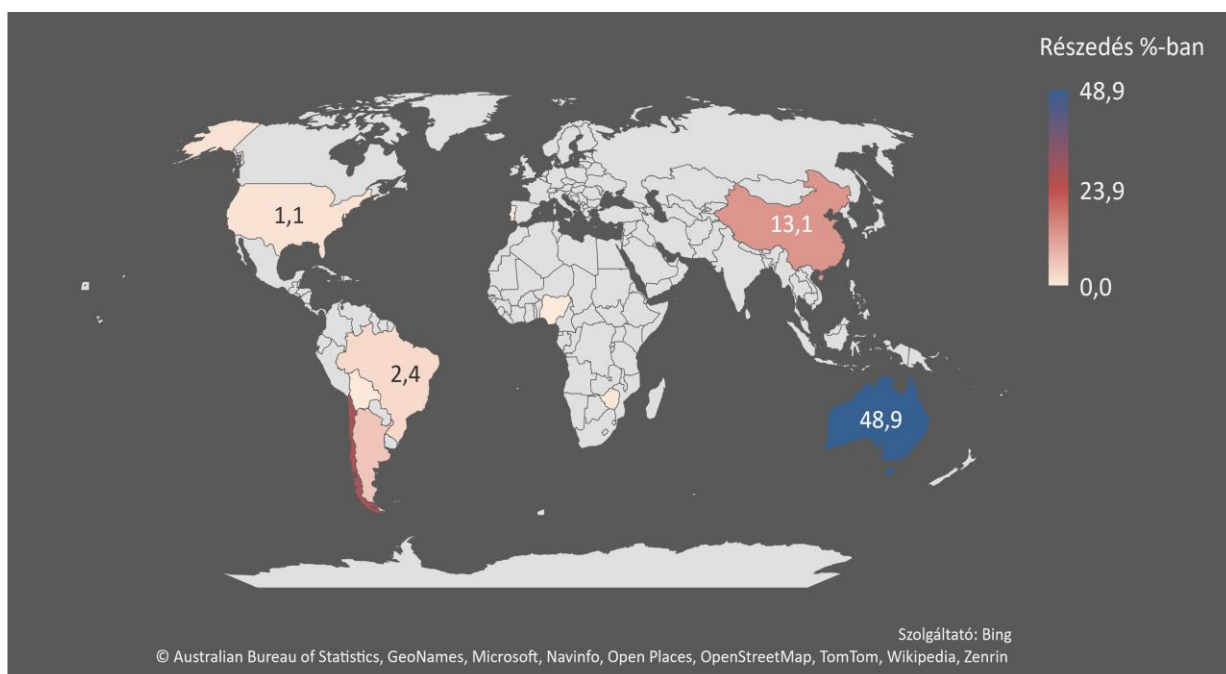
Lítium kitermelés az országok jövedelmi pozíciója alapján (tonna)

Forrás: [World Mining Data - Data Section \(world-mining-data.info\)](https://world-mining-data.info)



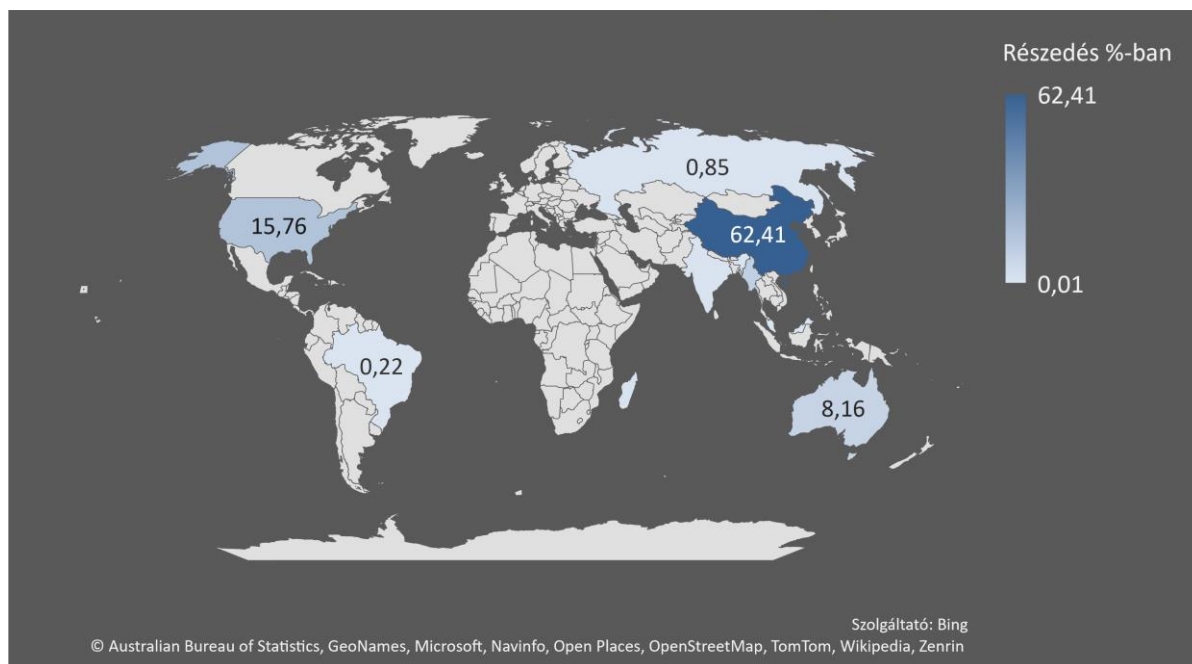
Lítium termelés országcsoporthoz és gazdasági integrációk szerint (tonna)

Forrás: [World Mining Data - Data Section \(world-mining-data.info\)](https://world-mining-data.info)



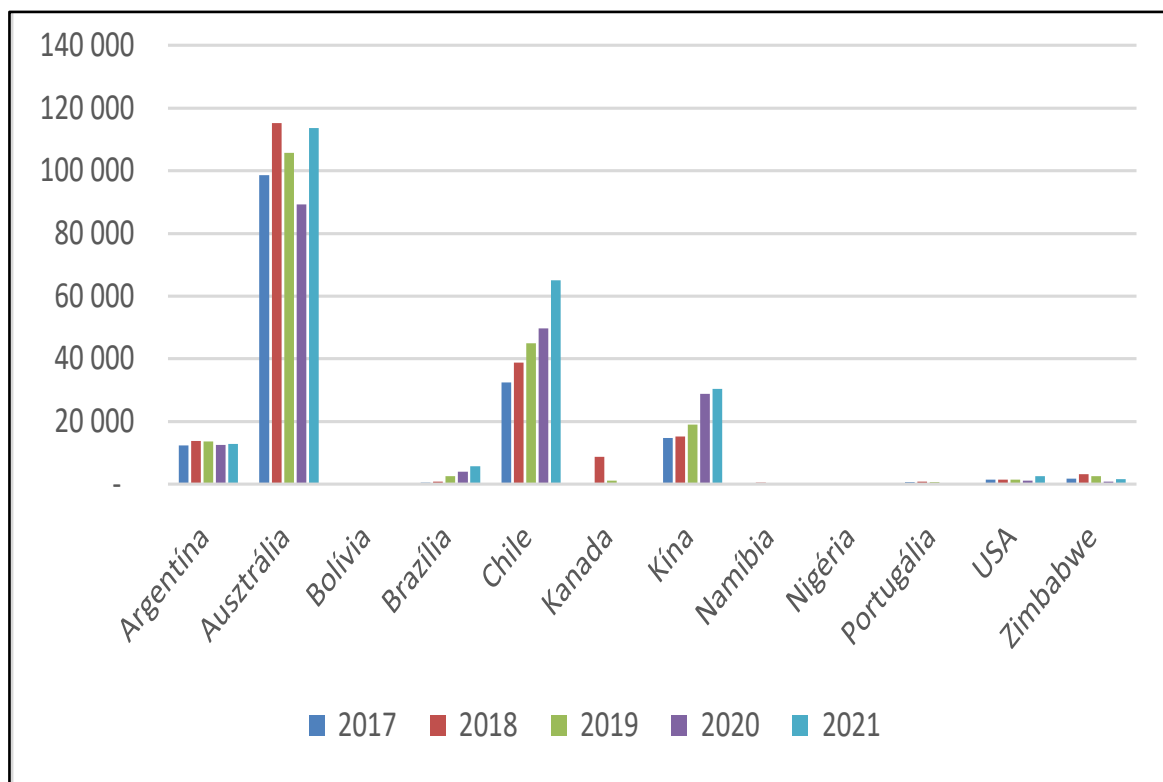
A lítium kitermelésének megoszlása országok szerint

Forrás: [World Mining Data - Data Section \(world-mining-data.info\)](https://world-mining-data.info)



A ritkaföldfémek kitermelésének megoszlása országok között

Forrás: [World Mining Data - Data Section \(world-mining-data.info\)](https://world-mining-data.info)



Lítium kitermelés országonként (tonna)

Forrás: [World Mining Data - Data Section \(world-mining-data.info\)](https://world-mining-data.info)

A lítium háromszög országai: Argentína, Bolívia és Chile

Az Andok sósivatagjai lítiumban gazdagok. A lítiumot sós mocsarakban történő szivattyúzás és elpárolgás után sóoldat koncentráálásával termelik ki. A "lítium háromszög" az Andok Amerika déli részén, Argentína, Bolívia és Chile határán található földrajzi terület, amely a bolygó ismert lágyfém tartalékának több mint 85% -át koncentrálja. Mivel a lítiumforrásokban gazdag terület alakja inkább félhold alakú, azt javasolták, hogy a területet lítium-háromszög helyett lítium-félholdnak nevezzék el.

A sóval borított tómedrek, az úgynevezett sós síkságok szétszórva találhatók a magas, száraz, szeles Puna de Atacama-ban. A hatalmas ősi tavak koncentrált maradványaiból képződött sósíkságok sok oldható ásványi anyagot tartalmaznak, például káliumsókat, lítiumsókat és asztali sót.

A háromszög, amelynek tengelyei vagy csúcsai alkotják és magukban foglalják az argentin Salar del Hombre Muerto-t, a chilei Salar de Atacama-t és a bolíviai Salar de Uyuni-t, három különböző fennsíkon található. A lítiumforrásokkal rendelkező terület azonban túlnyúlik a háromszögon, elérve a déli Maricunga sósíkságot és az északi Surire sósíkságot.

A fent említett fennsíkok a következők: az Altiplano főleg Bolíviában és a nyugati periferiával Chilében helyezkedik el. A Puna de Atacama szinte teljes egészében Chilében és Argentínában található. A központi Andok vulkáni íve választja el a Puna de Atacama-t a másik két fennsíktól. A Cordillera de Lipez választja el a bolíviai Altiplanót az argentin Punától.

Argentínában és Chilében a bányákat a magánszektor üzemelteti. Bolíviában az állami tulajdonban lévő Yacimientos de Litio Bolivianos 2008 óta monopóliummal rendelkezik. Ezek a vállalatok olyan országokba exportálják a lítium-oxid tartalmú dúsított érceket, mint Németország, Kína, az Egyesült Államok, Hollandia, az Egyesült Királyság és Oroszország.

Az idén kezdtek formát ölteni különböző nemzetközi együttműködési kezdeményezések. A lítium-háromszög egyes országai és a lítium integrált felhasználásához szükséges technológiával rendelkező fejlett országok között együttműködés jött létre 2010-ben.

A szakértők szerint a háromszög területe olyan nagyságrendű lítiumforrásokkal rendelkezik, amelyek egyenértékűek a Szaúd-Arábiában található kőolaj mennyiségével. Az összehasonlítás azonban némileg sántít. A kőolaj önmagában valódi energiaforrás. A lítium-akkumulátorok csak tárolják az energiát. Az összehasonlítás alapja lehet, hogy hány autóba építhetők be a lítium-akkumulátorok, aminek az anyagát itt bányásszák.

A világ legnagyobb lelőhelye a Salar de Uyuni, Potosí megyében, Bolívia délnyugati részén. A világ erőforrásainak egyharmadát képviseli. 2008 márciusában Bolívia engedélyezte a lítium kitermelését Uyuni fosszilis sósivatagában és egy kitermelőüzem létrehozását. Jelenleg a francia Bolloré csoport dolgozik a térségben. 2023. októberében az orosz Roszatom is engedélyt kapott a bányászat megkezdésére. A második legnagyobb lelőhely a chilei Salar de Atacama, amely 1997 óta a világ vezető exportőre, fő üzemeltetője a német Chemetall cég.

Argentínának is több lítiumlelőhelye van. A legnagyobb argentin lelőhely a Salar del Hombre Muerto. Ez száz kilométerre északra van a másik nagy lelőhelytől az Antofagasta de la Sierrától. Mindkét nagy lelőhely az ország északnyugati részén nehezen megközelíthető helyen található. Csak földutak vezetnek hozzá, de az FMC cég 1995 óta foglalkozik a kitermelésükkel.

Az új lítium kitermelési technológiák arra törekednek a lítium-háromszög só-síkságjain, hogy elkerüljék a sóoldatok párologtatását. Ezzel a feldolgozott lítium előállításához szükséges időt rövidítik le. A dél-amerikai lítium sóoldatok feldolgozása csak egy dekantálási folyamatot igényel. Ez összetett folyamat ugyan, de 4-szer olcsóbb, mint a lítium kivonása a kemény kőzetből. Ez utóbbi eljárásokat Kanadában, Ausztráliában, Portugáliában és Brazíliában használják.

A francia ERAMET cég jelenleg koncesszióval rendelkezik a Centenario Ratóns sósíkság üzemeltetésére Salta tartományban. Ez a cég kifejlesztett egy új módszert, amely lehetővé teszi, hogy a lítiumot néhány nap alatt kinyerjék az ásványi sókból, hogy utána tetszőleges koncentrátumot lehessen készíteni.

A sósíkságok kitermelési technológiáinak fejlesztése terén elért előrelépések mellett a Jujuy fejlett anyagok és energiatárolás kutatási és fejlesztési központja (CIDMEJU) arra törekszik, hogy javítsa a jelenleg alkalmazott evaporitos technikák hatékonyságát és környezeti fenntarthatóságát, valamint innovatív, nem evaporitikus folyamatokat tervezzen.

Argentínában 2020 óta hat kínai cég 2,618 millió dollárt fektetett be a lítium kitermelésébe. A Toyota 400 millió dollárt fektetett be ugyanitt.

Az elmúlt években az argentin lítiumágazatban tapasztalt fellendülés miatt az ágazat mind az állami, mind a magánberuházások egyik fő célpontjává vált. Magasak a lítium üzletbe való belépéshez szükséges belépési korlátok, ami elérheti az 5 millió USD-t. Az aktív lítium-kitermelési projektek mögött többnyire magánvállalatok állnak, amelyeket a világ legnagyobb befektetési alapjai finanszíroznak és néhány állami tulajdonú vállalat, például a JEMSE. Argentínában a természeti erőforrások tulajdona és kezelési joga a tartományoké. Chilében viszont a központi államé.

A lítium stratégiai jelentőségének tudatában Jujuy tartomány kormánya létrehozta a Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE) tartományi társaságot, amely alapvető szerepet játszott az állami és magánberuházások előmozdításában ebben az ágazatban.

Annak ellenére, hogy tartományi tulajdonban lévő vállalat, egyik fő célja, hogy stratégiai szövetségeket alakítson ki különböző magánvállalatokkal a lítium feltárási és kitermelési projektek fejlesztése érdekében. Ezt a vállalat lítium-kitermelési potenciállal rendelkező bányászati ingatlanjainak népszerűsítésével éri el, amely magánkezdemenyezéssel érhető el. Jelenleg a JEMSE 10 500 hektáron bányászati koncesszióval rendelkezik a sósíkságokon, hogy megvalósítsa ezeket a stratégiai partnerségeket.

Megalakulása óta a JEMSE különböző vállalatokkal működött együtt lítium-kitermelési és -termelési projektek kidolgozásában. Van egy projektjük az olarozi sósíkságon, amelyet a Sales de Jujuy S.A. üzemeltet. Ezenkívül van egy másik projekt a Salar de Cauchari-i üzem építésének utolsó szakaszában, az EXAR S.A. vezetésével. Hasonlóképpen folyamatban van egy projekt a fejlett gazdasági elemzés szakaszában Salar de Cauchari-ban a South American Salars S.A. vezetésével. Végül öt projekt van feltárási szakaszban különböző sósíkságokon, mint például a Jama sósíkság, a Salinas Grandes és a Laguna de Guayatayoc.

Ezek a stratégiai szövetségek lehetővé tették a speciális ismeretekhez és technológiákhoz való hozzáférést, valamint a pénzügyi befektetéseket, amelyek az iparág fejlődését és növekedését ösztönözték.

Másrészt a magánszektor is erős érdeklődést mutatott az argentin lítiumiparba történő befektetések iránt. A nemzeti és nemzetközi vállalatok jelentős beruházásokat hajtottak végre lítium-kutatási, -kitermelési és -feldolgozási projektekbe, mint például az ausztrál Allkem vállalat, amely már 1,500 milliárd dollárt fektetett be az ágazatba.

Az Allkem a Sales de Jujuy fő részvényese (66,5% -os tulajdon), és olyan kiemelkedő befektetőkkel rendelkezik, mint az Egyesült Államok JP Morgan bankjai és pénzügyi intézményei, valamint az Egyesült Királyság HSBC-je, akik fő részvényesei. Ez a vállalat felel az Argentínában folyó két lítiumprojekt egyikéért. Ez a projekt Salar de Olarozban található, és jelenleg évente körülbelül 15 000 tonna lítium-karbonátot termel.

Egy másik nagyvállalat, amely jelentős beruházásokat hajtott végre a lítiumiparban, az amerikai székhelyű Livent, amely a Phoenix projektet működteti Catamarcában. A mai napig már több száz millió dollárt folyósított a tartománynak, és megerősítették, hogy 2030 végéig 100,2025 milliárd dolláros jövőbeli beruházást hajt végre lítium-karbonát termelésének bővítésére. Ezeket a több milliárd dolláros befektetéseket főként két fő részvényese, a Vanguard és a Blackrock fizeti, mindkettő az Egyesült Államokban található.

Ausztrália

Nyugat-Ausztráliában, a Greenbush bányák pegmatitjában a Talison Lithium Ltd. 2010-2011 körül évente több mint 300 000 tonna spodumén koncentrátumot termelt. Ez 8 000 tonna lítiumot tartalmazott, ami a világ lítiumtermelésének több mint 9% -a volt. Ugyanebben a régióban 2010-ben a Galaxy Resources megkezdte a pegmatit lelőhely felszíni művelésű bányászatát a Mount Cattlin bányában, Ravensthorpe közelében, ahol évente 130-140 ezer t spodumén koncentrátum termelése folyik. A 6%-os koncentrációjú Li_2O mellett tantál-oxid található, ami szintén iparilag hasznosítható. 2012-ben 54 ezer t spodumén koncentrátumot állítottak elő. A bizonyított és valószínű tartalékok 10,7 Mt érc, amely 1,04% Li_2O -t és 146 ppm Ta_2O_5 -öt tartalmaz. A kitermelt érceket főként Kínába szállítják és lítium-karbonáttá dolgozzák fel.

Amerikai Egyesült Államok

A kaliforniai Salton-tenger geotermikus vizei ugyanolyan gazdagok lítiumban, mint a bolíviai és chilei sós tavak. Kitermelésüket tervezték, de a projektért felelős vállalat 2015-ben bezárta kapuit. A Lawrence Berkeley Nemzeti Laboratórium tanulmánya, amelyet az Energiaügyi Minisztérium 2023-ban tett közzé, tisztázza a Salton-tó tartalékainak értékelését. Évente 3400 t lítiumot termelnének. Ez 375 millió elektromos autó meghajtására lehetne elegendő. Ez lehetővé tenné az Egyesült Államok számára, hogy évtizedekig önellátó legyen lítiumból.

Európa

Az európai lítiumbányászati projektek megsokszorozódtak az elmúlt években. Syväsjarvi Finnországban, Cinovec a Cseh Köztársaságban, Zinnwald, Brichsal és Karlsruhe Németországban, Wolfsberg Ausztriában, Soultz-sous-Forêts Elzászban, Échassières Allier-ben vagy Barroso Portugáliában. De ezeknek a készleteknek a többsége kicsi. A Leuven-i Egyetem jelentése szerint 2030-ra körülbelül 130 000 tonna éves termelést eredményezhetnek. A finomítói,

feldolgozó kapacitások elérhetik az évi 155 000 tonnát. De ezek a becslések nagyon optimistáknak bizonyulhatnak, ha a környezetvédelmi aggályok miatt az európai projektek egy részét leállítják. Mint ahogy az történt a Rio Tinto bányászati projektjével a Jadar-völgyben, amelyet Belgrád leállított.

Az Eramet szerint a jelenleg folyamatban lévő projektek lehetővé tennék, hogy 2030-ra az európai szükségletek 15-30%-át kielégítsék. Az újrahasznosítás lehetősége kiemelkedő jelentőségű lesz. A Leuveni Egyetem becslése szerint 2030-ban évi 150 ezer tonna, 2050-ben pedig 600 ezer tonna lesz a kereslet. De nagyon optimista előrejelzések szerint ez akár évente 700 000 és 860 000 tonna között is lehetséges. Ha az Európai Unió csökkenteni akarja a külső lítium forrásoktól való függését a lítium akkumulátorok újrahasznosítási arányát 75-80%-ra kell emelnie.

Portugália

Európában jelenleg csak egy lítiumbánya működik, ami Portugáliában évente 1.200 tonnát termel ki. A bánya teljes termelését jelenleg még a kerámiaiparban használják fel. A legelőrehaladottabb projekt a Mina do Barroso projekt Észak-Portugáliában, ahol a brit Savannah Resources vállalat reméli, hogy hamarosan megnyitja első bányáját Európa legnagyobb spodumene lelőhelyén. A helyi lakosság ellenzi a projektet attól tartva, hogy az ásványi kitermelés károsítja a környező területeket. Egyes becslések szerint a bánya 2025-re ki tudná elégíteni Európa elektromos autóipara, mint a fő fogyasztó szükségleteinek 80%-át. A bánya bővítése azonban a lakossági ellenállás miatt a környezetvédelmi hatóságok fenntartásaiba is beleütközik.

Az Egyesült Államok Geológiai Szolgálat (USGS) 2021-ben az európai tartalékokat, az ismert méretű és gazdaságilag kitermelhető lelőhelyek készleteit 60 000 tonnára, vagyis a világ tartalékainak 0,7% -ára értékelte. A potenciális erőforrás-készleteket, a felfedezett vagy valószínű lelőhelyeket pedig a világ összes tartalékának 7% -ára becsüli. Ez a legjobb esetben is alig fedezné az elektromos autók iránti kereslettel összefüggő igény felét 2030-ra a Natixis elemzése szerint.

Franciaország

Franciaországban a Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) kutatói szerint a Francia Közép-hegységben vagy az elzászi geotermikus sóoldatokban található lítiumlelőhelyeknek köszönhetően az ország önellátó lehet a lítiumból. Véleményük szerint a potenciális készletek nagysága meghaladja a 200 000 tonna fém lítiumot.

Franciaországban a Prat-ar-Hastel-ben 1986-ban azonosítottak egy lelőhelyet, ami jelentős mennyiségű készletekkel, de alacsony koncentrációjú Sn, Ta-Nb, Li, Be ércekkel rendelkezik. Néhány lelőhelyen már alkalmanként kitermeltek lepidolitot, petalitot és ambligonitot (Échassières-ben, Montrebas-ban vagy a Monts d'Ambazac-ban). 2015-ben csak az Imerys-csoport által üzemeltetett échassières-i bányában kitermelt kaolin melléktermékeként találtak Li_2O -t. Ennek potenciális készletét BRGM 280 000 t Li_2O -ra becsülte. A Li_2O koncentrációja 0,7%. A lelőhelyen még 20 000 t Sn, 5 000 t WO_3 és 5 t Ta-Nb található. Az ércet meglehetősen nehéz feldolgozni a magas vas és a fluor koncentrációja miatt.

2019-ben a BRGM összefoglaló jelentést tett közzé Franciaország lítiumkészleteiről. A jelentés szerint a kemény kőzetből származó lítium-karbonát vagy -hidroxid előállítása jelenleg nem megoldható az ismert készletek elégtelensége miatt. A kemény kőzetből történő lítiumtermelés

ezért csak ipari méretű lítiumkivonási eljárások kifejlesztésével érhető el olyan ásványokból, mint a lepidolit, a zinnwaldit és az ambligonit-montebrazit. Becslések szerint a gazdaságosan kitermelhető Li_2O készletek nagysága 23 564 t a Beauvoir lelőhelyen. A potenciális készletek nagysága 65 895 t Tréguennec-ben. Összességében további 443 200 t készletet feltételeznek. Jelentésében a BRGM hozzáteszi, hogy 41 potenciális helyszínt azonosítottak Franciaországban, főként Elzászban, az Armorikai-hegységben és a Francia Közép-hegységben. Az elzászi síkság lítiumot tartalmaz nagyon mély víztartó rétegekben a 4 millió évvel ezelőtt lerakódott homokkövekben. A hasznos mennyiséget a BRGM 2000-ben körülbelül egymillió tonna fém lítiumra becsülte. 2023-ban az AFPG becslése szerint Elzászban a lítium lehetséges kitermelése évi 10 ezer tonna. 10 geotermikus kútból folyik a kitermelés. 2019 novemberében az ES Géothermie és a Fonroche Géothermie vállalatok, amelyek az elzászi általajt geotermikus energiával hő- és villamosenergia-termelésre használják fel, bejelentették, hogy az elzászi általajból feltörő meleg víz literenként 180–200 mg lítiumot tartalmaz. Ez alapján a becsléseik szerint a telephelyenkénti kitermelés lehetősége évi 1 500 tonna lítium-karbonátnak (LCE) felel meg.

Összességében a Rajna-árok ECL-tartalékait 10 és 40 millió tonna közé becsülik. A francia ipar, különösen az autóipar szükségletei évente 15 000 tonna ECL-t tesznek ki. Elzászban például az Eramet érdeklődik a Rajna-árok geotermikus üdülőhelyeiről származó sóoldat iránt, csakúgy, mint a német oldalon a Vulcan Energy Resources. Az Eramet által vezetett kísérleti projekt már lehetővé tette az ES Géothermale egyik geotermikus helyszínéről származó akkumulátor-minőségű lítium-karbonát finomítását; a Geolith start-up vállalkozásnak Haguenauban is vannak projektjei; A Lithium de France, az Arverne-csoport leányvállalata, azzal a céllal telepedett le Bischwillerben, hogy egyszerre termeljen hőt és lítiumot, és most kapott kizárólagos engedélyt az észak-elzászi geotermikus lelőhelyek felkutatására. A strasbourgi Viridian start-up bejelentette, hogy Lauterbourgban (Bas-Rhin) megépíti Franciaország első lítiumfinomítóját, amelynek kapacitása 2025-ben 25 000 tonna lítium-hidroxid, és amely 2030-ig akár évi 100 000 tonnás bővítési kapacitással is rendelkezhet.

Ausztriában Wolfsberg közelében 2023-ban kezdték meg a lítiumtermelést.

Szerbia

A Rio Tinto 2021. december végén jelentette be, hogy felfüggeszti lítiumbánya-projektjét a délnyugat-szerbiai Jadar régióban, miután a kukoricaföldek szennyezésétől tartó környezetvédelmi aktivisták négy hétig hatalmas tiltakozásokat tartottak. A projekt szerint a kereskedelmi forgalomba hozatal 2026-ban kezdődik, 2029-től pedig évi 58 000 tonna gyártása várható, ami egymillió elektromos autó felszerelésére elegendő. 2022. január 20-án a szerb kormány bejelentette, hogy visszavonta a működési engedélyeket, véget vetve a projektnek.

Spanyolország

Spanyolországban a Portugáliához közeli Extremadura jelentős lítium-lerakódásokkal rendelkezik. A spanyol vállalkozók és mérnökök egy csoportja által alapított Lithium Iberia vállalat egy bányaprojektet fejleszt Las Navasban, Cañaveral településen, amely 2024-től várhatóan évi 20-30 000 tonna lítium-hidroxidot állít elő, amely időszak tíz évvel meghosszabbítható. Az ausztrál Infinity Lithium vállalat kutatásokat végzett egy külszíni bánya kiaknázására San José közelében, Cáceresben. De ez a projekt is heves ellenállásba ütközik a lakosság és az önkormányzati tisztviselők részéről. 2023. októberében bemutatták az új terveket, amely külszíni bányászat helyett mélyművelésű bányászatra váltanának. A vállalat új garanciákat kínál a helyszín helyreállítására.

Felhasznált irodalom

- Integral Consulting Inc. (2023): Resource and Reserve Report, Pre-Feasibility Study, Salar del Hombre Muerto, Lient USA, Suite Phil., <https://livent.com/wp-content/uploads/2023/06/2023-Livent-Resource-and-Reserve-Report-Salar-del-Hombre-Muerto.pdf>, Letöltve: 2024.02.10.
- Szentesi Margit - Nagy Zoltán - Géher Pál - Papp István - Kampen W. Uwe (2020) Yttrium-90 radiosynoviorthesis hosszú távú (10 éves) eredményei inflammált térdarthrosisban ORVOSI HETILAP 161. évfolyam, 43. szám pp 1831–1839
- US Geological Survey (2023): US Geological Survey 2023, <https://www.usgs.gov/>
- [World Mining Data - Data Section \(world-mining-data.info\)](https://world-mining-data.info/)
- [Yttrium \(usgs.gov\) \(2022\): Mineral Commodity Summaries 2022 – Yttrium, https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-yttrium.pdf](https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-yttrium.pdf)

Az űrkorszak fémfelhasználása

A következő évtizedek, talán évszázadok társadalmi-gazdasági fejlődésének keretét várhatóan az űrtechnika fogja meghatározni, ezért ennek elemzése a fémek felhasználása szempontjából a kötet tematikájában is alapvető jelentőségű. Az űrkorszak természetesen több szempontból is formációelméleti ugrás, nemcsak a fémek használata tekintetében. Az űrkorszakban valósul meg a globális ellenőrzés, a Föld erőforrásaival való globális gazdálkodás. Az űrkorszak teszi lehetővé a nyilvántartás és ellenőrzés globális méretűvé történő tágítására a szabadság megvonása nélkül, azaz ez a technológia teszi lehetővé biztonság és szabadság közötti összhang megvalósítását globális keretek között. Az űrkorszak egy-egy új horizontot is nyit a Naprendszer, és később a tágabb világűr hasznosítása tekintetében.

Az űrkorszakon belül az űrbányászat önálló ágazat, aminek két szempontból van formációelméleti jelentősége: egyrészt az űrbányászat az űr és az égitestek hasznosítása felé tett lépés, másrészt az űrbányászat az égitestek „otthonossá tételéhez” járul hozzá. A hasznosítás azért fontos, mert eddig a világűr kutatását elsősorban a tudományos kíváncsiság és a hadászati szükségletek hajtották. Az űrkutatásra szánt összegeket elsősorban ez utóbbi nézőpont alapján határozták meg, de az ebből fakadó közvetlen társadalmi-gazdasági fejlődés kevéssé volt érzékelhető. Természetesen voltak „melléktermékei” az űrtechnológiai fejlesztéseknek, de ezek inkább csak érdekességeként szolgáltak. A műholdas rendszerek, általában a műholdak már egy új korszakot indítottak el, hiszen ezek a berendezések alapvető szerepet játszottak az infokommunikációs szektor fejlesztésében beleértve a nyilvántartás és ellenőrzés globális szintű kiépülését.

Az űrbányászat viszont már közvetlen előrelépés az űripar és a világűr kutatásának mindenki számára érzékelhető hasznosulásában. Maga az űrbányászat még elég távoli perspektíva, eddig csak 384 kilogramm követ hoztak a különböző űrszondák a Földre természetesen kutatási céllal. Mindazonáltal ez egy olyan ágazati fejlődési irány lehet, amire hosszú távon támaszkodva lehet gazdaságilag és pénzügyileg is fenntarthatóvá tenni az űripar fejlesztését.

Ennek bizonyítéka a 2019-ben második alkalommal megrendezett *Mining Space Summit*, ami egy egynapos workshop volt a Luxemburgi Űrügynökség (LSA) szervezésében. Az Űrügynökség a *Space Resources Week* (www.spaceresourcesweek.lu) keretében szervezte meg a beszélgetés-sorozatot, aminek célja az űrben található erőforrások kiaknázásáról való beszélgetés volt. A 2019. évi *Mining Space Summit* arra a két fő kihívásra összpontosított, amelyek

kulcsfontosságúak lesznek az űrerőforrás-hasznosítási ágazat sikeréhez: (1) a szükséges üzleti modellek életképessége és (2) a kritikus technológiák és műveletek fejlesztése.

Az teljesen nyilvánvaló, hogy e kihívások kezeléséhez elengedhetetlen az űrkutatási erőforrásokkal foglalkozó közösség és a földi iparágak, köztük a bányászat, valamint az olaj- és gázipar közötti együttműködés. A témával foglalkozó minden kutató egyetért abban, hogy a földi és űrkutatási iparágak, a pénzügyi szervezetek és a kormányzatok közötti partneri együttműködés szükséges az űrbányászat kiaknázásában.

Az űrbányászat szempontjából az első kérdés a piaci dinamika elemzése. Az űrforrások keresletének és kínálatának dinamikájának megértése szempontjából az első lépés egy stabil vásárlói bázis kialakítása, az űrben készült termékek iránti igény megteremtése. Mint minden esetben, itt meghatározó szerepe van a kormányzati keresletnek, ami egyfajta horgony szerepet láthat el, hiszen ők garantálják a vásárlást, egy adott időpontban fix áron vásárolnak erőforrásokat. A piaci stabilitáshoz elengedhetetlen a stabil jogi és szabályozási keret kialakítása, a befektetők kockázatának csökkentése. Szintén a piac stabilitását szolgálja a beruházások kritikus tömegének kialakítása - az ágazat fenntartása érdekében. A szakértői konszenzus szerint ma a piac a korai internethez hasonló fejlődési szakaszban van. Jelenleg a kormányok és az űrügynökségek a fő vásárlók. Egyelőre hiányzik az értéklánc különböző elemei közötti koordináció és az ügyfelek és a befektetők közötti kommunikáció. Nagyon fontos a földi és az űrkutatási iparágak közötti együttműködés szükségessége. A piaci stabilitás megteremtése érdekében előnyös lehet a Földön kívüli előőrsök és kolóniák marketing szerepének kiaknázása, az űrlaboratóriumok erősítése, amelyek űrerőforrásokat használhatnak arra, hogy nagy értékű termékeket és speciális kutatásokat állítsanak elő a földi ügyfelek számára. Az űrbányászatban egyaránt szükség van a startup-okra és a földi bányászatban már komoly sikereket elért nagyvállalatokra. A két típusú cég közötti összhang a piaci stabilitás megteremtésének feltétele.

A keresleti tényező mellett az űrbányászat kialakításának másik fontos tényezője a befektetési és pénzügyi tervezés. Ebben a kiindulópont, hogy a kormányoknak be kell építeniük a világűr erőforrásainak hasznosítását az űrkutatási és tudományos architektúrájukba. Kiemelt szerepe van a kormányzati K+F-finanszírozás és a saját tőke összekapcsolásának, ami segítheti csökkenteni a technikai kockázatokat, erősítheti az általános befektetési átvilágítási folyamatot, és sokféle potenciális befektetőt vonzhat. A befektetői bizalomtechnológiai stabilitás elérésében alapvető szerepe van a Holdon található vízbázis meghatározásának. Nem elhanyagolható szempont a keresleti oldal bizonytalansága sem ezen a területen. Ez jelenleg bizonytalanságot eredményez az ügyfelek igényeit, a jövedelmező üzleti modelleket és a piac méretét illetően. E bizonytalanságok miatt az űrforrások egyelőre nem vonzóak a befektetések szempontjából. Fontos tényező, hogy nincs jogi keret a Holdon, az aszteroidákon és más bolygókon található űrforrások kereskedelmi célú felhasználásának legitímálására.

A jogi szabályozás tekintetében a kiinduló jogelv az, hogy „a világűr, beleértve a Holdat és más égitesteket, sem a szuverenitás igényével, sem használat vagy foglalás útján, sem bármilyen más módon egyetlen nemzet sem sajátíthatja ki”. A világűrben a területszerzés tiltott, viszont kevésbé egyértelmű, hogy az égitestek erőforrásaira is kiterjed a tilalom. Az 1979. évi Hold-megállapodás volt az első, amely a Hold erőforrásainak kiaknázását kívánta rendezni az „emberiség közös öröksége” státusszal. E rezsim szerint a Hold természeti erőforrásainak kutatása és használata során a kollektivitásra helyezték volna a hangsúlyt, az abból származó hasznokat a méltányosság szem előtt tartásával az államok megosztották volna egymás között. Ezzel szemben a Világűrszerződés által létrehozott *res communis* státusz a világűr kutatása és használata terén a részes államokra bízta az együttműködést és a hasznok megosztása esetében az

„aki kapja marja elv” érvényesül. A jogi szabályozás tekintetében az elmúlt évek egyik legfontosabb eredménye az Artemis-megállapodás, ami – szemben a Világűrszerződéssel és a Hold-megállapodással – egy bilaterális egyezmény, amelyben az egyik fél mindig az Amerikai Egyesült Államok. A dokumentum kifejezésre juttatja, hogy az űrerőforrások kisajátítása a Világűrszerződésben foglalt kisajátítás tilalmába nem ütközik. Ilyen jellegű megállapodást 2022. augusztus 17-ig bezárólag 21 állammal kötöttek

Visszatérve a befektetésekhez, egyre erősebben vetődik fel egy szabályozott űrerőforrás-árutőzsde létrehozása, amely az űrerőforrások ármeghatározását segítené, céduláit generálná. Az űrforrások árainak és mennyiségének becslése segíteni fogja a mai piac értékének növelését. A jelenlegi kereslet hiánya azt jelenti, hogy az űrkutatási erőforrással foglalkozó vállalatoknak meg kell próbálniuk a "kettős felhasználású" projektekre összpontosítani, amelyek a Földön és az űrben is működnek. Az űrben még nincs termelés, ezért minden vállalatnak kettős alkalmazásban kell gondolkodnia. Jelenleg ez az egyetlen módja annak, hogy az űrerőforrással foglalkozó vállalatok rövid távú bevételeket termeljenek.

Nagyon fontos a kormány és a szabályozó hatóságok szerepe. A kormányoknak közvetítőként kellene fellépniük, és be kellene vonniuk az iparágat a piaci fenntarthatósághoz szükséges megfelelő szabályozás meghatározásába – lehetővé téve az iparág számára, hogy szabványokat és bevált gyakorlatokat dolgozzon ki. Sokan érvelnek amellett, hogy létre kell hozni egy „űrerőforrás-ipari szövetséget” vagy „iparágak közötti szövetséget” annak érdekében, hogy megvitasák a politikát és a szabályozást a kormányokkal, illetve kidolgozzanak egy adókedvezmény-rendszert az űrforrásokba befektetők számára, amely ösztönzi a befektetőket. Az állami beavatkozás tekintetében továbbra is égető probléma marad a környezetvédelmi kérdések és a Föld szükségleteinek viszonya a tisztán gazdasági érdekekhez. Erre nézve már elkezdődött a modellalkotás, de természetesen még gyerekcipőben mozog, hiszen nehéz előrelátni a technológiai fejlődési trendeket. Szintén problémaforrás az államilag egységes politikák hiánya, valamint a földi tevékenységek és az ásványi anyagokkal kapcsolatos politikák egyenlőtlensége. Szakértői körökben felmerült egy vitarendezési szerv létrehozása is.

Ami a konkrét fémeloszlást illeti, a vas és a titán esetében a Holdon már most is elegendő a kutatás. Ezzel szemben hiányoznak a kutatások a vízzel kapcsolatban. Szintén alacsony a szintje a kutatás térbeli felbontásának, és csak felszíni formában történik, mélységben nem. Emellett a jelenlegi kutatás nem foglalkozik a kitermelhetőséggel, noha a kitermelés hatékonysága kritikus fontosságú. A szükséges kitermelési technológiák jelenlegi technológiai készültségi szint szempontjából a 3-4-es tartományban vannak a 9-ből, ezért további elemzésre van szükség. A jelenlegi kutatási missziókat közpénzekből finanszírozzák, az űrügynökségek munkája jelenleg a geológiai felmérések verseny előtti munkájához hasonlítható. Összességében a bányászati tevékenység elemzése során kiemelt fontosságú, hogy érvényes és hosszú távú gazdasági modellre van szükség.

Minden elemző egyetért abban, hogy a tulajdonjognak egyértelműnek kell lennie, hiszen ez elengedhetetlen a piaci stabilitáshoz. Szintén alapvető, hogy a kockázatsökkentés megtörténjen a kitermelési technológiában, a feltárási célpontok feltárásában és így tovább. Ez alapozza meg a bányászati műveletek életképességét, biztosítja a következő szakasz finanszírozását és piacot teremti.

Az űrbányászat üzemeltetése szempontjából az automatizálás és az autonóm rendszerek kritikus fontosságúnak tekinthetők a bányászati műveletek szélsőséges körülmények között történő üzemeltetéséhez. Mind a földi, mind a nem földi iparágak támogathatják egymást azáltal, hogy

a Földön alaptechnológiákat fejlesztenek ki, és ezeket később validált technológiaként újra-hasznosítják az űrben. Ez a következő területekre vonatkozik: robosztus érzékelők gépi tanulási és mesterséges intelligencia technikákkal kombinálva, víz nélküli műveletek, üzemanyagcellák, robotok és általában véve autonóm rendszerek. A földi és az űrpar közötti együttműködés alapvető fontosságú lesz, és a földi ipar vezetői is elismerik, hogy az erőforrások kezelésében és feldolgozásában szerzett általános szakértelem közös tudás a két ágazatban. A két iparág együttműködésének célja a hatékonyabb és környezetbarátabb eljárások kifejlesztése, a vízmentes bánya vagy a szén-dioxid-semleges acélgártás koncepciójának megfelelően.

*Az űrben kiaknázható fémek (félvezetők és színesfémek)
mennyisége egy tipikus vasmeteorit tekintetében*

Element	Price (US\$/kg)	Concentration (ppm)	Mine Capacity (tonnes/yr)	Tonnes sold per year	Sales (\$M/yr)
Semiconductors ⁵					
Phosphorous (P)	0.08	1300	10,100	722	2,167
Gallium (Ga)	300.00	60	468	468	1,544
Germanium (Ge)	745.00	210	1,640	1,640	6,145
Arsenic (As)	0.94	3.7	28	28	85
Selenium (Se)	10.47	36	281	281	846
Indium (In)	160.00	0.46	4	4	11
Antimony (Sb)	3.92	0.047	0.4	0	0
Tellurium (Te)	57.32	0.45	4	0	0
Total for Semiconductors:				3,143	10,798
Precious Metals					
Ruthenium (Ru)	365.00	13.0	101	101	8
Rhodium (Rh)	23,052.00	4.8	38	38	287
Palladium (Pd)	4,565.00	1.3	10	10	43
Silver (Ag)	160.00	0.46	4	4	1
Rhenium (Re)	1,557.00	3.7	28	28	32
Osmium (Os)	12,860.00	9.0	70	70	307
Iridium (Ir)	965.00	33.0	257	257	20
Platinum (Pt)	12,394.00	35.0	273	273	1,705
Gold (Au)	12,346.00	0.5	4	4	49
Total for Precious Metals:				583	2,452
Grand Total:				3,726	13,250

Forrás: Jeffry Kargel, 1996

A fenti táblázatban feltüntetett árak 1994-es árszintet tükröznek. A példaként vett, tipikus, óriásmeteorit (aszteroida) 1 km átmérőjű (iridium telítettség szempontjából a 90. helyen álló). Az ércikitermelés feltételezett intenzitása: 10^6 m³/év. Ilyen ütemben egy ilyen űrbánya kimerülése 500 év után következne be.

Források

- Punczman Ádám Tamás: Az égitestek bányászata, 2022, http://real.mtak.hu/175701/1/HT_2022-5_cikk_07.pdf
- Eestók Sándor: Az űrlogisztika már nem vízió, hanem valóság: űrlogisztika a naprendszer bolygóin és a csillag térben 2020 <https://oda.uni-obuda.hu/bitstream/handle/20.500.14044/24387/document.59.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Végvári Zsolt: Kilopower - villamos erőmű a Marson http://real.mtak.hu/98539/1/HT_2019-2_cikk-08.pdf
- NASA OSIRIS-Rex: In Depth 2023, <https://science.nasa.gov/mission/osiris-rex/in-depth/>
- Deneis Gugunsky - Irina Chernykh - Albert Khairutdinov: Legal Models for Activities on the Exploration and Utilization of Space Resources: Towards the "Space-2030" Agenda 2020 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-39319-9_73
- Ricky J. Lee: Law and Regulation of Commercial Mining of Minerals in Outer Space: 2012 https://books.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=l1Zu4K7_VC0C&oi=fnd&pg=PR7&ots=F_GxWNvy65&sig=i5ehDkTqVz46wbNxi5i86fHDUU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Michal J. Gaffey - Thomas B. McCord: Mining Outer Space, 1977, https://www.researchgate.net/profile/Michael-Gaffey/publication/236529909_Mining_outer_space/links/5e189861a6fdcc283766813f/Mining-outer-space.pdf
- Ram S. Jakhu, Joseph N. Pelton, Yaw Otu Mankata Nyampong: Space Mining and Its Regulation 2017 <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-39246-2>
- Maxwell Fleming, Ian Lange, Sayeh Shojaeina, Martin Stuermer: Mining in space could spur sustainable growth 2023, <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.2221345120>
- Jack Gregg: Space Mining, 2021, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-62569-6_17
- Jeffry Kargel (1996) Market Value of Asteroidal Precious Metals in an Age of Diminishing Terrestrial Resources. In: Engineering Construction and Operations in Space V. Proc. of the Earth Int'l Conf. on Space Manufacturing, Space Studies Institute
- Maxwell Fleming, Ian Lange, Sayeh Shojaeina, Martin Stuermer: Mining in space could spur sustainable growth 2019, <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.2221345121>
- Jennifer Leman: Construction Company Caterpillar Wants To Mine the Moon 2019, <https://www.popularmechanics.com/space/moon-mars/a29587959/caterpillar-space-mining/>
- Shade D. Ross: Near-Earth Asteroid Mining 2001, <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8c342ea48e59acd5649a7758add94a6e025d7a7e>
- Vide Hellgren: Asteroid Mining: a review of Methods and Aspects, 2016 <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8882371&fileId=8884121>
- Junior Wiley: Mining the Sky: Untold Riches From The Asteroids, Comets, And Planets 1996 <https://archive.org/details/miningskyuntoldr00lewi>
- Mary Fae McKay et al.: Space Resourcees, 1992, https://books.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=fsZhKYAwYzUC&oi=fnd&pg=PA111&dq=asteroid+mining&ots=dOlXrw17Jd&sig=caRz4DREkc3H11zUICmh0TqG5sQ&redir_esc=y#v=onepage&q=asteroid%20mining&f=false
- Paplo Calla - Dan Fries - Chris Weelch: Asteroid mining with small spacecraft and its economic feasibility, 2019, <https://arxiv.org/pdf/1808.05099.pdf>
- S Ross Taylor - Carle M. Pieters - Glenn J. MacPherson Earth-Moon System: Planetary Science, and Lessons Learned, 2006, https://www.higp.hawaii.edu/~gjtaylor/GG-673/Moon/New%20Views/Chapter_7_Taylor%20et%20al%202006%20Earth-Moon%20System,%20Planetary%20Science,%20and%20Lessons%20Learned.pdf
- Luxembourg Space Agency. MAJOR TAKEAWAYS of the MINING SPACE SUMMIT 2019 <https://space-agency.public.lu/dam-assets/publications/2020/MINING-SPACE-SUMMIT-2019-Paper.pdf>
- Jackie Wattles: NASA is paying startups for moon rocks. It's not what you think 2020, CNN news <https://edition.cnn.com/2020/12/04/tech/nasa-moon-resource-mining-artemis-scn/index.html>
- VICE News The Moon is for Sale 2020 youtube videók hir <https://www.youtube.com/watch?v=9PTowA-JIIA>
- Steve Sherman: H2M Interview with Prof Clive Neal, Planetary Geologist, 2019 <https://www.youtube.com/watch?v=2uLaG-8ask4>

- Lunar ISRU 2019: Developing a New Space Economy Through Lunar Resources and Their Utilization 2019, <https://www.hou.usra.edu/meetings/lunarisru2019/workshop-report.pdf>
- The Scientific Context for Exploration of the Moon - Interim Report 2006 <https://nap.nationalacademies.org/read/11747/chapter/1>
- Christophe Bosquillon: SpaceWatchGL Opinion: Space Resources Week 2023 – A Review – Part 12023 <https://spacewatch.global/2023/05/spacewatchgl-opinion-space-resources-week-2023-a-review-part-1/>

A FÉMEK GEOPOLITIKÁJA

A fémek geostratégiai helyzete a reneszánsz és első ipari forradalom kezdete óta eltelt 500 éves történelmi ciklusban

Az emberiség történetében a kőkorszakot követően a különböző természetes anyagok, kőzetek, ásványok mellett a fémek mind a mai napig kulcsszerepet játszanak. Az egyes korszakok domináns fémjei nem tűnnek el, csak új formát és funkciókat öltenek (jó példa erre az arany, ami értékmegőrző és ékszer, díszítő funkciói mellett napjaink elektronikájában játszik kulcsszerepet).

Stratégiai jelentőségű, korszakmeghatározó jellegű fémeknek tekinthetők az elsőként „felfedezett” réz, az ónnal való ötvözte a bronz; az arany, a vas és annak szénrel való ötvözte az acél; a bauxit érc, illetve a belőle előállított alumínium, az urán és a lítium. A technikai fejlődés és a gazdasági szempontok meghatározó jelentőségűek ezek bányászata és feldolgozása által érintett területek fejlődésében, társadalmi, gazdasági viszonyainak alakulásában és változásaiban. A természeti adottságoktól és a gazdasági, társadalmi jellemzőktől függően ezek a térségek, települések a világ különböző országaiban találhatók igen változatos eloszlásban.

Matolcsy György több írásában is rávilágít arra, hogy a történelem ismétli önmagát; más-más tartalommal, de azonos mintákat követve, ciklusosan: Az idő mintázatai (Pallas Athéné, 2022), Magyar jövőkép és stratégia (Pallas Athéné, 2023). Ezek szerint korunk egy új reneszánsz, amelyet a mesterséges intelligencia és a zöld energia tárolási igénye „fémjelez”. E két folyamat meghatározó nyersanyaga és erőforrása szintén a fémércekhez, nevezetesen az alkáli- és a ritkaföldfémekhez köthető. Kiválaszthatunk hat olyan fémeket, amelyek ebben a fél évezredben nyersanyagai voltak, vagy – mint például a vas, vagy az alumínium esetében – mindmáig nélkülözhetetlen nyersanyagai a társadalmi, kulturális, gazdaság és technológiai fejlődésnek.

A társadalmi-gazdasági-technológiai fejlődésben kulcsszerepet játszó néhány fém, illetve a hozzájuk kötődő meghatározó termelés globális geográfiai eloszlásából ún. gravitációs súlypontokat is lehet szerkeszteni, melyek tükrözik az adott tevékenység földrajzi eloszlását, és különösen alkalmasak a területi szerkezet változási irányainak jelzésére. A gravitációs súlypontok szerkesztését – mint módszert – a Csizmadia Norbert által, először a Geopillanat című művében (L'Harmattan Kiadó, 2016) bevezetett új földrajzi szemléletmód, az asszociatív földrajz karolja fel; látványos, közérthető és elgondolkodtató következtetések levonására. Az asszociatív földrajz az eddig, a földrajztudományban kizárólagosan uralkodó akadémiai kutatások mellett olyan új, tudományos eszközt ad a geográfusok kezébe, amellyel a nem geográfus közvélemény figyelmét könnyen és látványosan fel lehet hívni arra, hogy a világban zajló folyamatoknak milyen földrajzi, geopolitikai okai vannak. Csizmadia Norbert további, szerencsére angolul is megjelenő művei: Geofusion (LID Publishing, 2019), Geofusion 2.0 (Pallas Athéné 2021), Geofuture (Pallas Athéné 2022), Geovízió 1-2 (Pallas Athéné 2023), a tudományosan megalapozott, ugyanakkor közérthető, érdekes, látványos módszerekkel operáló asszociatív földrajz égisze alatt vizsgálja a társadalmi presztízsét már-már elvesztő geográfiát a megbecsült tudományok közé.

Mióta eltávoztak életünkben a magyar földrajztudomány népszerű óriásai – mint pl. Cholnoky Jenő, Lóczy Lajos, Teleki Pál, Hunfalvy János, Prinz Gyula –, a földrajz egyre veszít népszerűségéből. Ebben szerepet játszottak és játszanak a földrajzzal kapcsolatos félreértések (miszerint az egy leíró jellegű tudomány, és már nincs mit felfedezni), a társadalmi, gazdasági elméletekben a területi dimenziótól történő elvonatkoztatás az absztrakció jobb magyarázhatósága érdekében (ami más oldalról többnyire a valóságtól való elszakadást eredményezte), a globalizálódás és az információáramlás technikai hátterének fejlődése mellett az ezek alapját képező földrajzi ismeretek népszerűsítésének háttérbe szorulása. Az utóbbi fél évszázadban ugyanis, Magyarországon, aki megpróbálta a földrajzot színes, közérthető formában műholdfelvételek és földrajzi információs rendszerek által olyan platformokon is népszerűsíteni, mint pl. az Élet és Tudomány, a Delta, vagy a Képes Újság, azt a száraz, tudományos adatfeldolgozás akadémiai mesterei szinte kiközösítették a geográfus szakmából.

A „gravitációs súlypontok” módszerével készített (egyébként hosszú kitermelési és feldolgozási adatsorok feldolgozásán alapuló, tehát nem csak látványos, hanem tudományos) térképsor hat olyan fémérc geopolitikai helyzetét ábrázolja, amelyek – talán – korszakokat is „fémjelezhetnek” az utóbbi fél évezred társadalmi-gazdasági fejlődésében. A készülő könyv természetesen foglalkozik az emberiség számára meghatározó jelentőségű első fémek időszakaival, melyek már régóta „polgárjogot” nyertek a tudományos világban: a rézkorral, a bronzkorral és a vaskorral is.

Az itt közölt térképek az arany (1), a vas és acél (2), a bauxit és alumínium (3), a sárgaréz ötvözet (4), az urán és atomenergia (5), valamint a ritka- és földfémek közül a lítium (6) geográfiai gravitációs súlypontjainak helyzetét szemléltetik napjainkban (2018-2021 közötti években). A változásokat tükröző adatbázis összeállítása folyamatban van.

Az aranykor

L. Frank Baum Óz, a nagy varázsló című meseregénye az ipari forradalom arany-alapú gazdasági korszakának a közelgő végét jelezte előre 1900-ban, a 20. század hajnalán. Ebből, és az 1939-ben forgatott filmváltozatból kiderül, hogy a gazdasági jóléthez (a wealth-hez), vagy inkább a jólléthez (well-being-hez); vagyis a bádogember által keresett boldogsághoz, a szalmaember által keresett okossághoz és az gyáva oroszán által áhított bátorsághoz valójában nem a Sárgaköves (arany) út (a „Yellow-brick Road”) vezet. Mindezen tulajdonságokkal a stakeholder-ek, a tetteikkel, a vállalkozásaikkal értéket teremtő „gazdasági” szereplők rendelkeznek, amivel a bádogember, a szalmaember és az oroszán a mese végére tulajdonképpen már rendelkeznek is. Maga az aranyalapú gazdaság – „Óz” (vagyis az arany²⁵), a „nagy varázsló” (the Wonderful Wizzard of Oz) egy csaló, már nem is igazán létezik; vagyis a mese üzenete szerint az akkori ipari forradalom „felfalta” az addig kulcsszereplő aranyat, s helyébe más értékeket állított.

Az aranykészletek globális gravitációs súlypontja napjainkban Ausztrália ÉNy-i partjainál jelezhető ki, a déli féltekén, míg a konkrét aranybányászat gravitációs súlypontja ettől ÉNy-ra, Szudán területén adódik – immár az északi féltekén. Az arany történelmi szerepe a Közel-Kéleten, majd gazdasági értelemben Európában teljesedett ki. A bányászat az európai készletek kimerülését követően (a középkorban ennek egyik magterülete Észak-Magyarország – Selmecbánya – volt), az afrikai készletek felé fordult. Az Ausztrál készletek felimerése újabb kutatási eredményeknek köszönhető (ezzel is utalhatunk arra, hogy még mindig van mit felfedezni a világban). Ez az egyik magyarázata a bányászati súlypont ÉNy-i elmozdulásának a geológiai készletektől. Az alábbi térkép aranykor gravitációs súlypontjait ábrázolja 2021-ben.

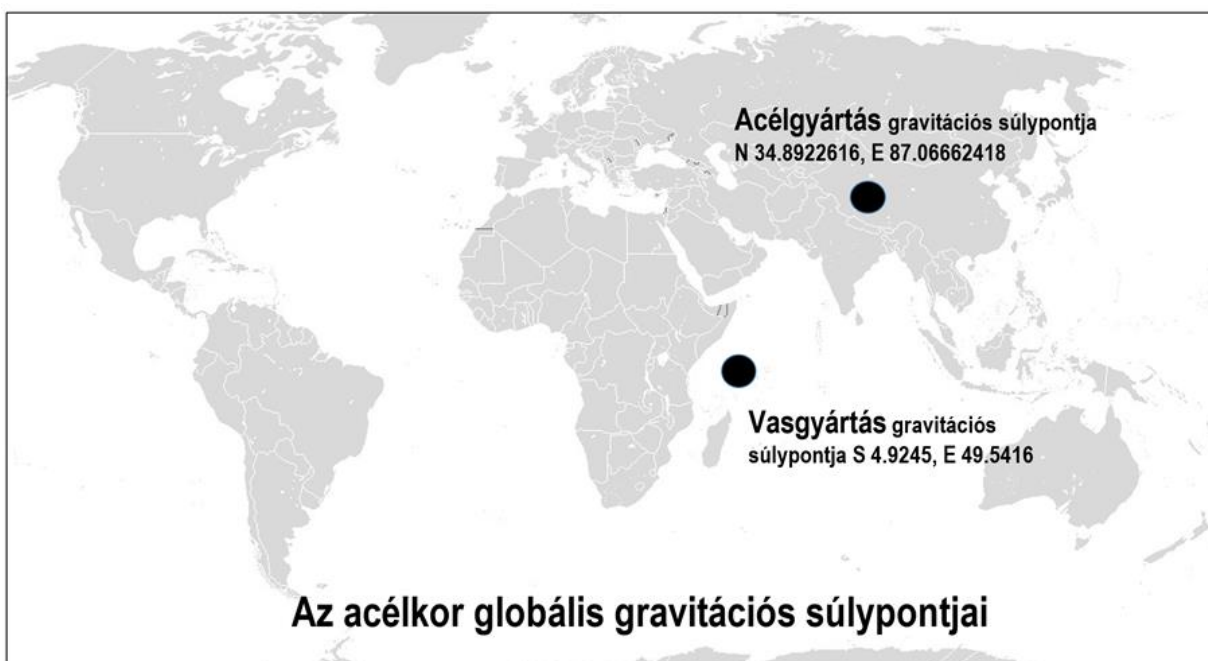
²⁵ Az arany angolszász országokban elterjedt mértékegysége a – latinul tizenketted részt jelentő – „uncia”, melynek angol átírata „ounce”, rövidítése pedig „oz.” 1 oz arany = 31,1034 gramm a tízes számrendszerben.



Az acélkor

Az „új vaskor” az ipari társadalmak felemelkedési korszakának motorja, ami mögött az acélgyártás Bessemer eljárásának felfedezése és elterjedése, valamint a különböző vasötvözetek előállítása áll. A vaskohászat és az acélgyártás térségei geostratégiai jelentőségűek. Ezek mai geográfiai „eredőjét” ábrázolja a térkép.

A vasgyártás globális gravitációs súlypontja Madagaszkár szigetétől É-ra, az Indiai-óceánban található, közel az Egyenlítőhöz, de már a déli féltekén. A vas gazdasági szerepének kiteljesedése – az acélgyártás – globális gravitációs súlypontja Kínában, pontosabban Tibetben, a Tibeti-fennsíkon jelentkezik. Ez az igen erőteljes ÉK-i elmozdulás nyilvánvalóan a kínai acélgyártási kapacitás kiépülésével magyarázható. Az alábbi térkép az „acélkor” gravitációs súlypontjait ábrázolja 2021-ben.



A könnyűfém korszak

Az ipari társadalom kiteljesedésének, a fogyasztói társadalomnak a hajnalát a bauxitból előállított alumínium elterjedése jelentette. Az alumínium forradalmasította a gépgyártást, a közlekedést, a háztartásokat.

A könnyűfémkorszak alapját a bauxitbányászati potenciál jelzi. Ennek globális gravitációs súlypontja Ceylon (Sri Lanka) szigetétől Ny-ra, az Indiai-óceán és az Arab-tenger határsávjában helyezkedik el, még a déli féltekén.

A könnyűfémkorszak kiteljesedését jelentő alumíniumkohászat már erőteljesen ÉK-i irányban mozdul el nem kis mértékben annak magas energiaigénye miatt; Pakisztán É-i részén jelölhető ki az alumínium globális gravitációs súlypontja. Itt nyilván az európai, orosz és kínai alumíniumgyártás szerepe okozza a súlypont eltolódást. (Mindenütt 2021-es kitermelési és gyártási adatok szerepelnek.)



Az elektronika korszaka

Az „új rézkort” a réz és a cink ötvözte, a sárgarézt fémjelezi. Amikor az ókor kezdetén a kőkorszaki ember kezébe elsőként kerülő réz megmunkálását az ón ötvözzel megjelenő, sokkal keményebb bronz váltotta fel, az megnyitotta az utat a fegyvergyártás – és a háborúk – előtt. A Homérosz által megénekelt Trójai háború volt az emberiség első világháborúja – legalábbis európai szemszögből. Ezt a bronzfegyverek tették lehetővé. A réz második színre lépése a cink ötvözzel szintén egy új korszakot nyitott meg: az elektronikáét. Ez tette lehetővé az emberek életét megkönnyítő elektromosság széleskörű elterjedését, új gépek, eszközök megjelenését és a számítástechnika fejlődését.

Az európai ókori klasszikus rézérclelőhelyektől – mint Ciprus, melynek a neve is rezet jelent (*Κύπρος*) – eltekintve a jelenkori rézbányászat globális gravitációs súlypontja az Egyenlítőn, de már a déli féltekén található Ny-Afrika partjainál (Elefántcsontpart) – nyilván a déli félteke hatalmas rézérc készletei miatt.

A rézkohászat gravitációs súlypontja viszont – ehhez képest – igen erőteljesen ÉK-i irányba mozdul el: Pakisztán déli részén található, ugyancsak az európai és a kínai elektromosipar hatására, lévén szó a sárgaréz ötvözet előállításáról.



Az atomkor

A környezetet – vészhelyzet kivételével – egyáltalán nem szennyező és a villamosenergia előállítás – a fosszilis energiahordozók mellett ún. zöldenergiákat is beleértve – messze legköltséghatékonyabb módját az atomerőművek jelentik. A II. világháború után a hadiipari fejlesztések innovációs hozamát jelentő atomerőművek fűtőanyaga egy nehézfém; az urán. Az uránbányászat globális gravitációs súlypontja Egyiptom területére esik; míg feldolgozási területe – az atomerőművekben, nyilván az erőteljes francia potenciál miatt – nagyjából Itália középső részén lokalizálható. Az elmozdulás ÉNy-i irányú.



Az informatika és az energiatárolás kora

Az alkáli- és a ritkaföldfémek napjainkban, az ötszázéves ciklus végén kulcsszereplővé válnak. A fosszilis energiaforrások eddigi korlátlan felhasználása kihívások sora elé néz a készletek kimerülése, a környezetszennyezés, és a klímaváltozás réme okán. Ezekre a választ az informatika által hadrendbe állított *chip*-ek, és a Földön csak egyenetlen elterjedésben elérhető, megújuló energiaforrások új típusú tárolási eszközei jelentik. Ezeknek nyersanyagát a réz- és vasérc, vagy a bauxit, sőt még az urán előfordulásoknál is jóval ritkább – a nevükben is jelzett – ritkaföldfémek jelentik. Az adatvezérelt gazdaság, az „adatvezérelt” politika és az emberiség életén a következő ötszáz éves ciklus megnyitása jegyében eluralkodó mesterséges intelligencia anyagi alapját – egyelőre – a „*chip*”-ek jelentik, melyekhez szintén az alkáli és a ritkaföldfémek jelentik a kulcsot. Itt a lítiumot – mint talán a legfontosabbat – emeljük ki.

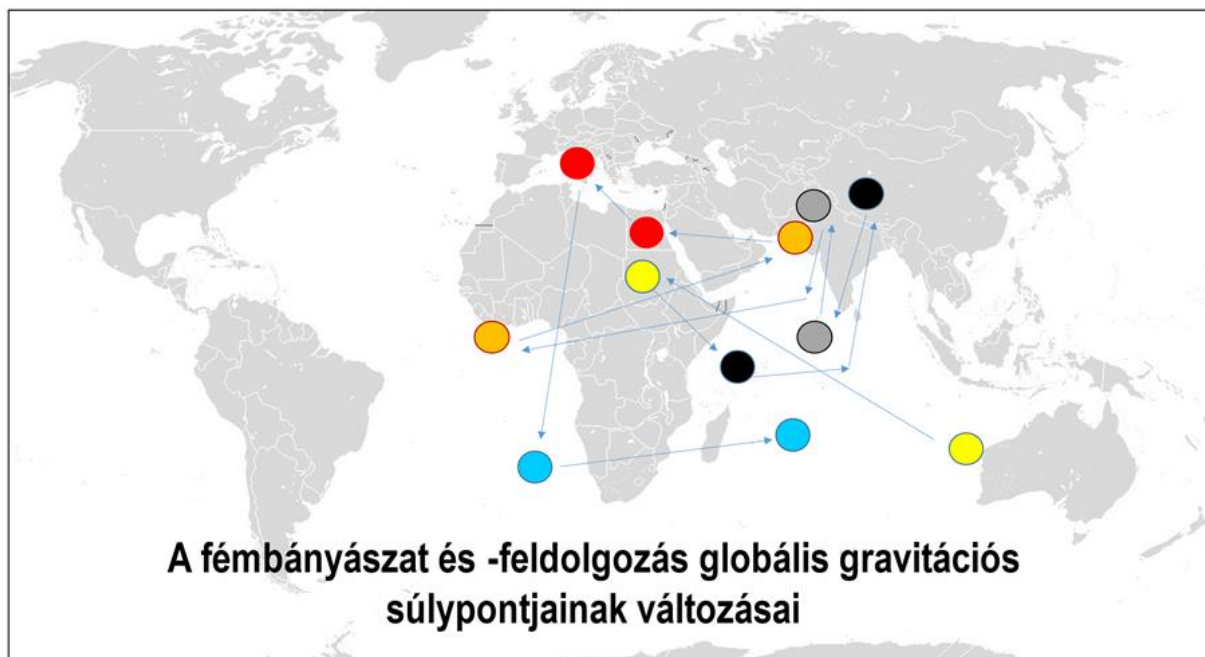
A lítiumérc – máig megismert – geológiai készleteinek globális gravitációs súlypontja az Atlanti-óceánban, Namíbia partjaitól Ny-ra jelölhető ki, a déli féltekén. Az összes eddigi fémme ellentétben a lítium kitermelése szintén a déli-féltekén marad globális gravitációs súlypontját tekintve. Enyhén K-ÉK-i irányban mozdul el: Madagaskártól számítva Ausztrália felé, nagyjából egyharmad úton, az Indiai-óceánban.

A 21. század – mai ismereteink szerint – stratégiai jelentőségű fémjének, a lítiumnak mind készleteit tekintve, mind kitermelését tekintve a déli féltekén jelentkezik a globális gravitációs súlypontja. A készletek inkább Dél-Amerika irányába mutatnak, a kitermelés viszont Ausztrália felé tolódik el.

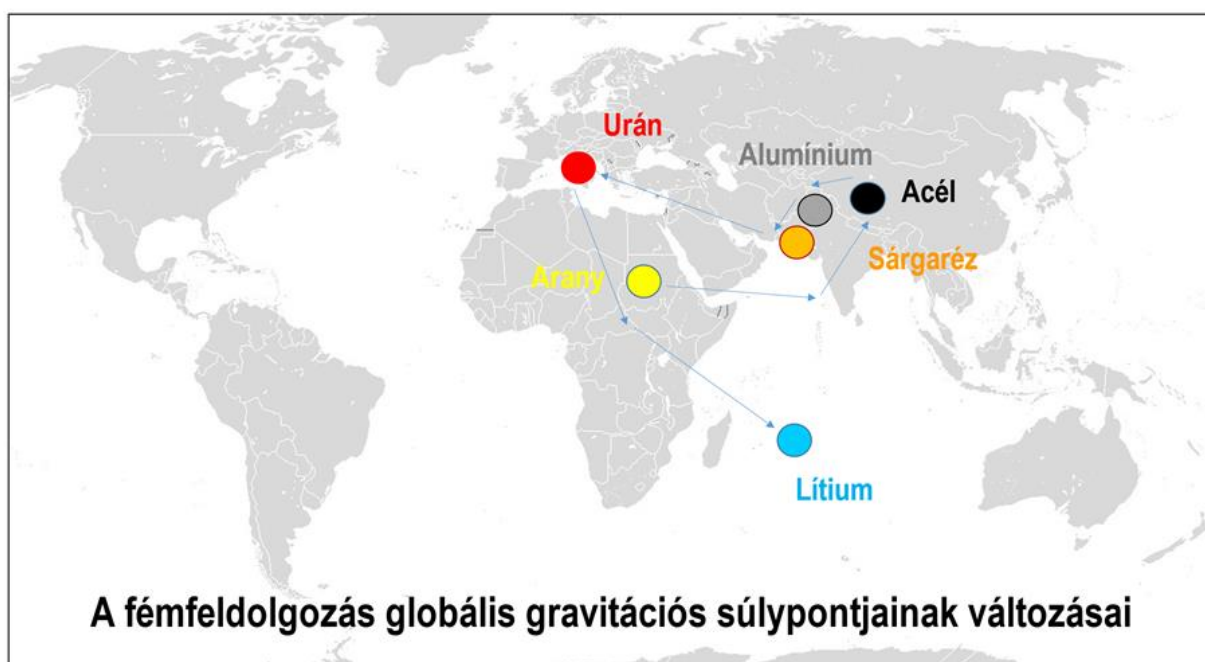


A fémek globális geostratégiai szerepe

Ha a kulcsfontosságú fémek kitermelését és feldolgozását a gravitációs súlypontjukkal akarjuk reprezentálni, és megtartjuk az arany, vas, alumínium, sárgaréz, urán, lítium sorrendet, a gravitációs súlypontok elmozdulásai egy eléggé kusza útvonalat rajzolnak fel az alábbi térképre:



A központban az afrikai és az ázsiai kontinensek találkozási pontja ismerhető fel, ha egész pontosan akarjuk meghatározni: Etiópia. Jobban követhető a gravitációs súlypontok területi szerkezetének egymáshoz való viszonya, ha inkább a kulcsfontosságú fémek feldolgozási helyeit tekintjük. Ekkor Afrikából, az aranytól ÉK-i irányba haladva Ázsiában (Tibetben és Pakisztánban) találjuk az ipari társadalmak meghatározó fémjeinek (a vasnak, az alumíniumnak és a sárgaréznek) a gravitációs súlypontjait, amelyek egymáshoz viszonyítva DNY-i irányba tolódnak el. Az energiahordozó urán európai „kiterője” után a jövő technológiáinak az alapját képező, mint a nevében is jelezve van, igen „ritka” lítium súlypont egyrészt K-i, másrészt D-i irányú elmozdulást követve, mélyen a déli-féltekére, az Indiai-óceánba kerül, nyilván Chile és Ausztrália viszonylag hatalmas lítiumérc készleteinek húzó hatására.



Sokszor hallani Eurázsia és a „Kelet” jövőjéről a jelenlegi gazdasági trendek értékelése során. Ezt az acél, alumínium és sárgaréz súlypontok is alátámasztják. A „Dél” jövőjét is sejteti az a tény, hogy az informatika, a mesterséges intelligencia és a (zöld) energiatárolás ritka, de kulcspozíciójú fémjének jelenleg ismert legnagyobb készletei itt találhatók.

Források:

- <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center>
- USGS (2021-2023): Minerals Yearbook series 2020-2023, <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf> Letöltve: 2023.11.28.
- USGS (2023): U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2023, <https://www.usgs.gov/publications/mineral-commodity-summaries-2023> ; letöltve: 2023.12.8.
- **Módszertani forrás:**
- Nemes Nagy József (szerk.) (2005) Regionális elemzési módszerek, Regionális Tudományi Tanulmányok 11., ELTE Regionális Földrajzi Tanszék, Budapest, pp.72-74.
- **Hivatkozások:**
- Csizmadia Norbert (2016) Geopillanat - L'Harmattan Kiadó
- Csizmadia Norbert (2019) Geofusion - LID Publishing
- Csizmadia Norbert (2021) Geofusion 2.0 - Pallas Athéné Kiadó
- Csizmadia Norbert (2022) Geofuture - Pallas Athéné Kiadó
- Csizmadia Norbert (2023) Geovízió 1-2 - Pallas Athéné Kiadó
- Matolcsy György (2022) Az idő mintázatai - Pallas Athéné Kiadó
- Matolcsy György (2023) Magyar jövőkép és stratégia - Pallas Athéné Kiadó

IRODALMI ÉS KULTÚRTÖRTÉNETI KITEKINTÉS

A fémek titkai²⁶

Hésziodosz még meglehetősen friss élményeket és tapasztalatokat összegezhetett, amikor arany-ezüst-rézkorokra osztotta be a megelőző időket, a maga korának tartva fenn az alacsonyabb rendűnek vélt vasat:

*„Emberi nemzetséget először fényes aranyból
készítettek az istenek, ők, az Olümposzon élők.
Akkor még mindenki fölött Kronosz égi király volt,
s könnyű szívvel, akárcsak az istenek, élt a halandó,
távol a bajtól, távol a jajtól, még az öregség
sem járt köztük, mindvégig duzzadt az erőtlől
karjuk s lábuk, a kórság még nem törte őket;
mint lágy álom jött a halál rájuk, s amíg éltek
csak jóban volt részük: a föld meghozta magától
bő termését és dolgozni merő gyönyörűség
volt, sok jó közepette, a dús legelőn legelészett
nyájuk, s kedvelték az olümposzi boldogok őket.”¹*

Az aranykor mítosza abból a realitásból táplálkozhatott, hogy amikor a fémek még csak kultikus eszközök voltak – s elsősorban az arany, amit könnyebb volt előállítani, mint a bronzot,

²⁶ Megjelent: Ponticulus Hungaricus [IV. évfolyam 7–8. szám 2000. július–augusztus](#) HÍDVERÉS ROVAT

hogy a vasról ne is beszéljünk –, akkor még nem öltünk a fémfegyverekkel, boldog békeidők lehettek, ami persze épp oly öncsaló nosztalgia, visszavetített ábránd volt, mint számunkra a századforduló békeidői. Hésziodosz mindenestre ehhez az aranykori ábrándhoz képest szemlélte saját korát, a „vaskort”:

*„Csak ne születtem volna e most élő ötödik rend
embereként, meghalni előbb vagy messzi jövőben
élni szeretnék, mert melyben mi vagyunk, ez a vaskor.
Éjjel-nappal nincs pihenésünk, pusztul az ember
gondban, bajban, az istenek így szabták ki a sorsunk.”*

Ezt a fémek szerinti korszakolást aztán olyan nagy tekintélyek hitelesítették, mint Vergilius, s mikor a 19. század régészei az egyre rendszeresebbé váló ásatásaik során a felszínre bukkanó fémtárgyakat megpróbálták valamiféle történelemmé – vagy ahogyan ők mondták: történelem előtti időkké – rendezni, önkéntelenül ehhez a régi szkémához nyúltak, és réz-, bronz- meg vaskorszakokra osztották be a kőkorszakot követő időket. Csak amikor lassan tudományossá szigorodtak az ásatások, és amikor egyre jobban kezdtek figyelni a régészek a körülményekre és a mennyiségi viszonyokra, csak akkor vették észre, hogy valami baj van a beosztással. Egyre gyakrabban és egyre többfelé találtak például réztárgyakat – többnyire tűket és kisebb ékszereket – jellegzetesen kőkorszaki környezetben; úgyhogy lassan az addig rövid átmenetnek tekintett „rézkort” egy hosszú, évezredekig tartó „kőrézkor”, „chalkolitikum” váltotta fel. De a réz- és bronzkor se vált el éles határral egymástól, amint a görög „khalkosz” szó csakugyan nem is tesz különbséget „réz” és „bronz” között: ők nem rezt és bronzot, hanem tisztább vagy szényesebb, lágyabb vagy keményebb, sárgásabb vagy barnásabb „khalkoszt” ismertek. És ami a legfontosabb: még mélyen bent a bronzkorban is szinte mindenfelé használtak kőből-csontból készült eszközöket, hogy a fáról, a technikátörténet néma óriásáról ne is beszéljünk.

De a korszakolás másik, vasfelőli oldalán se volt könnyebb a helyzet. Nagyon sokfelé találtak vasból készült kisebb tárgyakat – többnyire ékszereket – régebbi rétegekben annál a vas „hivatalos” fölfedezéseként nyilvántartott híres levélnél, amit II. Hattusilis hettita király a Kr. e. 13. század közepén írt, föltehetően I. Shalmaneser asszír királynak. Ebben a sokszor idézett levélben Hattusilis mentegeti magát, hogy nem küldheti még a megígért vasat, de mostanában valahogy nem sikerül a vaskészítés:

„Ami azt a jó vasat illeti, amiről írtál nekem, hát tudd meg, hogy jelenleg nincsen jó vas kiszuvadalai raktárainban. Rossz idők járnak jelenleg a vascsinálásra. Még nincsen kész, mihelyst elkészül, küldök neked. Ezúttal csak egy vasból készült tört küldhetek.”²

Régebben csak a vasra figyeltek ezekben a sorokban, és úgy gondolták, hogy a hettiták valamiféle „monopóliumra” tehetek szert a vaskohászat terén, amit féltékenyen őriztek – hisz jórészt ennek köszönhették fegyvereik fölényét – és ami azután csak a Hettita Birodalom bukásával terjedt szét s indította el a „vaskorszakot”. Azokat a vastárgyakat pedig, amiket nem lehetett hettita-ajándékként megmagyarázni, többnyire meteoritokban lelt vasra vezették vissza. De amikor fizikai és kémiai eljárásokat kezdtek alkalmazni a régészetben, lassacskán kiderült, hogy a korai vastárgyak zömét bizony Földön készült vasból csinálták mindenfelé. Akkor azután kezdték más szemmel olvasni a Hattusilis-levelet is: fölfigyeltek benne a panaszkodó mondatra, hogy rossz idők járnak a vaskészítésre.

„A vas kiolvasztása – írja Jane C. Waldbaum – ebből a szövegből ítélve (ha ugyan csakugyan erről van itt szó) nem lehetett valami virágzó ipar. Inkább afféle időszakos munka lehetett, lassú és megbízhatatlan; hiszen egyetlen vastört királyi cserére méltó ajándékként becsültek.”³ Hatalmi kontextusban alakulnak ki tehát a fémművesség keretei. Nem gyakorlati célokat szolgáltak eleinte a fémek – mint hittük –, hanem rituális, kultikus célokat. Ez magyarázza rendkívüli becsület is.

A források és leletek csakugyan igazolják is a vas nagy drágaságát; értékesebbnek tartották az aranynál. Óasszír szövegek szerint a Kr. e. II. évezred elején a vas negyvenszer többet ért az ezüsthöz: egy súlyrész vasért negyven súlyrésznyi ezüstöt adtak. Valamivel később egy óbabilóni szöveg 16 1/6 shekelnyi ezüstöt mond egyenlő értékűnek 1 1/3 shekel vassal. Amikor azonban a Kr. e. 7. század vége felé a görög városok elkezdtek használni értékmérőként a pénzt, akkor már egy 6 grammos ezüstdrachmáért nem kevesebb, mint 12 kg vasat lehetett kapni. A fémek egymáshoz viszonyított értéke tehát az idők során erősen változott, s nem utolsósorban éppen ennek a mindenkor nyilvántartott aránynak köszönhetően használatukat általános értékmérőként egy olyan világban, ahol meg lehet a „nagykereskedelem” és a távolsági kereskedelem legfontosabb árucikkei éppen a fémek voltak. Ez azonban csak az egyik, s tán nem is a legfontosabb tanulság. A másik az, hogy a fémtárgyak használata, illetve fémeszközök és fegyverek előfordulási gyakorisága semmiképpen sem hozható egyszerű kapcsolatba a fémek ismeretével és „felfedezésével”.

Kigondolták maguknak szépen a technikátörténészek, hogy bukkanhatott rá a fazekasság fortélyaiba beletanult ember kemencéjében az első kiolvadzt rézdarabra, hogyan jutottak kezébe épp Sumerban arzént tartalmazó ércek, amelyekből a kiolvasztott réz már bronz formájában került elé, hogyan sikerült a bronzban az arzént ónnal helyettesíteni, hogyan tudták az öntvény életkalapálással keményebbre kovácsolni, hogyan kovácsolták aztán üllőn, fújtató segítségével izsítva elébb a meteorokban talált vasat, majd a véletlenül – tán valami vasérc fölé rakott hatalmas táborútzból vagy egy túlfűtött kemencében – kiolvadzt vasat kovácsvassá. Ezután tán már csak arra kellett véletlenül rájönniük, hogy a jól alakítható kovácsvasból készült tárgy kellő ideig tartva fújtatóval alkalmasan élesztett faszéntűzön és hirtelen hideg vízben lehűtve megkeményedik, s újból felmelegítve és megint lehűtve erős és rugalmas acéllá edzhető. Bár az utóbbi lépések még a technikátörténészek szerint sem voltak könnyűek, hiszen sikerük sok mindentől függött; éppen ezzel vélték viszont magyarázhatónak a kovácsok körül fölhalmozódott rengeteg mítoszt és legendát. Ennyi szerencse felért egy jobb fajta technikátörténeti gondviseléssel; nem csoda hát, ha újabban számos régész és metallurgus kívánja a sok véletlen felfedezést valami értelmesebb technológiai skémával helyettesíteni.

Először arra figyeltek fel, hogy kisebb-nagyobb réztárgyak hosszú évezredekig és sokfelé észlelhető megjelenése után valamikor a Kr. e. IV. évezred végén – III. évezred elején a városi civilizáció útján elinduló Sumerban megváltozik a kép: hirtelen nagymennyiségű fémtárgy található, és pedig nem is annyira réz, mint inkább arany. Ur királysírjaiban annyi az arany, hogy az aranytól ragyogó inka-udvarok is megirigyelhették volna. Arany fejékek, sisakok, török, szobrok tömege mutatja, hogy a fémeket nem a mai ékszer értelmében használták, és ugyanez érvényes az ugyancsak ezidőtájt megjelenő ezüstre is. A réz, többnyire arzén-bronz, majd egyre inkább ón-bronz formájában, szintén leginkább efféle kultikus-reprezentációs célokra szolgált, mintsem ténylegesen használt munkaeszköz anyaga gyanánt. Még a fegyverek közt is ritka a bronz; nyílhegy egyáltalán nem készült bronzból, lándzsa is ritkán, a rövid fényes bronztörök pedig sokkal inkább birtokosaik tekintélyét tükrözhatték, mintsem harcmódorukat. Még a szürke ólom is ebben a kultikus-reprezentációs keretben jelentkezett először; ékszerek készítéséhez használták és kisebb kegytárgyakat öntöttek belőle.

De ha a fémek a tekintélyt szolgálták, nem maradt adós a hatalom sem: ő is szolgált a fémeket. Ez a fajta, sok fémrel dolgozó fémművesség csak szakosodott mesteremberek kezében fejlődhetett ki, s őket ugyanúgy a központi hatalom raktáraiba begyűlt terményfeleslegből kellett eltartani, akár az írkokokat. Mert mint az írkokoké, a fémművesek tudása sem volt elsajátítható és alkalmazható csak úgy másodfoglalkozásként, a mezőgazdasági munka mellett vagy szüneteiben. Éppen ez különbözteti meg leginkább a sok fémrel ügyesen dolgozó fémművesek világát a megelőző khalkolitikum hosszú évezreideitől. Ehhez az átmenethez aligha volt elegendő egy jól befűtött égetőkemence. A fazekasság évezreidei alatt az ember megtanult bánni a tűzzel, a fazekaskemence azonban, még a fejlett kétrészes is, legfeljebb a már kész – vagy természetes formában talált – réz megolvasztásához volt elég. Ahhoz, hogy a rezet sikerüljön érceiből – például a zöld malachitból, azaz rézkarbonátból ($\text{CuCO}_3\text{Cu(OH)}_2$) vagy a vörös kupritből, azaz réz(I)-oxidból (Cu_2O) – kiolvasztani, nem elég az 1000°C körüli kemencehő, ehhez a rezet el kell tudni választani a többi atomtól, mindenekelőtt az oxigéntől, ami dús oxigéntartalmú közegben eleve nem sikerülhet. De ha egy alulról kellően fűjtatható kohóban érc és faszén egymást váltó rétegeiből raktak máglyát úgy, hogy érc és szén szorosan érintkezzék, akkor ott – kellően szabályozva fűjtatást és hőfokot – éppen afféle oxigénszegény ún. „redukáló” atmoszféra keletkezett, amiben az izzó szén fémmé redukálta az ércet, s a réz aztán a többé-kevésbé megolvadt salakon át összegyűlt a kohó fenekén. Amikor kihűlt a kohó, ki lehetett emelni a – salakkal és faszénnel szennyezett – rezet és kezdődhetett a tisztítás újraolvasztással. Mindez ma nekünk nagyon egyszerű és logikus folyamatnak látszik, de hogyan jöhettek rá az érckohó elvére olyan fazekasok, akiknek fogalmuk se volt atomokról és vegyületekről, oxidációról és redukciónról? Szerencsés véletlenek s az egyre tökéletesedő fazekas-mesterség összjátéka kellett hozzá, hogy létrejöhessen a nagy fölfedezés, melynek „logikáját” tán az alábbi pontokban összegezhetjük:

A közönséges tábortűz nem vezet önmagában a fémhez, csak az agyag kiégetéséhez.

A keramikus ipar teremtette meg azt a lehetőséget, hogy a fémeket szerencsés véletlen esetében kinyerjék érceikből.

A mázak védelme vezetett a kétrészes kemencéhez, ami viszont oxigénhiányos hevítést és így redukciónak tett lehetővé. (Erről már szóltunk, Yarim Tepe-vel kapcsolatban.)

A mázakkal való kísérletezés egyrészt színes rézérceket, másrészt – ugyancsak színes – folyósító anyagokat „hozott le” a lezárt kemencébe, s megjelenhetett a – természetes előfordulásból már ismert – fémrész.

Most már „csak” az edényeket kellett elhagyni és nélkülük rétegezni a kiégetéshez amúgyis használt faszenet s a rézérceket, s ügyesen adagolni fűjtatással a levegőt, s megszülethettek az első kohók. Ám ez a nagy felfedezés nyilvánvalóan nem fér bele a fazekas-mesterség keretébe. Az ősrégészeti leletek se árulnak el sokat a felfedezés történetéből: az első kohók többnyire igénytelen gödrök, 15–20 cm-re a földbe mélyesztve, s jó, ha sikerül megtalálni a levegőt vezető (agyagból készült) fűjtatócsövek maradványait. A kohó őrsi felfedezése titkait.

A faszén és érc rétegekből felépülő kohó – miután már felfedezték – mindenesetre afféle kísérleti eszköz is lehetett, amiben a különféle érceket és ásványokat – kivált a színeseket – kiválóan ismerő mesterek sorba mind kipróbálhatták. Így véli legalábbis Theodore A. Wertime, aki megpróbálta rekonstruálni a kohászat kezdeti lépéseit s a bronz felfedezését. Úgy gondolja Wertime, hogy az ősi rézkohászok rendszeresen rétegezték érclerakódások és ásványi erek felső, bomló színes részeit (az ún. gossan-okat) kohóikba, mert észrevették, hogy elősegíti az olvadt réz elválását a salaktól. Ezek közt a folyósító anyagok között akadtak magas óntartalmúak is, például amelyek az ónoxidból, a kassziteritből keletkeznek. Kellő mennyiségben keverve a rétegekhez az ilyen folyósító anyagot, végül akár 3–4%-os ón–réz ötvözetre is szert tehettek, melynek jó

tulajdonságai azonnal szembetűntek. Most már csak azonosítani kellett az alkalmazott folyósítóanyagokat, ami jellegzetes színük alapján nem volt nehéz. Az így megtalált kassziteritet aztán eleinte ilyen formában adták hozzá a rézérchez, illetve a megolvasztott rézhez, később azonban kivonták előbb a kassziteritből az ónt, s tiszta állapotban, adott mennyiségben ötvözték a két fémeket. A Kr. e. II. évezred elejéről származó óasszír szövegek még nem tesznek különbséget kassziterit és ón között; Egyiptomban pedig egészen a III. évezred végéig nem igen alkalmaztak ónt. Többnyire arzéntartalmú rézércekkel dolgoztak. A bronz igazi ideje mindenesetre ezzel az ón-ötvözzel kezdődött, úgyhogy – ha tetszik – akár ónkorról is beszélhetnénk. Annál is inkább, mert az arzénnel való munka hamar tönkretette a bronzkovácsokat: az arzén kezdeti erő-fokozódás után idegbénulást és izomsorvadást okoz. Talán ennek az ősi bronzkórnak az emlékét őrzi a kovács-isten Hephaisztosz, az egyedüli sánta az istenek között.

Jól mutatja az ón nagy fontosságát az ősi Kelet életében egy rendkívül érdekes és gyakran idézett dokumentum-csoport, az ún. Kanes-i levelek. Kanes nagycsúcs város volt a mai Anatólia középső részén, ahol a Kr. e. II. évezred elején, úgy Kr. e. 1950 és 1850 között egy gazdag és nagy asszír kereskedőkolónia, ún. „kárúm” virágzott. Az asszír fővárosból, Assurból évenként szállították szamárkaravánok az ónt Kanesbe, ahol a kereskedők eladták a közelebbi s távolabbi városok fejedelmeinek. A rezet a környéken bányászták, vagy legalábbis nem túl messziről szállították – Anatólia gazdag volt rézércekben –, s a bronzot, illetve a kész bronzárut többnyire helyben vagy a környéken hasznosították. A karavánok – amik az ón mellett Babilónban vásárolt textíliát szállítottak Kanesbe – visszafelé Assurba főként rezet vittek; a nagy üzletet azonban úgy látszik az ón jelentette, erről tanúskodnak a levelek.

„Megtudjuk – írja James D. Muhly –, hogy egy rakománynyi ón kb. 65 kg-ot nyomott, s hogy a terhet a szamarak hátára rakva szállították. Arról is értesülünk, hogyan szervezték a szamárkaravánokat, mekkorák voltak a helyi anatóliai fejedelmeknek fizetendő vámok és járandóságok. Még a távolsági kereskedelem kockázatairól és veszedelmeiről is megtudunk valamit, csak arról nem hallunk semmit, honnét származott az ón.”⁴

Mezopotámia tájain nincsenek ónércék, Assurba is valahonnét Keletről kerülhetett az ón, illetve kassziterit. Talán itt olvasztották ki az ércből az ónt, és így szállították 65 kg-os csomagokban szamarak hátán Kanesbe? Nem tudjuk. Csak annyi bizonyos, hogy az ón bírta a szállítás költségeit. Kanesben általában hat shekel ezüstért lehetett eladni egy mina ónt; egy талант ónért pedig akár egy mina aranyat is lehetett kapni. Azaz az ezüst-ón arány körülbelül 1:10 volt, az arany-ón arány pedig pontosan 1:60, mert 60 shekel egy mina és 60 mina egy талант. Az ezüst és réz aránya ugyanekkor 1:46 és 1:180 között ingadozott; azaz az ón úgy 5–18-szor drágább volt a réznél. S még hozzá a réz ára állandóan esett; az óasszír időköt követő óbabilóni időkben – úgy a Kr. e. II. évezred második negyedében – már 1:180 és 1:240 között ingadozott az ezüst-réz arány. Az ón ára azonban nem változott. Érthető tehát, hogy a fémkereskedelem nagy áruja az ón volt. Megbecsülhető a levelekből az is, hogy a kanesi kárúm mennyi ónt adott el, s ebből mennyi bronz készült. Muhly becslése szerint egy fél évszázad alatt eladhattak Kanesben az asszír kufárok vagy 80 tonnányi ónt, ami 9:1 réz-ón arányt számítva 800 tonna bronznak felel meg. Jelentős mennyiség tehát, ha figyelembe vesszük, hogy Kanes csak egyik állomása volt a kiterjedt ón-réz kereskedelemnek, s elképzelhető, hogy a Kr. e. II. évezred elején mekkora méretűvé növekedett hirtelen a bronzipar.

A bronzipar mindenütt a fejedelmek közvetlen ellenőrzése alatt állott, és a hatalom gondoskodása többnyire kiterjedt az ón- és rézkereskedelemre is. A kanesi kárúm lakói se tekinthetők holmi magánkereskedőknek, akik a saját szakállukra dolgoztak.

„A kolónia – írja Seton Lloyd, a modern nyugat-ázsiai archeológia megteremtőinek egyike – az asszír államgazdaság szerves részeként működött, és ennek megfelelően hivatalos hírnökök tartották fenn az összeköttetést a főváros és a kolónia között.”⁵

A leveleket is főleg ennek a gondosan megszervezett postának köszönhetjük. De valamiféle állami funkcionárius lehetett a szövegben szereplő 'a szamarak főnöke', valamint 'a kereskedők főnöke' is; a fémmivesség központosított szervezéséről pedig olyan kifejezések árulkodnak, mint 'a bronz főnöke', 'a kovácsok főnöke', 'a fegyverek főnöke'.

„Jellegzetes hármás – jegyzi meg a korszak technológiáját ismertető összefoglalójában Carlo Zaccagnini –, amely jól kifejezi, hogy milyen erősen kezében tartotta a központi adminisztráció a metallurgia egész ténykedését. A Közel-Keleten a fémmivesség felvirágzásának székhelyei mindig is a városállamok maradtak, és pedig központi adminisztrációjuk leghatékonyabb periódusaiban. A kézmivesség szabadon kezdeményező vagy éppen vándorló foglalkozásként erősen szórványos jelenség, és legfeljebb a jelentéktlenebb termelés szintjére korlátozódott.”⁶

Erre a centralizált állami termelésre és gazdálkodásra Assur csak az egyik példa, és korántsem a legnagyobb vagy legfényesebb. Asszíria a Kr. e. II. évezred elején még csak afféle kisebb provinciális hatalom; messze még az idő, amikor az egész térség rettegett uraiként grasszálnak majd az asszír királyok. Assurhoz hasonló kisebb-nagyobb városállamok vagy inkább államvárosok egész sora volt található Észak-Mezopotámián és Észak-Szírián át a Földközi-tenger keleti partjaiig, s a partokon Libanonon-Palesztinán keresztül el egészen a Jordán völgyének tájaiig. Mari, Nuzi, Aleppo, Alalah, Qatna, Ebla, Ugarit, Biblosz, Hazor, Megiddo és egy sor kisebb királyság népesítette be a Termékeny Hold-sarló közepét és nyugati szarvát, s a Kr. e. II. évezred során egyre inkább erre a területre tolódott el a politikai és gazdasági élet tengelye a sumer-akkád civilizációt megteremtő Délről. S bár az ősi civilizáció főbb vonásai megőrződtek, a változások sem jelentéktelenek, kivált a gazdaság és a technika területén. A királyi hatalom növekedésével párhuzamosan ugyanis átalakult lassan a gazdaság szerkezete. Egyre növekedett a királyi háztartás szerepe, s a templomé végül a kultuszra szorítkozott, amelyben magában is egyre nagyobb szerep jutott a királynak. Az ősi sumer-akkád templomgazdaságokat végül központosított állami gazdálkodás váltotta fel. S ahogyan a centralizált templomgazdaság hatalmának kifejezőjeként régebben a zikkuratok, úgy emelkedtek most az új palotagazdaság megtestesítőjeként sorra a pompásabbnál pompásabb királyi paloták. A legfényesebbek s már a maguk korában leghíresebbek egyike volt Mari városának palotája, amit Zimrilim király építtetett, vagy legalábbis ő fejezett be a Kr. e. 18. század elején. A palotát André Parrot tárta föl, mintaszerűen, a harmincas években. Paolo Matthiae (aki az utóbbi évek Mari fölfedezéséhez hasonlítható nagy régészeti szenzációjának, Ebla föltárásának vezetője) a következőképpen jellemzi a palotát:

„Hatalmas adminisztratív, rezidenciális és reprezentatív épület-együttes volt, a központosított gazdasági és kultikus tevékenység székhelye. Valóságos építészeti organizmus, amelyben kézzelfoghatóan megmutatkozik a hatalom időközben bekövetkezett 'laicizációja' abban az értelemben, hogy mindazt a tevékenységet magába foglalja, amit egykor a templom testesített meg.”⁷

Ez a 'laicizáció' és palotagazdaság nem volt egészen új jelenség. Előkerült az Aleppótól 70 km-re délnyugatra feltárt Ebla királyi palotájából a hetvenes évek második felében egy több mint 15 ezer táblatöredéket tartalmazó levéltár a Kr. e. III. évezred közepéről.

„Ezen a tájon és ilyen régi korból – írja a levéltár valóságos »levéltárosául« szegődött Giovanni Pettinato⁸ – azt várta az ember, hogy egy olyan birodalomra bukkan, ahol teljhatalmú uralkodó kormányoz, közvetlenül az istenektől reáruházott hatalma folytán. Nos, Ebla e tekintetben is alapos meglepetést okozott. Itt a hatalmat egyfajta oligarchia gyakorolta, amely speciális funkciókkal és köteleességekkel fölruházott szerveken keresztül ellenőrizte és egyensúlyozta a politikai és adminisztratív ügyintézést. Ez a politikai modell, figyelembe véve azt a hatalmas területet, melyet Ebla messzire terjeszkedő kereskedelmi hálózatával befolyása alatt tartott, egyenesen az itáliai reneszánsz város-államait vagy a Hanza-városok szövetségét juttatja az ember eszébe.”



*Márvány intariza Ebla G palotájának egyik csarnokából i.e. 2400 Idlib Múzeum, Szíria.
A harcosok és mitológiai állatok ábrázolásával feltehetően egy győzelmi
ünnepséget örökítettek meg*

Fotó: Erich Lessing

A levéltár megfejtése különösebb gondot nem okozott, mert az eblai írnokok a sumer ékírást alkalmazták a maguk északi sémi nyelvére. Műveltség tekintetében egyébként is láthatóan a sumer civilizáció volt a mintájuk, ám gazdasági és politikai tekintetben Ebla merőben más világot képviselt. A királyt 7 évre választották az előkelő családok valamelyikéből, melynek képviselői valamiféle „szénátust” alkottak. A királlyal együtt választották meg s ugyancsak 7 évre az adminisztráció vezetőjét is, aki a népes palotai funkcionárius-gárda és a 14 területi kormányzó munkáját igazgatta. Hivatalnok persze másfelé is sok nyüzsgött a keleti birodalmakban, nem ez okozta a meglepetést. A meglepő az volt, hogy milyen változatos, nyitott, rugalmas, mondhatni „piac-orientált” gazdaságot igazgattak az eblai tisztviselők, mennyire ügyesen szőtték a város közeli s távoli kereskedelmi kapcsolatait, mennyire a város kereskedelmi érdekei határozták meg Ebla egész kül- és belpolitikáját. Illetve tán helyesebb lenne – véli Pettinato – a kereskedők érdekeiről beszélni, mert a város kereskedelmének egy részét – meglehet zömét – feltehetően a nagy kereskedő-családok tartották kezükben, ők bonyolították – valami ősi „magánvállalkozás” formájában – a három fő termék-féleség: a textíliák, az ékszerek és a bronzárak jövedelmező exportját. Ám róluk hallgat a királyi archívum, annál bővebben szól viszont a palota ilyen természetű tevékenységéről.

Az eblai palotában – amint a levéltárból kiderül – valóságos nagyüzemek működtek textíliák, ékszerek s bronzeszközök készítésére. A textilüzemben – már akkor is! – nők dolgoztak; a gyapjút pedig a palota 80 ezres juhnyája szolgáltatta. De lenvásznat is szőttek, s mindkettőt igen tekintélyes mennyiségben. Külön tételt képeztek az arannyal átszőtt damasztok, szinte már átmenetként az ékszerekhez, melyekhez a palota ékszerészei pontosan feljegyzett mennyiségben kaptak aranyat, ezüstöt és drágakövet. A legnagyobb meglepetést azonban a bronzművesség mértéke és technikai színvonala okozta. A palota bronzművesei ugyanis nemcsak rengeteg és rengetegféle eszközt gyártottak, hanem pontosan tudták azt is, hogy mihez milyen réz-bronz arány a legmegfelelőbb. A bronz tulajdonságai ugyanis erősen változnak az öntvény öntartalma szerint. A 4–10%-nyi ónt tartalmazó bronz könnyebben folyik és igen jól önthető, ezért kiválóan alkalmas szobrok anyagául. 12% alatt az öntvény afféle „szilárd folyadék” marad, s kalapálással hidegen is megmunkálható. 12–20%-ig terjedő öntartalomnál a bronz sokkal keményebb lesz, de többé hidegen már nem, csak izzítva kalapálható. A palota tisztviselői pontosan ismerték ezeket az arányokat, ezek szerint utalták ki az egyes eszköz-féleségekhez az ónt és a rezet. Így például az ekék, borotvák, tűk, szögek, lándzsák és kapák kemény bronzból készültek, a szobrok és edények lágyból. De készültek lágy ötvözetből buzogányok és más fegyverek is: ezek szertartásokra szánt dísz-fegyverek lehettek, melyeknél a mesterek, illetve a tisztviselők takarékoskodtak a drága ónnal. Úgy látszik, hogy Ebla a III. évezred első felében s közepén kulcs-helyet foglalhatott el a bronz-technológiában és a bronzkereskedelemben.

„Egy civilizáció fejlődése – summázza fejtegetéseit Pettinato – mindig megfelel technológiája fejlettségének, hiszen a technológia pontosan megmutatja, hogy az emberek mennyire képesek kielégíteni igényeiket, miután többé-kevésbé pontosan meghatározták azokat. Az eblaiak meg tudták fogalmazni igényeiket s legyőzték az útban álló technikai akadályokat. Eblában csodálatosan jól megbirkóztak a környezet nehézségeivel.” Ez a „megbirkózás”, ez jelenti voltaképpen a „bronzkor” kezdetét, nem egyszerűen az öntvény felfedezése és alkalmazása.

Ebla a III. évezred vége felé a térség nagyhatalmi villongásaiban lehanyatlott, még helyét is elfelejtették, s csak nevét őrizték máshonnet származó agyagtáblák. Az addigiaknál sokkal szabadabb társadalmi és politikai berendezkedés is feledésbe merült. Ám ha politikai struktúráját nem is, örökül hagyta a „laicizált” gazdasági mintát, melynek fontos részét, gyakran gerincét alkotta a bronzipar és a fémkereskedelem. Parrot kutatásaiból tudjuk⁹, hogy például Mariban is a gazdaság igen fontos részét képezte a fémkereskedelem és a bronzipar; a szerencsésen megőrződött levéltár tanúsítja a királyi palota érdekltségét a nagy nemzetközi fémkereskedelemben.

Mari palotáját 18. század közepe táján földig lerombolta Babilón hatalmas és általunk általában „törvényhozóként” tisztelt ura, Hammurapi, de a palotában megtestesülő minta – építészeti, gazdasági, politikai minta egyaránt – változatlanul élt és hatott Babilóntól a Földközi-tenger keleti partjaiig és Anatóliáig.¹⁰ Még a tenger se állhatta útját: eljutott a palota és a palotagazdálkodás mintája Krétáig, Mükénéig. Ugyanannak a gazdasági és politikai mintának ezernyi helyi változata keletkezett így, és ebben a tarka mintázatban a folyton változó erőviszonyok szerint emelkedtek-süllyedtek az elemek. A kisebb-nagyobb államvárosok kereskedelemmel-szerződésekkel-hadakkal összekötött tömbökké csapódtak össze, majd újból szétváltak; egyik-másik tömb – mint Mitanni vagy a Hettita-föderáció – valóságos nagyhatalommá nőtt, amely sikeresen szállt szembe akár a térség nyugati tájain terjeszkedő hatalmas Egyiptomi Birodalommal is. Egyiptom, Mitanni és a hettita nagykirályok hatalmi vetélkedései tarkították és nyomorították az évezred közepét, s ebben a hatalmi villongásban a kis királyságok hol ide csapódtak, hol oda; hol ez rombolta le őket, hol az, de a szerencsésebbek és ügyesebbek jól forgolódva szépen meg is gazdagodhattak, mint a Woolley által föltárt s a térség egész modern régészetéhez

méltán mintául szolgáló Alalakh. Mígnem aztán keleten új és a megelőzőknél is kíméletlenebb katonahatalomként fölemelkedik Asszíria, Anatólián és a Földközi-tenger keleti partjain pedig végigsöpör a „Tengeri Népek”¹¹ néven ismert kalózkodó-katonáskodó törzsek áradata. (Ennek egyik epizódjáról számol be az *Íliász*.) Ebben a harcias világban érthetően fontos szerep jutott a bronznak. Látta ezt jól már Hésziódosz is:

*„Zeusz atya akkor harmadikul más rendet, a rézkort:
új embert formált, az ezüstkorhoz se hasonlót,
kőrisfából, durva kemény fajt, melynek Arész kell,
gőgje alatt jajszó támad.
Rézből voltak a fegyvereik, rézből a lakásuk,
rézszerszámmal dolgoztak s egymást gyűrte le karjuk,
így érték el a hős Hádész tágas palotáját,
névtelenül: feketén, bár rettentő erejük volt,*

*Majd aztán, hogy a föld befogadta magába e fajt is,
más embert állított Zeus ismét a világba,
jobb s igazabb volt, mint az előbbi, ez új, negyedik rend,
isteni hősök rendje, nevük félisten a földön,
föld végnélküli térein ők jártak mielőttünk.
Emberölő csata, irtó harc pusztítja őket,
részben a hétkapujú Thébaiban, a kadmoszi földön,
míg a Dagadtlábú dús nyájaiért tusakodnak,
másokat elcsalt messzire, tengeren át a hajókkal
szépfürtű Helénáért Trója alatt tusakodni.”*

De a bronzfegyverek ahhoz, hogy néhanapján, afféle alkalmi katonák kezében forogjanak, mindig túlságosan drágák maradtak. A háborúskodással többé-kevésbé hivatásszerűen foglalkozók fegyverzetének anyagaként kifizetődő csupán a bronz; így hát elválnak a többiektől, külön foglalkozásként, a harcosok és előkelők. Még fokozta ezt az elkülönülést az évezred közepén a lóvontatta kétkerekű harckocsi megjelenése és villámgyors elterjedése. A hadakozás igen drága mesterséggé változott; a nagy áldozatokkal felszerelt seregeket nem lehetett paragon hevertetni, foglalkoztatni kellett.

Mindehhez bronz kellett és újra csak bronz. Ciprus szigetén volt elég rézérc (maga a sziget neve is „rez”-et jelent), de szulfidok, és ezekhez nem használható az oxidokra kidolgozott technológia. A szulfid-ércekből előbb levegőn való pörköléssel el kell távolítani a kén, s csak aztán lehet őket kohóba rakni. Az új eljárás fölfedezése után, az évezred második felében, Ciprus vált a maga szulfid-érceivel a réz egyik fő szállítójává. A föníciaiak pedig az ön után kutatva végigpásztázták a Földközi-tenger partjait. Rézhez Ciprus közelsége miatt a föníciai és az észak-szíriai városok most már könnyen hozzájutottak. A kor bronzművességében ezek a városok kerültek élre, a rézkohászat új módszere is valószínűleg ezeken a tájakon fejlődött ki.



*A fémkereskedelem főbb útvonalai az i.e. harmadik évezred elejétől – közepétől
az i.e. második évezred közepéig*

Nagy szükség volt az új eljárásra, mert a bronz nemcsak a fegyverkezésben terjedt el igen erősen, hanem polgári célokra is egyre gyakrabban használták. Az évezred második felében mind gyakrabban készültek bronzból mindennapi használati tárgyak, különféle mesterségbeli eszközök, sőt mezőgazdasági eszközök is: sarlók, kapák, ekék. Legtöbb ezekből valószínűleg az észak-mezopotámiai, észak-szíriai és föníciai városokban készült illetve használódott. Ezeken a tájakon azonban – és a Mediterráneum egész keleti felében – a Kr. e. 12. században, mikor a „Tengeri Népek” vonulásai és a követő zavarok megszakították a nagy nemzetközi réz- és ón-kereskedelem útvonalait, valóságos bronzhiány jelentkezett. Ennek a bronzhiánynak az enyhítésére fedezték fel a Mediterráneum északkeleti csücskében – talán épp Ciprus szigetén, tán valamelyik föníciai vagy észak-szíriai városban – a Kr. e. II. évezred vége felé a vastechnológiát.

A vasat – láttuk – ismerték már réges-régen. A vas érceit is ismerték, és azt is tudták, hogy akad belőlük sokfelé bőven. De nem tudták nagy mennyiségben és megbízhatóan előállítani belőlük a vasat; éppen ezért volt annyira ritka és drágább az aranytól. És nem tudtak ebből a szeszélyes fémből a bronzhoz foghatóan erős, kemény és rugalmas eszközöket teremteni. Ezt a két kérdést: a vas gazdaságos kohászatát és használhatóvá tételét kellett megoldaniuk ahhoz, hogy a vas drága ékszerből nyersanyaggá váljék és helyettesíthesse a bronzot. Mindkettő hatalmas technológiai feladat volt, megoldásához alaposan kellett ismerni a tűz és a fémek titkait.

Régebben észrevehették már – véli a kérdés nagy szakértője, Theodor A. Wertime –, hogy ólom és réz kohászatakor vas keletkezhet melléktermék gyanánt, ha folyósítóként vasvegyületeket tartalmazó anyagokat használnak. Nem jutottak el ugyan soha a tiszta vas olvadáspontjához, 1500 °C fölé; ezt majd csak a 19. században sikerül elérni. De tartósan a réz olvadáspontja

felett, 1100–1200 °C között dolgozva, a vas olykor-olykor felvehetett annyi szenet, hogy öntöttvasként – amely már 1150 °C-on olvad – gyűlhessen össze a salak alatt. Így azonban soha nem sikerült nagy mennyiségű vashoz jutni. Másféle kohó kellett ahhoz, sok tüzelővel, jó erős fűjtatókkal. A kínaiak a Kr. e. I. évezred közepe táján rá is jöttek, s öntöttvasra alapozták technológiájukat. Európában azonban csak a középkor vége felé fedezték fel az öntöttvas gyártásának titkát. Szerencsére az öntöttvas meg is kerülhet, mert 1200 °C-nál a szén a vasércet szilárd vassá redukálja a megolvadt kőzetben, s ebből a „virág”-ból, amely salak, faszén és szilárd vas keverékéből áll, a vasdarabkák kiverhetők és kalapáccsal szénmentes tiszta kovácsvassá tömöríthetők. Az 1150 °C körüli hőfokot sok faszénnel és jó fűjtatókkal dolgozva el tudták érni a föníciai kohászok, hiszen a hőtechnika épp ezeken a tájakon – a terrakotta, az üveg és a különféle üveges mázak mesteri készítése bizonyítja – igen magas szintet ért el. A vaskohászat kidolgozásának ez a fejlett pirotechnikai háttér volt a technológiai feltétele. A vaskohók eleinte olyanok maradtak, mint a rézkohók voltak: földbe mélyített 20–25 cm mélységű és átmérőjű gödrök, alulról bevezetett levegő-fűjtatással. A görög kohászok azonban már jókor rájöttek, hogy kéményszerűen épült föld feletti kohóval huzatot teremtve tüzelőanyagot takaríthatnak meg és fűjtatást, csak jó hőszigetelésről kell gondoskodni és jól kell megválasztani az érc és a faszén arányát. „Mindehhez – írja az antik technika hasznos kis összefoglalójában J. C. Landels – nem kellett különleges tudomány, csupán türelem, gondos megfigyelés és rengeteg gyakorlat.”¹²

Az így nyert kovácsvas azonban nem alkalmas igényesebb eszközök, s kivált nem fegyverek készítésére: gyöngye, hajlékony, puha. Ahhoz, hogy megkeményedjék, fel kell vele vésni egy kevés szenet, úgy 0,1% és 1,5% közötti arányban. Így keletkeznek a különféle acélok, melyek tulajdonságai a széntartalomtól függően változnak. Ha 2% és 4% között vesz föl szenet a vas, akkor 1150 °C-nál megolvad és önthető; megszilárdulva azonban ez az öntöttvas törékeny és merev. Tehát a vas háromféle formája is ötvözet, akár a bronz: a kovácsvas nagyon kevés szenet tartalmaz, az öntöttvas a legtöbbet, és a kettő között található az eszközök és fegyverek készítésére alkalmas arány. Minderről persze a régi kovácsok nem tudtak semmit, hiszen csak a kémia fejlődésével derült ki, a Kr. u. 18. század végén, hogy a vas különböző formái szén-ötvözetek. De arra rájöttek, hogy jó faszéntűzön erősen izzítva a vas megkeményedik (mert – mi már tudjuk – szenet vesz fel), s az ilyen vas hirtelen hideg vízbe mártva erős lesz és szinte törhetetlen, lassan lehűtve hajlékonyabb és kalapálhatóbb; a hirtelen hűtött acél újból felmelegítve s lehűtve pedig erőssé és rugalmassá edzhető. Gyönyörűen foglalja össze ezt a háromféle vasra vonatkozó tapasztalati tudást a *Kalevala*. Idézzük ezt a részt Rácz István szép s az eredeti finnhez hozzáértők szerint – legközelebbi fordításában:

*„Nyomban három szűz született, három tündérasszony termett:
Ők lettek a vas szülei, kékszájú acél nemzői.
Ott libegtek, lépegettek fenn a fényes felhők felett
dúsan duzzadó emlőkkel, csordulásig telt csecsekkel.
Tejüket a földre fejték, csecsük nedvét csak csurgatták,
földbe fejték mély mocsárba, csendesen csergő erekbe.
Egyik leány, a legidősebb, fekete tejet folytatott;
lányok közül a középső tiszta fehér tejet adott;
harmadik lány, a legkisebb, tűzpiros tejet cseppentett.
Ki tejét feketén fejte, annak lágy vas lett tejéből.
Ki tejét fehérén fejte, tejéből acélt teremtett.
Ki tűzpiros tejet adott, porhanyó vasat csurgatott.”*

A kovácsvas sokkal lágyabb a jó bronznál: keménysége növekszik, ha 900 °C fölé hevítve szén-
nel ötvöződhet, de levegőn lehűtve az ilyen vaseszközök keménysége még mindig nem éri el a
magas óntartalmú, élein keményre kalapált bronzét. A szénttartalom növelésével növelhető
ugyan a keménység, de ekkor meg törékeny lesz az eszköz, ami – mondjuk kardok esetében –
végzetes lehet. „Az alacsony szénttartalmú acél csak akkor lesz jelentősen keményebb a bronz-
nál, ha edzése igen gyors hűtéssel történik 990 °C feletti hőmérsékletről.”¹³

A régi kovácsok sok-sok tapasztalat alapján rájöttek ugyan a hőkezelés titkaira és fogásaira, az
eljárásokat azonban soha nem tudták pontosan meghatározni és standardizálni, hiszen semmit
sem tudtak az alapjaikul szolgáló folyamatokról. Sok függött hát a kovács tapasztalatától és
ügyességétől, olykor a szerencsétől is. Érthető, ha megbecsülték a jó kovácsot, valószínűleg a vas
orvosának tekintették, aki gyógyítja a fémeket. Ilyesféleképpen ír róla Homérosz, aki láthatóan
jól ismerte a kovácsok és mesteremberek munkáját. Az *Odüsszeia* kilencedik énekében így me-
séli el Odüsszeusz az egyszemű óriás megvakítását:

*„Ők forgatták a hegyesvégi nagy olajfadorongot,
és a szemébe ütötték; én nekidőlve felülről
forgattam, valamint ha hajóját fűr ki az ember
fűróval, s mások meg alulról húzva a szíjat,
pörgetik erre meg arra a fűrót, s az forog egyre.
Fogva, szemében eképp forgattuk az áttüzesített
nyársat, s míg melegen forgott, körülötte a vér folyt.
Szétperzselte egész szemhéját és a szemöldét
gőze az égő szemnek, sistergett szeme gödre.
Mint amidőn a kovács nagy fejszét, szörnyű szekercét
edzeni márt a hideg vízbe, s hallatszik a vasnak
hangos jajszava, mert nagy erőt ettől kap a jó vas:
néki olajfadorong körül úgy sziszegett szeme akkor.”*

Devecseri Gábor fordítása – bár pontos – technikátörténeti szempontból mégsem megfelelő. De
éppen ez a meg-nem-felelés tanulságos. Homérosz ugyanis úgy mondja, hogy

*„εἰν ὕδατι ψυχρῇ βάπτῃ μεγάλη ἰάχοντα
φαρμάσσων”*
*„hideg vízbe mártja az erősen sistergőket,
így gyógyítván.”*

Az „edzeni”-vel fordított szó helyén Homérosznál „pharmasszón” áll; a „pharmasszó” első je-
lentése „gyógyszert alkalmaz”, „gyógykezel”, „gyógyszerel”; máig ilyen értelemben használa-
tos sok gyógyszerrel és gyógyszereléssel összefüggő szóban és szóösszetételben, mint pl.
farmakológia, farmakón stb. Második jelentése „megbabonáz”, „megboszorkányoz”, „bo-
londdá tesz”. És csak harmadlagosan, nagyon-nagyon áttételesen jelenti a vas megedzését.
„Úgy látszik – jegyzi meg az idézettel kapcsolatosan James D. Muhly –, hogy a vasat valamiféle
mágikus módon kezelték, farmakonokkal azaz gyógyszerekkel.”¹⁴

De megjegyezzük Muhly az angol fordításban egy másik önkéntelen modernizálást is, ami a ma-
gyarban ugyanúgy megjelenik. Azt, hogy „nagy erőt ettől kap a jó vas”, Homérosz ugyanis úgy
mondja, hogy „A vasat ellenben ez [t. i. a hideg vízbe mártás] erőssé teszi.” Homéroszt – kom-
mentálja a fordításban hiányzó „ellenben”-t Muhly – mintha zavarná a felfedezés, hogy míg a
vízben a dolgok általában feloldódnak, a vas megkeményedik. Mindez arról árulkodik, hogy

az *Odiüsszeia* sorai olyan időkből származhatnak, amikor az acél edzése még alighogy megjelent görög földön, s új és meglehetősen misztikus volt még ez a mesterség”. De ismeri, s nem kevésbé titokzatos mesterségként, a vas edzését a *Kalevala* is:

*„Vert vasának híja van még, van valami hibája:
még nem forrt ki éles nyelve, acéljának nincsen szája!
Nem válhat a vas keménnyé, míg csak vízbe nem merítik.
Maga Ilmarinen mester meggondolja, mit tegyenek most:
szürke hamut szed halomba, langyos lúggá kevergeti,
fényes acél fürdőjének, vasedző varázsos víznek.
Nyelvével ízleli nyomban, kedve szerint kóstolgatja,
íze után így ítéli: »Ez még mindig nem jó nékem!
Ez nem edzi meg acéлом, vasam nem váltja keményre!«”*

Lát egy méhet:

*„Ilmarinen így szól hozzá: »Méhecském, könnyű kis ember!
Hozz nekem szárnyadon hímport, hordj a nyelved hegyén mézet
kilenc virágnak kelyhéből, hétféle fűnek hegyéről
vasat keményítő vízbe, acélt edző lúgos lébe!«
Mérges darázs, Hisz madara, kihallgatta, kikémlelte,
...
Zengve-zúgva odaszállott: hozta Hisz szörnyű szereit,
kígyónak kegyetlen mérgét, féregnek fekete nyálát,
hangyák csípős hányadékát, varangyok véres köpését.
Veti mind a vas vizébe, acélt edző lúgos lébe.”*

De ha a mesterséget magát varázsolás és titok övezte is, a terméke lassan mindennapossá vált. Homérosz korában, a Kr. e. 8–7. században a vas elterjedt szerte a görög világban. A fegyverek is egyre inkább vasból készültek, de jó acélkardokat nehéz volt készíteni, drágák voltak és ritkák, a nyeles fegyverek esetében pedig a kovácsolással-hajlítgatással alakítható vas a nyélre-erősítés egészen másféle formáit követelte meg, mint az önthető bronz.

Lassan, lépésenként hódított tehát teret a vas, de korántsem alakította át hirtelen még a haditechnikát sem. S amikor már általánossá vált, akkor is megőrződött a bronz tekintélye. A bronz a régi dicső időkre emlékeztetett, a hősök fegyverévé magasztosult. Az *Íliász*ban csupa bronz-fegyverrel küzdenek, és Homérosz költészete is kifogyhatatlan a dicséretükben.

De megmaradt a bronz az életben is: kultikus tárgyak, edények, szobrok, rangot és gazdagságot kifejező holmik készültek belőle. Még fejlődött is az öntéstechnika: ezidőtájt jut csúcsaira a viaszveszejtő módszer, amely legszebben hasznosítja a bronz lehetőségeit. Hősi és királyi rangot szerzett a vas korában a bronzöntés. Asszíriában, ahol az olcsó vas használata még hamarabb elterjedt, mint a görög világban, Szennakherib, a véreskezű király (Kr. e. 705–681) bronz-öntő-tudásával csakúgy dicsekedett, mint kegyetlen hadjárataival:

„Én Szennakherib, legelső minden királyok között, minden mesterség tudója, nagy rézszlopokat öntöttem, s amit énelőttem egyetlen király se tudott megtenni, oroszlánformájú kolossalakat, a maguk külön lábain állókat, kimerítvén tudásomat és bölcsességemet. Sokáig töprengtem, miként üssem nyélbe ezt a vállalkozást, gondolataim sugallata és szívem szándéka szerint. Rézbeöntött művet alkottam, művészi formára munkáltat. Isteni sugallatra öntőformát csináltam

agyagból óriási fák és pálmafák – a gazdagok fái – számára, és tizenkét oroszlanalaknak és 12 óriási bika alakú kolosszusnak. Azután rezet öntettem beléjük, mintha csak öntvén egyszerű fél shekelnyi darabokat, és így véghez vittem megalkotásukat.”

Királyok, kultuszok, katonák, előkelők fémje volt a bronz Kínában is, elsősorban a wangok, afféle erőszakos kiskirályok köré tömörült harcias arisztokrácia céljait és életét szolgálta. És amikor a Kr. e. I. évezred közepe táján – harmadik negyedében fölfedezték és kidolgozták a vasöntés technológiáját (amire Nyugaton csak úgy kétezer esztendővel később került sor), ez a valóban forradalmi eljárás is megmaradt (ellentétben a két évezreddel későbbi Európával) a Csou, a Csin, a Han dinasztiák – egyfajta grandiózus palotagazdaságok – szigorú ellenőrzése alatt. Hasonlóképpen összefonódtak a fémek a hatalommal a két nagy fémműves-kultúra, a nyugat-ázsiai és a kínai, távoli perifériáin is, a nyugat-szibériai és dél-orosz sztyeppéken csakúgy, mint Közép- és Nyugat-Európában. A bronz és később az acél itt ugyanúgy a harcias arisztokrácia megerősödését és önbecsülését szolgálta és fejezte ki, noha a fémművesség megteremtett egészen új foglalkozásokat és megerősített másokat, nem utolsósorban a kereskedőket. Csakhogy ezek beépültek a meglévő hatalmi rendbe. Amint Kovács Tibor írta a magyarországi bronzkorról szóló kitűnő kis könyvében:

„egyik oldalról gazdasági, meggazdagodási céllal, a másik részről ’politikai meggondolásból’ (részvétel a hatalomban) a törzsi arisztokrácia és a megerősödött iparos-kereskedő réteg ’ke-re-ste és meg is találta’ a kapcsolatot egymással. A belső egyensúly a hatalom és a termelés hasznának közös birtoklására épült.”¹⁵

Ugyanez a belső egyensúly stabilizálta és fékezte le a fémművesség fejlődését – ha persze sokkal magasabb szinten is – a nagy kulturális-civilizációs centrumokban. Meg kellett bomlani ennek a belső egyensúlynak ahhoz, hogy a vas valóban hozzájuthassék a benne rejlő lehetőségekhez. S ezt a maga módján a vas is segítette. A vas ugyanis – ellentétben a bronzsal – nem feltétlenül kötődött a nagy hatalmi központokhoz, az uralkodókhoz és a hadakozáshoz. Vasércet sokfelé lehet találni, s a föld szép vörös elszíneződése el is árulja jelenlétüket. Amint a Kalevala mondja:

*„Rejtőzött a vad riadtan, megbújván magát mentette,
bújt lengő lápok ölébe, csermelyek csorgó vizébe,
mély mocsarak iszapjába, hatalmas hegyek hátára,
hol hószínű hatyú fészkel, vadlúd költi kis libáit.*

...

*vas rozsdája ott virágzott, acél érce ott tarkállott,
hol a földet farkas lába, medve mancsa nyomta mélyre.”*

Amint aztán a feldolgozás módszerei elterjedtek, az olcsó vaseszközök átalakították lassan a mindennapi életet: a földművelést, a fa-munkákat, a mesterségeket. Nem utolsósorban pedig készült egy csomó új vaseszköz magának a vasnak, illetőleg a vaseszközöknek a megmunkálásához: kalapácsok, ollók, lyukasztók, reszelők stb.: a vasművesség így mintegy önnön fejlődését lendítette meg, katalizálta.

Ez a fejlődés persze nemcsak olcsó vaseszközök elterjedését segítette, hanem a fegyverkezést is. Hogy milyen félelmes hatású volt a vas elterjedése a haditechnikában, azt jól érzékelteti egy középkori krónika. „Dadogó” Notker Sankt Gallen-i szerzetes így írja le – mintegy száz év távlatából már némiképp legendává alakultan, de talán épp ezért nagyon jellemzően – Nagy Károly hódításainak kezdetét:

Ha úgy látod, hogy a mezőn annyi a vas, mint a kelő vetés a szántóföldön, és hogy a Pó és a Ticinó vastól feketéllő tengernyi hullámaikkal a város falaira zúdulnak, akkor várható, hogy Károly az, aki érkezik. És ekkor feltűnt maga a vasércből való Károly, fején vassisakkal, karján vaspántokkal, vaspáncélban, amely befedte vasércből való mellét és széles vállát, baljában magasra emelt vaslándzsa, mert jobbját mindig győzhetetlen kardján nyugtatta, vaspikkelyek oltalmazták combja külső oldalát, mely másoknál, hogy könnyebben szállhassanak lóra, páncél nélkül maradt. Szóljak-e még vas lábvértjeiről, amelyek az egész seregben vasból készültek? Pajzsán vason kívül semmi más nem volt látható. Paripájának heves vére és színe úgyszintén a vásra emlékeztetett. Hasonló volt a fegyverzetük mindazoknak, akik előtte haladtak, mindenkinek, aki két oldalról körülvette, és mindnek, aki követte. Vassal voltak tele a mezők és az utak. A vas visszaverte a nap sugarait, a merev vasnak fejezte ki hódolatát a félelemtől vasnál is merevebbre vált nép. A város polgárainak rémült kiáltása hangzott: Ó vas! Jaj nekünk, vas!

A vas fejlődésében elvált egymástól az életet segítő szerep az ölést segítőtől. A *Kalevala* kilencedik éneke, amelyik a vas születését meséli el, erről is részletesen szól. Idézzük most az erdélyi Nagy Kálmán fordításából: Gyúrta Ilmarinen, a kovács a nagy tűzben a vasat, mintha rozslisztésztá volna, Megszólal a vas a szörnyű tűzben:

*„Ó, te kovács, Ilmarinen!
Vegyél ki már engem innen,
veres tűz veszedelméből!
Mondja kovács Ilmarinen:
Ha kivennélek a tűzből,
gondolom, gonoszra válnál,
megvagdosnád testvéredet,
megszúrnád anyád szülöttét.
Megesküszik a szegény vas
akkor erős esküvéssel
tűzhelyére, üllőjére,
kalapácsra, ráverőre;
mind azt mondja, mondogatja,
száját ilyen szóra nyitja;
Fát is találok faragni,
kiharapni kő közepét,
nem vágom meg testvéremet,
nem szúrom anyám szülöttét.
Jobb lesz nekem mégis-mégis,
érdemesebb éldegélnem,
hogyha jóbarátképp járok,
kézi fegyverül kerülök,
mintsem magam vérét marnom,
rokonomat megrontanom.”*

De amikor Ilmarinen, megtalálva a jó acélalakító víz titkát, belemártja a vasat:

*„Gonosz acél lett belőle,
veszett vassá elváltozott,
elfelejti esküvését,
mint a kutya, tisztességét;*

*gonoszul a bátyját bántja,
rokonát szájjal szakítja,
vére folyását okozza,
meleg vérét megindítja.
Sutból az öreg morogja,
feje reng, szakállá szólal:
»Tudom már a vas születését,
értem az acél mivoltát.
Ez vagy te, ez vagy, szegény vas,
Rossz salak vagy te szegény vas,
átokverte rossz acél vagy!
Bizony-bizony így fogantál,
így hajlottál hitványságra,
bizony nagyon nagyra nőttél.«*”