



MISKOLCI EGYETEM

**MŰSZAKI FÖLD- ÉS
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI
KAR**

RITKAFÖLDFÉMEK KITERMELÉSÉNEK KÖRNYEZETI ÁRA A TELJES ÉLETCIKLUSMENTÉN

Dr. Mádai Ferenc, Dr. Kristály Ferenc

Miskolci Egyetem, NyersanyagkutatóFöldtudományi Intézet

MISKOLCI
EGYETEM

MISKOLCI
EGYETEM

MFK

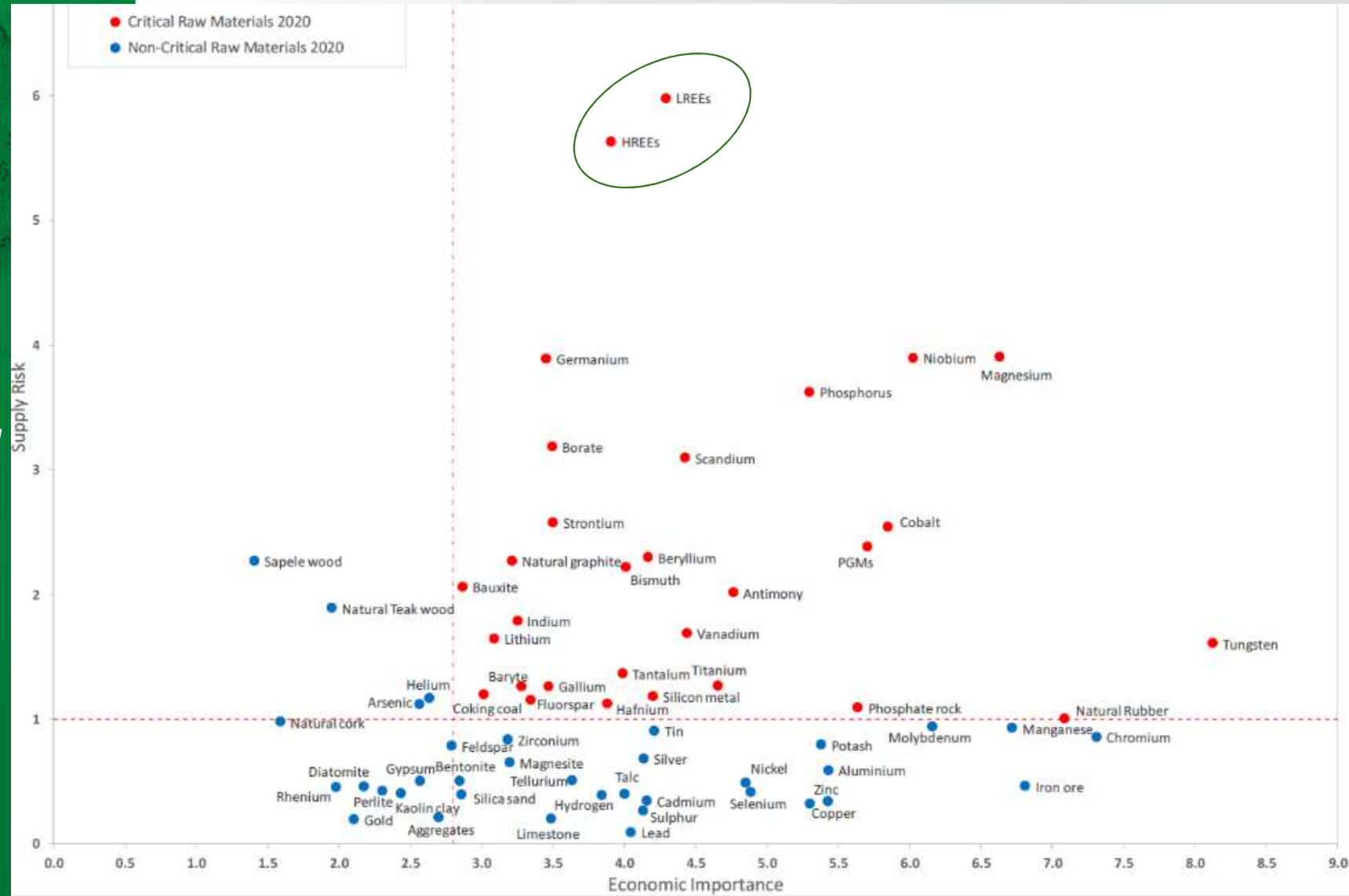
Ritkaföldfémek

- Szükséglet
- Elérhetőség
- Kinyerhetőség
- Újrahasznosítás

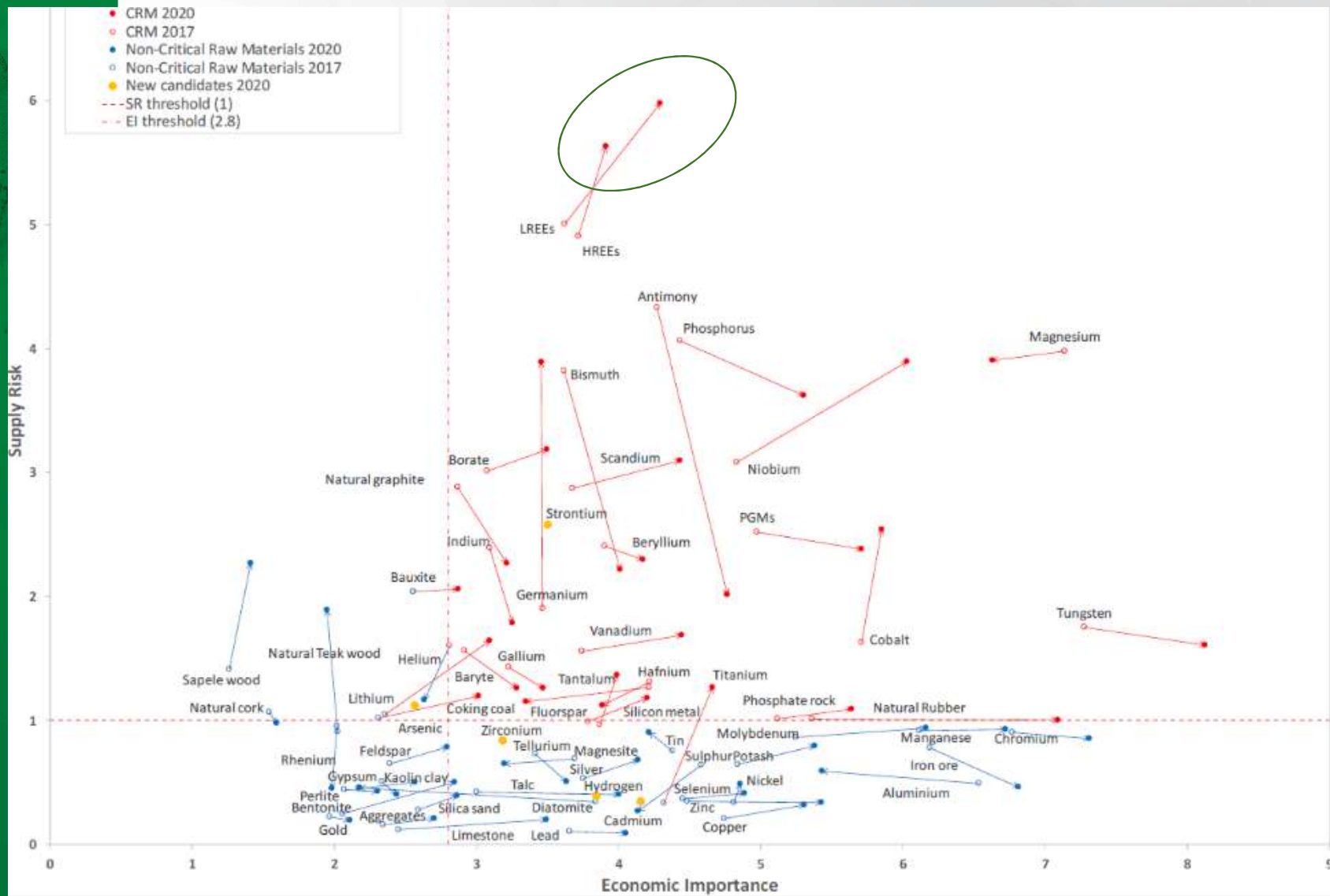
REE = RFF



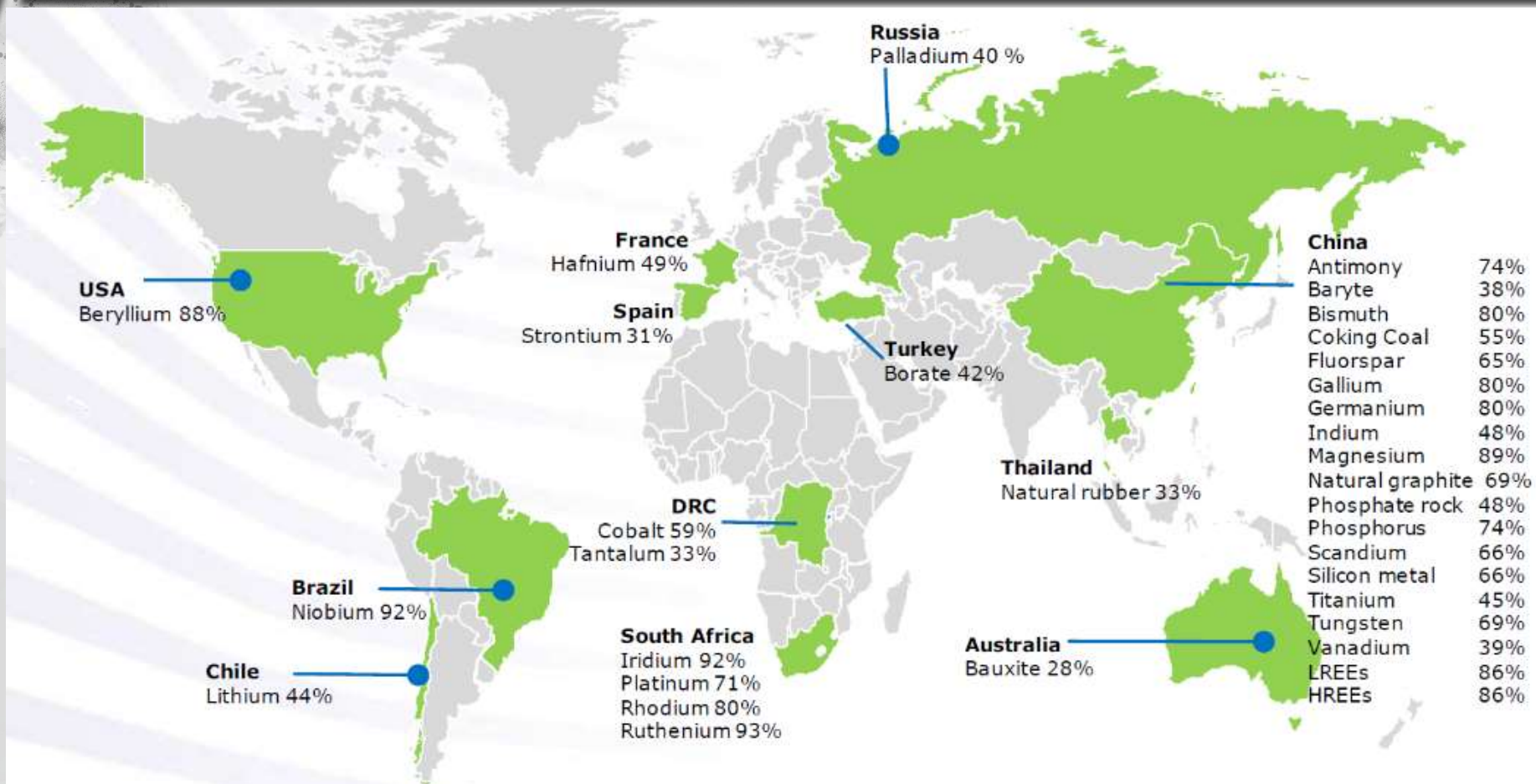
Kritikus
nyersanyagok
az EU számára



Kritikus
nyersanyagok
az EU számára



Kritikus nyersanyagok



European Commission, Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020)

Kritikus nyersanyagok

- pl. importfüggőség



63% of the world's cobalt, used in batteries, is extracted in the Democratic Republic of Congo, while 60% is refined in China

97% of EU's magnesium supply is sourced from China

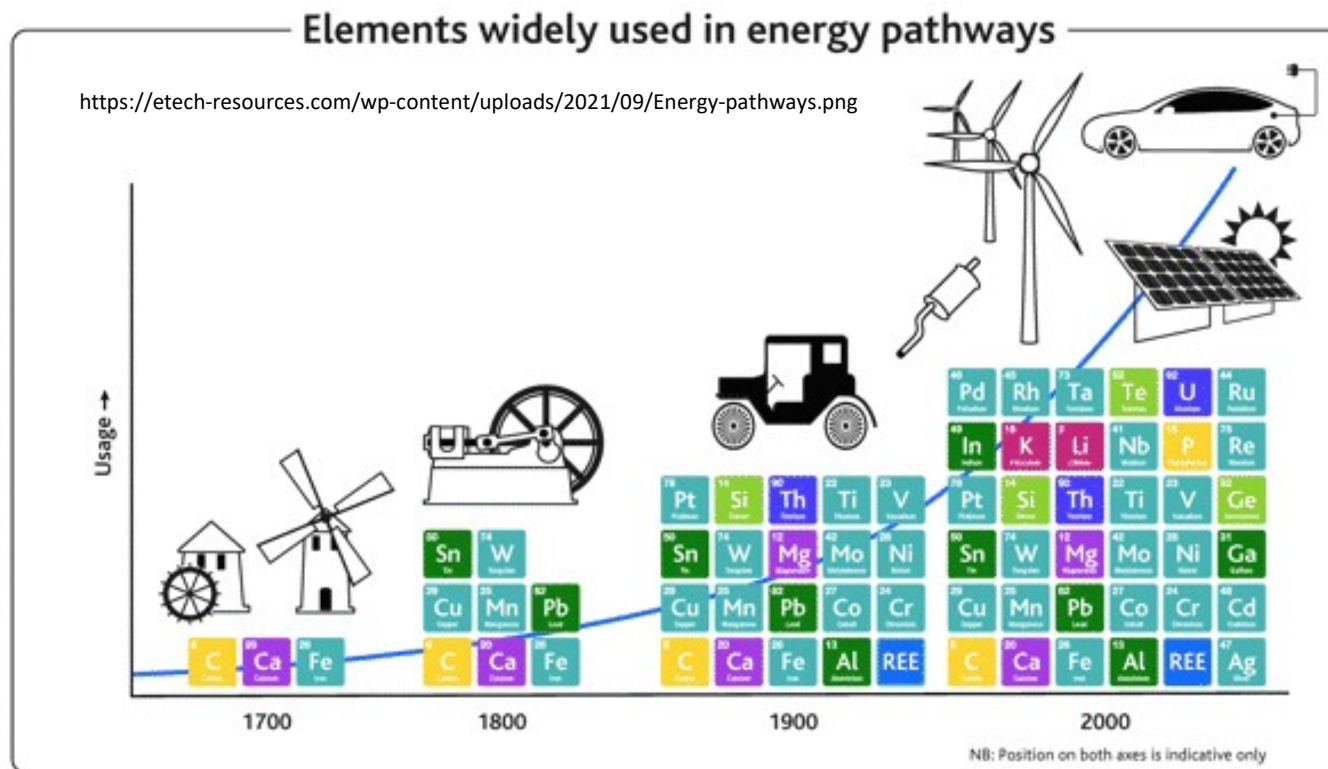
100% of the rare earths used for permanent magnets globally are refined in China

South Africa provides 71% of the EU's needs for platinum group metals

Türkiye provides 98% of the EU's supply of borate

Ritkafémek

- Ásványi előfordulásuk ritka, és gazdaságosan kinyerhető telepeik is ritkák



Ritkaföldfémek – RFF

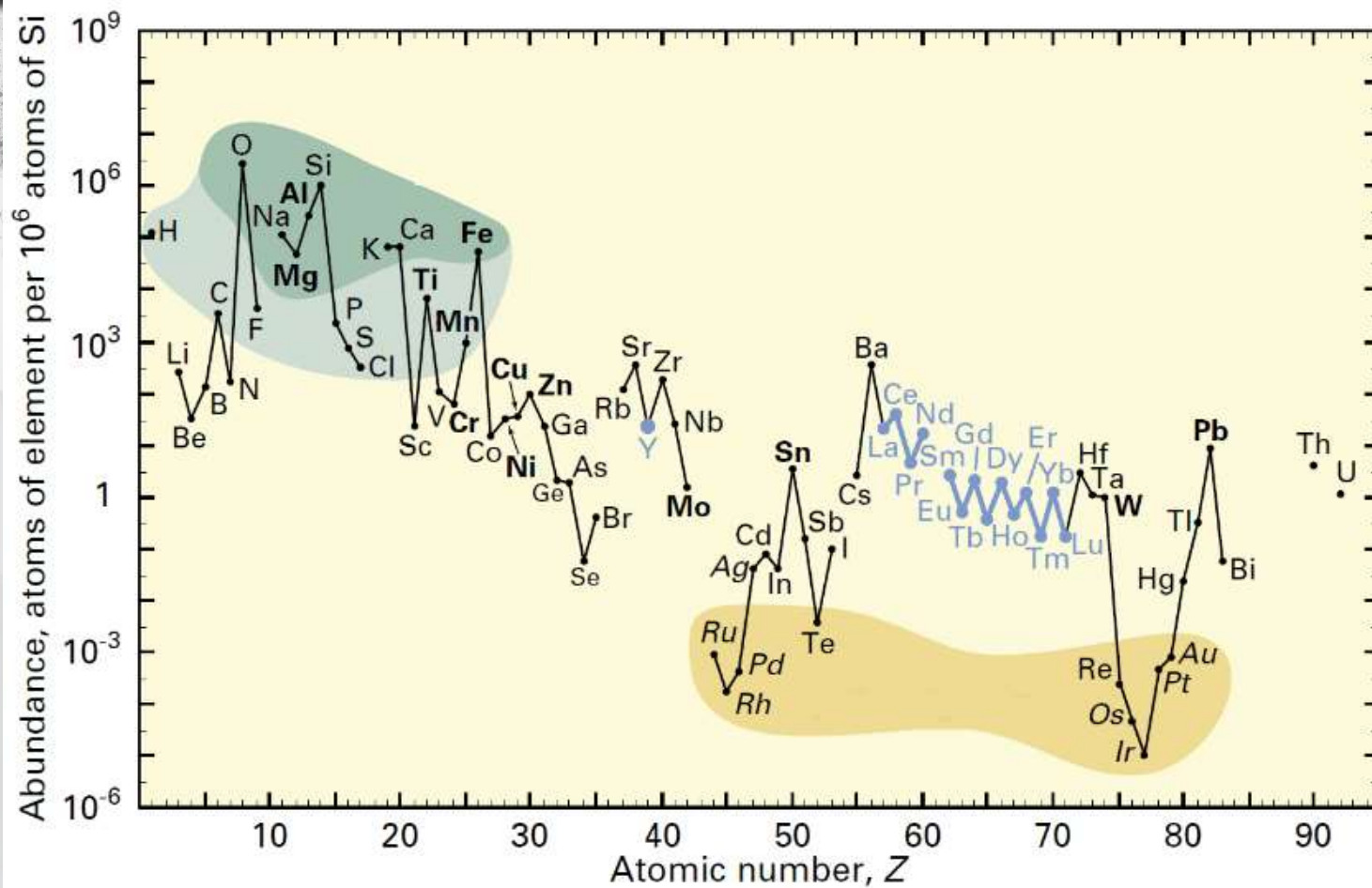
- Kevés ásványi telepük ismert, sajátos elektrokémiai tulajdonságok

ELEMENT GROUPS

- Non Metals
- Alkali Metals
- Halogens
- Alkali Earth Metals
- Noble Gases
- Transition Metals
- Metals
- Lanthanides
- Metalloids
- Actinides

1 H Hydrogen	IIA																2 He Helium		
3 Li Lithium	4 Be Beryllium																	10 Ne Neon	
11 Na Sodium	12 Mg Magnesium																	17 Cl Chlorine	18 Ar Argon
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titanium	23 V Vanadium	24 Cr Chromium	25 Mn Manganese	26 Fe Iron	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Copper	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Selenium	35 Br Bromine	36 Kr Krypton		
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdenum	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silver	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Tin	51 Sb Antimony	52 Te Tellurium	53 I Iodine	54 Xe Xenon		
55 Cs Cesium	56 Ba Barium	57-71 Lant.	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantalum	74 W Tungsten	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platinum	79 Au Gold	80 Hg Mercury	81 Tl Thallium	82 Pb Lead	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon		
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103 Act.	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tennessine	118 Og Oganesson		
Lanthanides		57 La Lanthanum	58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium			
Actinides		89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium			

Miért ritkák?



RFF forrása

■ ásványok

pl. La-tartamú ásványra 162 találat



Bastnäsite-(La) réztartalomtól halványkék aggregátuma. Képszélesség 2,3mm

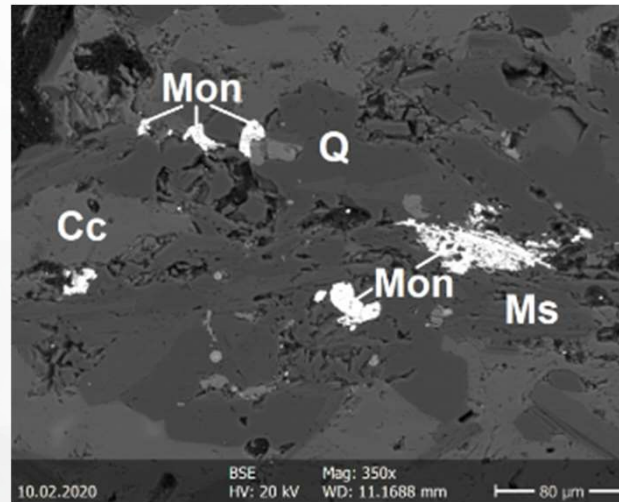
%La	Ásvány neve	Kémiai képlet
1 64,3	<u>Hydroxylbastnasite-(La)</u>	$\text{La}(\text{CO}_3)(\text{OH})$
2 63,8	<u>Fluocerite-(La)</u>	$(\text{La,Ce})\text{F}_3$
3 63,7	<u>Bastnasite-(La)</u>	$\text{La}(\text{CO}_3)\text{F}$
4 41,3	<u>Rhabdophane-(La)</u>	$(\text{La,Ce})\text{PO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})$
5 41,1	<u>Tornebohmit-(La)</u>	$(\text{La,Ce})_2\text{Al}(\text{SiO}_4)_2(\text{OH})$
6 38,9	<u>Wakefieldite-(La) !</u>	LaVO_4
7 36,5	<u>Haleniusite-(La) !</u>	$(\text{La,Ce})\text{OF}$
8 34,6	<u>Lanthanite-(La)</u>	$(\text{La,Ce})_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8(\text{H}_2\text{O})$
9 32,4	<u>Cerite-(La) !</u>	$(\text{La,Ce,Ca})_9(\text{Mg,Fe}^{+++})(\text{SiO}_4)_6[\text{SiO}_3(\text{OH})](\text{OH})_3$
10 29,8	<u>Kozoite-(La) !</u>	$\text{La}(\text{CO}_3)(\text{OH})$
11 29	<u>Monazite-(La)</u>	$(\text{La,Ce,Nd})\text{PO}_4$
12 27,5	<u>Isolueshite !</u>	$(\text{Na,La,Ca})(\text{Nb,Ti})\text{O}_3$
13 27,3	<u>Ancylite-(La) !</u>	$\text{Sr}(\text{La,Ce})(\text{CO}_3)_2(\text{OH}) \cdot (\text{H}_2\text{O})$
14 24	<u>Belovite-(La) !</u>	$(\text{Sr,La,Ce,Ca})_5(\text{PO}_4)_3(\text{F,OH})$
15 23,4	<u>Paratooite-(La) !</u>	$\text{REE}_3(\text{Ca,Sr})_2\text{NaCu}(\text{CO}_3)_8$
16 23,3	<u>Parisite-(Ce)</u>	$\text{Ca}(\text{Ce,La})_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$
17 20,3	<u>Florencite-(La)</u>	$(\text{La,Ce})\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6$
18 20,3	<u>Kozoite-(Nd) !</u>	$(\text{Nd,La,Sm,Pr})(\text{CO}_3)(\text{OH})$
19 20	<u>Tritomite-(Y)</u>	$(\text{Y,Ca,La,Fe}^{++})_5(\text{Si,B,Al})_3(\text{O,OH,F})_{13}(?)$
20 20	<u>Parisite-(Nd)</u>	$\text{Ca}(\text{Nd,Ce,La})_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$

RFF forrása

idegen elemek beépülése



Monacit-(Ce). A kristály mérete 1,81mm

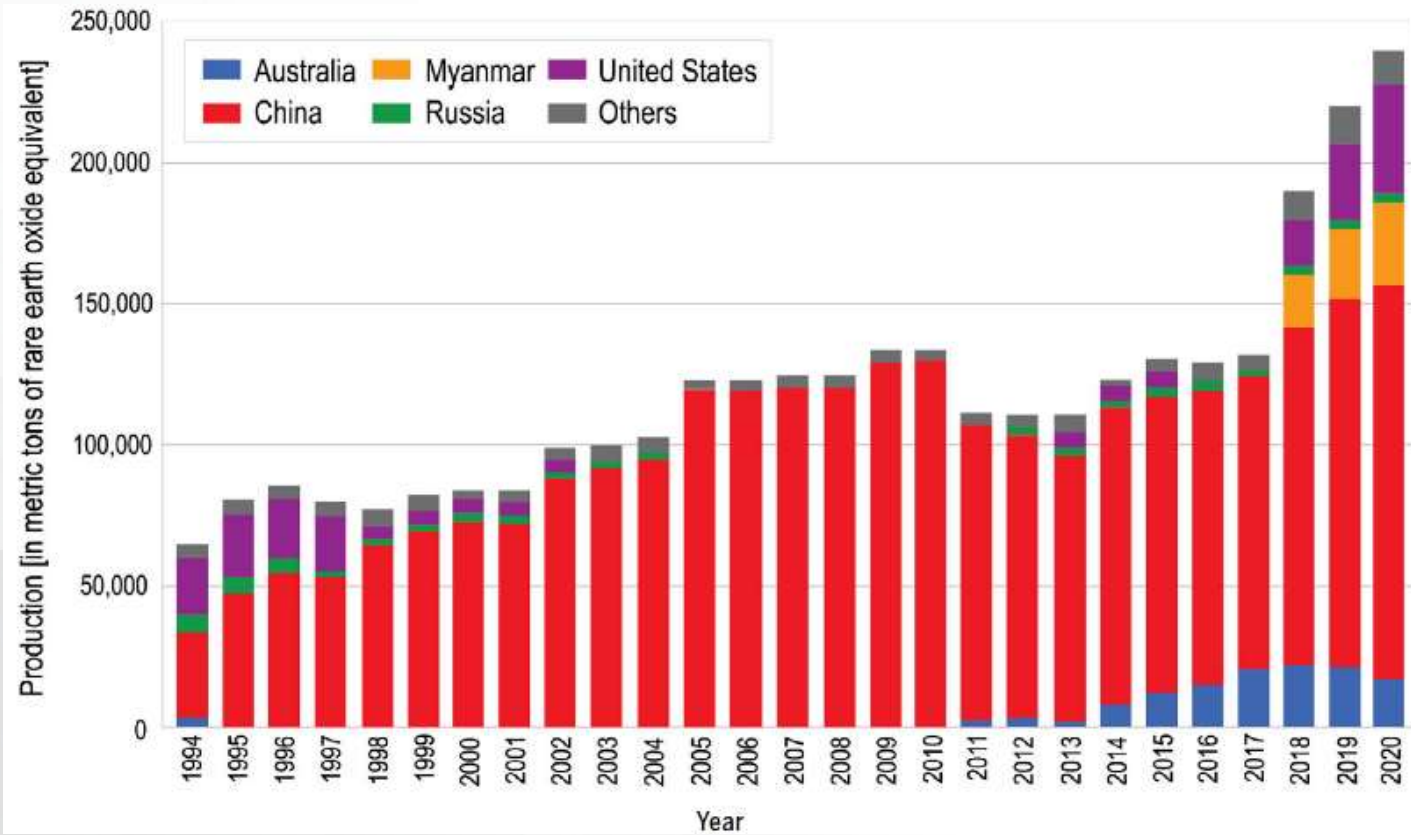
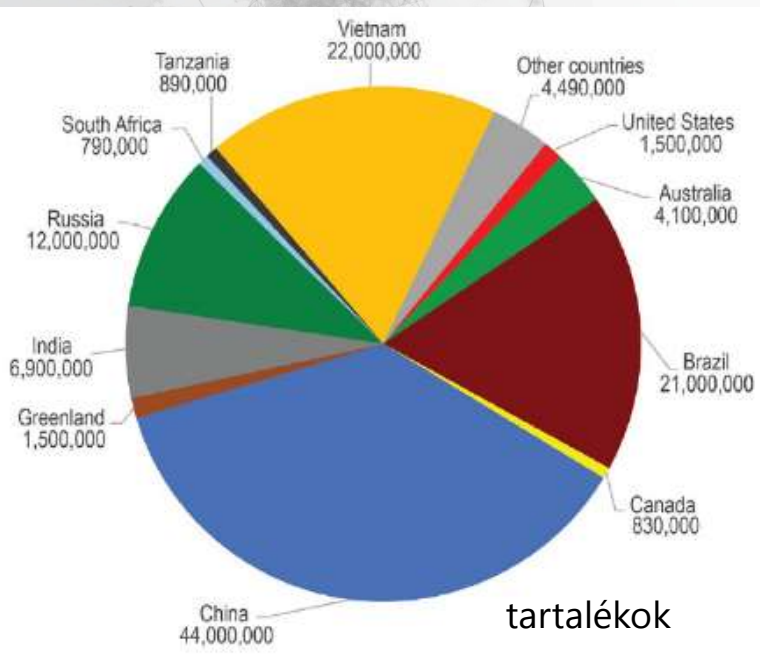


F	2.66
P ₂ O ₅	34.88
CaO	0.43
La ₂ O ₃	20.24
Ce ₂ O ₃	34.34
Nd ₂ O ₃	6.53
Gd ₂ O ₃	-
Dy ₂ O ₃	-
ThO₂	0.92

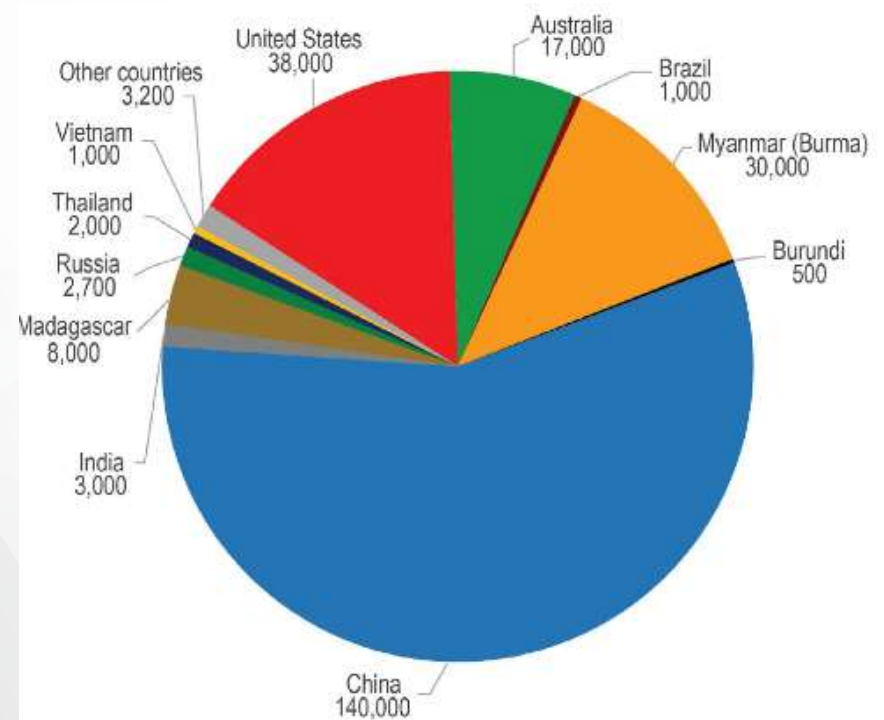
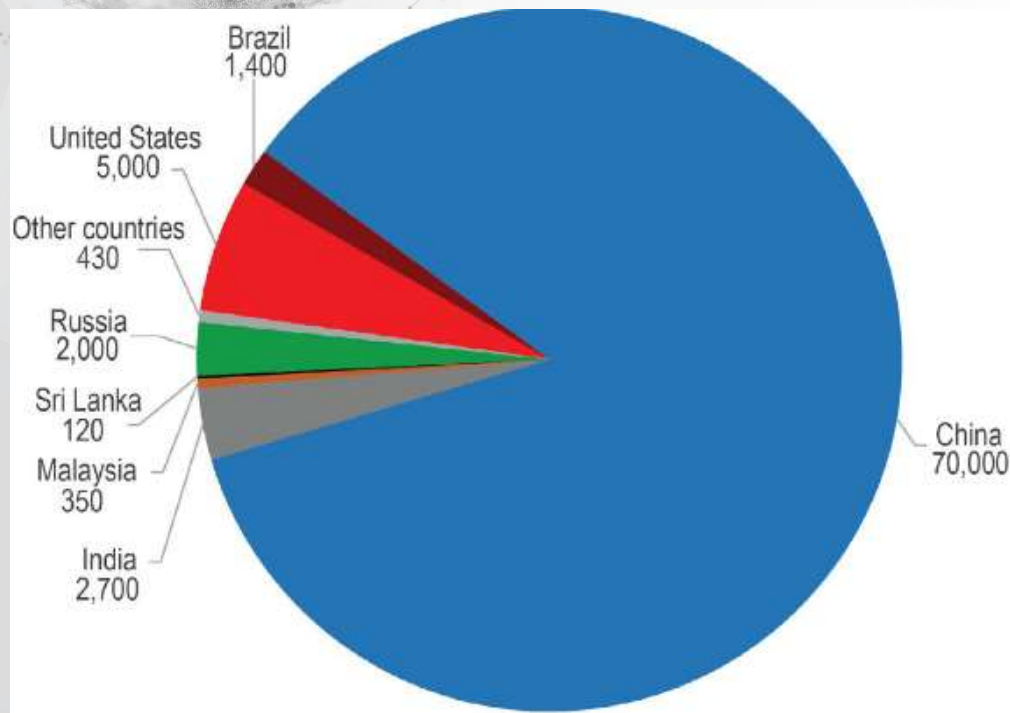
TABLE 2. Th⁴⁺ substitution mechanisms speculated for natural monazite

Substitution	Reference
Th ⁴⁺ +Si ⁴⁺ → REE ³⁺ +P ⁵⁺	Burt (1989); Kartashov et al. (2006); Panda et al. (2003)
Th ⁴⁺ +Ca ²⁺ → 2REE ³⁺	Mohr (1984); Bea (1996); Zhu and O'Nions (1999a); Kartashov et al. (2006); Panda et al. (2003)
Coupled (Th,U) ⁴⁺ +Ca ²⁺ → 2REE ³⁺ and (Th,U) ⁴⁺ +Si ⁴⁺ → REE ³⁺ +P ⁵⁺	Gramaccioli and Segalstad (1978); Van Emden et al. (1997b); Kartashov et al. (2006)
Coupled (Th,U) ⁴⁺ +Si ⁴⁺ → REE ³⁺ +P ⁵⁺ (Th,U) ⁴⁺ +Ca ²⁺ → 2REE ³⁺	Förster (1998); Zhu and O'Nions (1999a); Dawood and El-Naby (2007)
2(Th,U) ⁴⁺ + Si ⁴⁺ → Ca ²⁺ + 2P ⁵⁺ (rare in granites)	Förster (1998)
(Th _{1-x} Ca _{2+x}) ⁴⁺ +Si ⁴⁺ → REE ³⁺ +P ⁵⁺	Dana et al. (1951); Semenov (2001); Popova and Churin (2010)
3(Th,U) ⁴⁺ +vacancy → 4REE ³⁺	Podor (1994); Clavier et al. (2011)

Termelők



■ Trendek



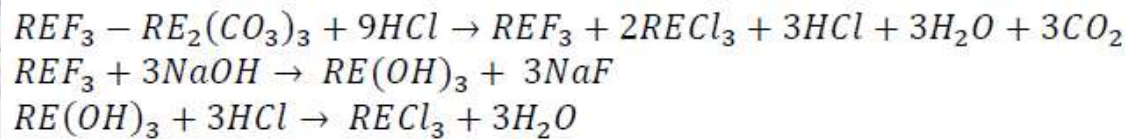
RFF kinyerése

Ásvány	Eljárás	RFF kihozatal (%)	megjegyzések	Alkalmazás
Bastnazit	1) Nem RFF karbonátok kioldása HCl-al 2) Maradék kalcinációja RFF-oxidokra	85-90	legrégebbi eljárás	n
	HNO ₃ vagy H ₂ SO ₄ feltárás	98	- kioldáshoz salétromsav - csapadékképzéshez kénsav	n
	1) 620 °C-os pörkölés 2) 30%-os HCl kioldás	változó	Fluoridokat nem oldja	n
	1) RFF-fluorid alkáló konverziója RFF-hidroxiddá 2) Kioldás HCl-al	változó	elősavazás lehetséges HCl-al	i
	1) H ₂ SO ₄ savas pörkölés 2) NaCl oldatos kioldás 3) Na kettős szulfátok kicsapatása	változó	kloridot eredményez, tovább finomító oldás szükséges	i
Monacit	Forró H ₂ SO ₄ -as feltárás	változó	Th kivonása szabályozható	n
	1) Forró 60-70%-os NaOH feltárás 2) Forróvízes öblítés 3) Savas tisztítás	98	Mn jelenléte gátolja a Ce kioldást	i
	1) Redukáló légkörben szulfiddá égetés CaCl ₂ és CaCO ₃ segítségével 2) Kioldás 3%-os HCl-al	89	Th nem oldódik ki	i
Kötött ion	(NH ₄) ₂ SO ₄ sós feltárás	80-90		i
	Kioldás tengervízzel	40		kut
	Tömény savas kioldás (pH<1)	teljes oldás		

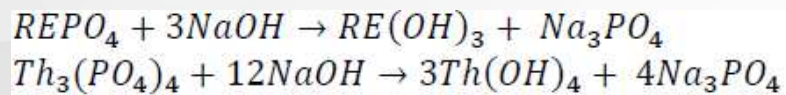
RFF kinyerése

■ Vegyi reakciók

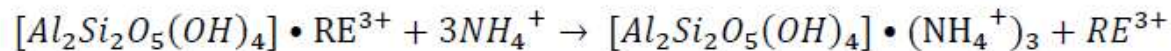
Bastnazit



Monacit



Kötött ion



Teleptípus szerint

Mineral sand
monazite 1:1



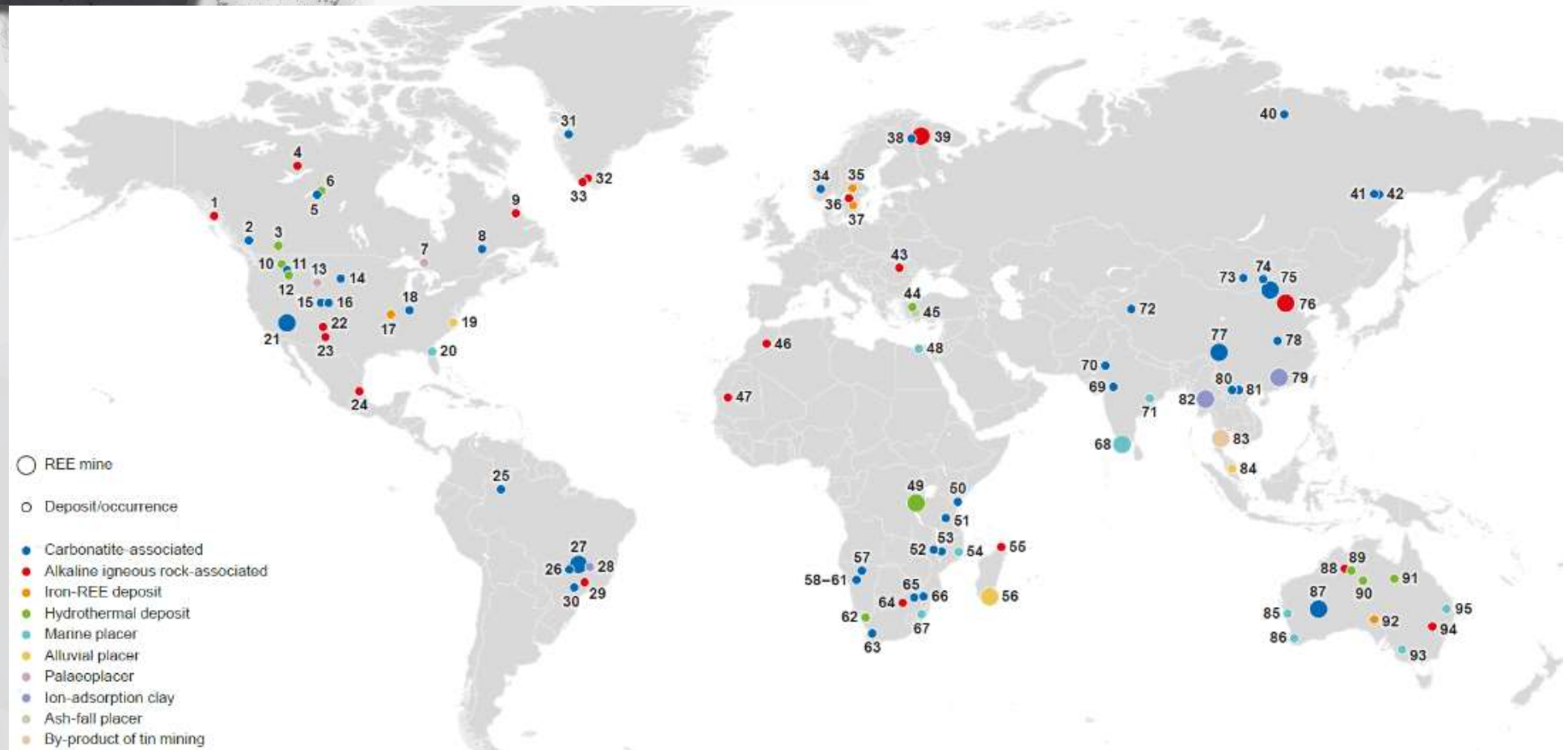
Hydrothermal
monazite 2:1



Carbonatite
monazite 20:1



RFF bányászat





BAYAN OBO
MINING DISTRICT
白云鄂博矿区

G210
DARHAN
MUMINGGAN
UNITED BANNER
达尔罕茂明
安联合旗

Google



Environmental Justice Atlas

[Home](#) [EJAtlas](#) [Featured Maps](#) [Login](#)



Bayan Obo Mining Area



Open-pit mine
Main Orebody

East Orebody

East Orebody

Tailings

Dumping site

Tailing pond
Brownfields

Railroad to Baotou (REE
reprocessing, industrial
manufacturing)

白云鄂博

DISTRICT MINIER
DE BAIYUN
白云鄂博矿区

S104

S210

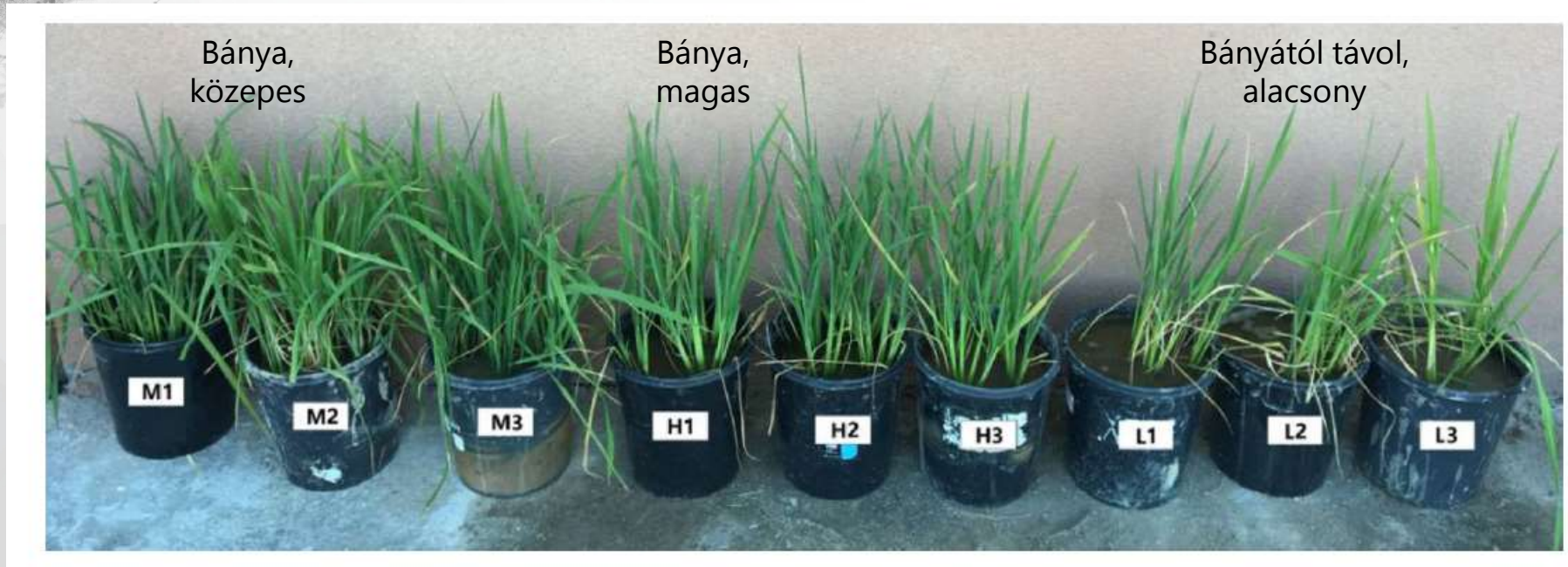
2km

077县道

Biológiai hatások

■ Növényekre

Tórium, urán? Radon?

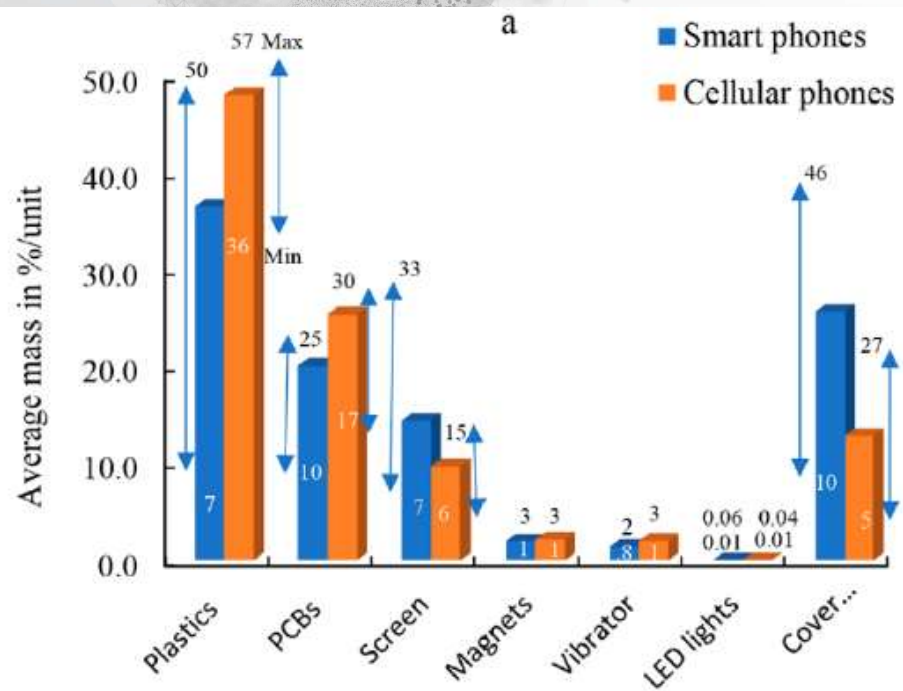


Biológiai hatások

■ Emberekre

	Férfi	bánya	referencia
Ag	27	2.32 ± 1.36	0.14 ± 0.031
Al	27	31.25 ± 4.68	22.8 ± 5.2
Ba	27	6.17 ± 0.68	6.2 ± 0.84
Cd	27	0.11 ± 0.023	0.046 ± 0.01
Co	27	0.075 ± 0.009	0.073 ± 0.015
Cr	25	2.97 ± 2.26	3.23 ± 0.53
Cu	27	10.24 ± 1.36	8.82 ± 0.51
Li	27	0.08 ± 0.013	0.07 ± 0.013
Mn	27	2.16 ± 0.34	1.37 ± 0.27
Ni	27	0.84 ± 0.22	0.41 ± 0.077
Pb	27	6.5 ± 1.39	2.56 ± 0.69
Tl	27	0.0045 ± 0.0006	0.0022 ± 0.0002
V	27	0.2 ± 0.018	0.15 ± 0.034
Cs	27	0.005 ± 0.0008	0.0036 ± 0.001
Ga	27	0.16 ± 0.016	0.15 ± 0.021
Rb	27	0.075 ± 0.01	0.058 ± 0.012
U	27	0.088 ± 0.017	0.18 ± 0.049
Bi	27	0.022 ± 0.0055	0.01 ± 0.0023
Mo	27	0.095 ± 0.013	0.071 ± 0.0079
As	27	0.18 ± 0.13	0.067 ± 0.013
Se	27	0.43 ± 0.051	0.52 ± 0.069
Ca	27	1882.65 ± 308.09	2460.79 ± 447.67
Fe	27	86.12 ± 15.02	66.21 ± 13.42
Mg	27	300.56 ± 41.99	313.99 ± 40.43
Zn	27	145.99 ± 30.71	157.19 ± 14.46

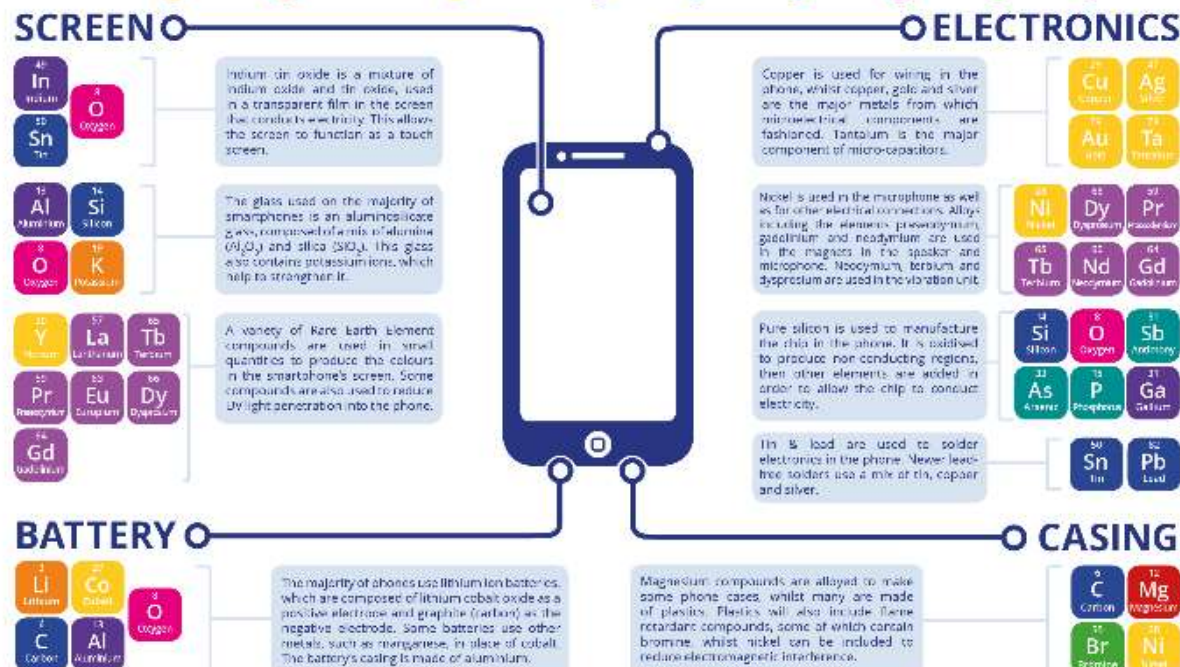
	Nő	bánya	referencia
Ag		0.61 ± 0.18	1.15 ± 0.39
Al		21.27 ± 5.40	23.58 ± 3.95
Ba		9.87 ± 0.72	9.13 ± 2.11
Cd		0.062 ± 0.014	0.11 ± 0.045
Co		0.49 ± 0.19	0.092 ± 0.018
Cr		2.41 ± 0.27	2.15 ± 0.44
Cu		9.07 ± 0.73	12.23 ± 2.84
Li		0.058 ± 0.0069	0.054 ± 0.0094
Mn		1.28 ± 0.16	1.03 ± 0.12
Ni		0.93 ± 0.19	0.62 ± 0.12
Pb		2.36 ± 0.37	3.25 ± 0.77
Tl		0.0011 ± 0.00016	0.0025 ± 0.00046
V		0.17 ± 0.015	0.17 ± 0.02054
Cs		0.0029 ± 0.00040	0.0028 ± 0.00038
Ga		0.21 ± 0.015	0.21 ± 0.043
Rb		0.043 ± 0.0061	0.046 ± 0.0046
U		0.41 ± 0.051	0.12 ± 0.033
Bi		0.24 ± 0.20	0.030 ± 0.0091
Mo		0.065 ± 0.0067	0.061 ± 0.01
As		0.045 ± 0.011	0.12 ± 0.037
Se		0.32 ± 0.057	0.24 ± 0.057
Ca		6036.86 ± 572.99	3894.39 ± 1021.88
Fe		62.82 ± 10.26	52.32 ± 8.17
Mg		745.43 ± 71.39	447.40 ± 104.16
Zn		281.67 ± 41.70	130.97 ± 15.98



Singh, N., Duan, H., Yin, F., Song, Q. and Li, J., 2018. Characterizing the materials composition and recovery potential from waste mobile phones: a comparative evaluation of cellular and smart phones. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(10), pp.13016-13024.

ELEMENTS OF A SMARTPHONE

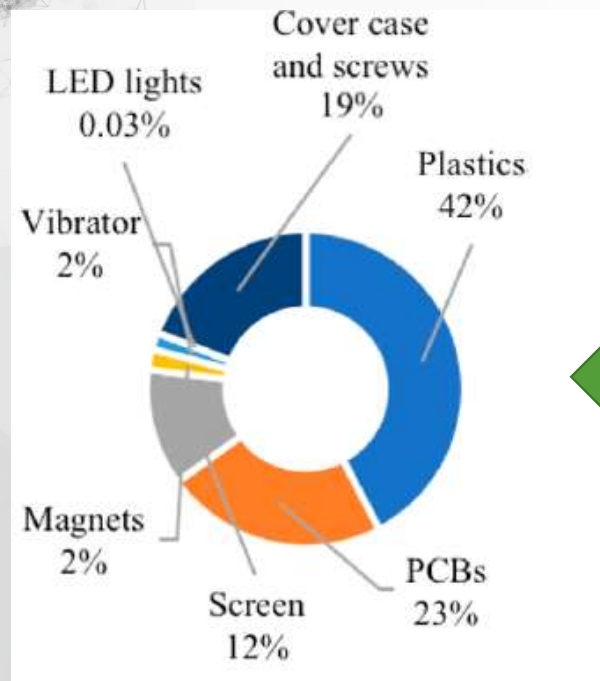
ELEMENTS COLOUR KEY: ■ ALKALI METAL ■ ALKALI EARTH METAL ■ TRANSITION METAL ■ GROUP 13 ■ GROUP 14 ■ GROUP 15 ■ GROUP 16 ■ HALOGEN ■ LANTHANIDE



Körforgásos gazdaság

A körforgásos gazdaság modellje:
kevesebb nyersanyag, kevesebb hulladék, alacsonyabb kibocsátás

https://www.europarl.europa.eu/resources/library/images/20230222PHT76212/20230222PHT76212_original.jpg



Singh, N., Duan, H., Yin, F., Song, Q. and Li, J., 2018. Characterizing the materials composition and recovery potential from waste mobile phones: a comparative evaluation of cellular and smart phones. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(10), pp.13016-13024.

Urban mining

■ Nyersanyag és hulladékgazdálkodás



http://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/files/files/monografia_7.pdf

CriticEL MONOGRÁFIA SZOROZAT 7.



Elektronikai hulladékok előkészítése a stratégiai elemek visszanyerése érdekében

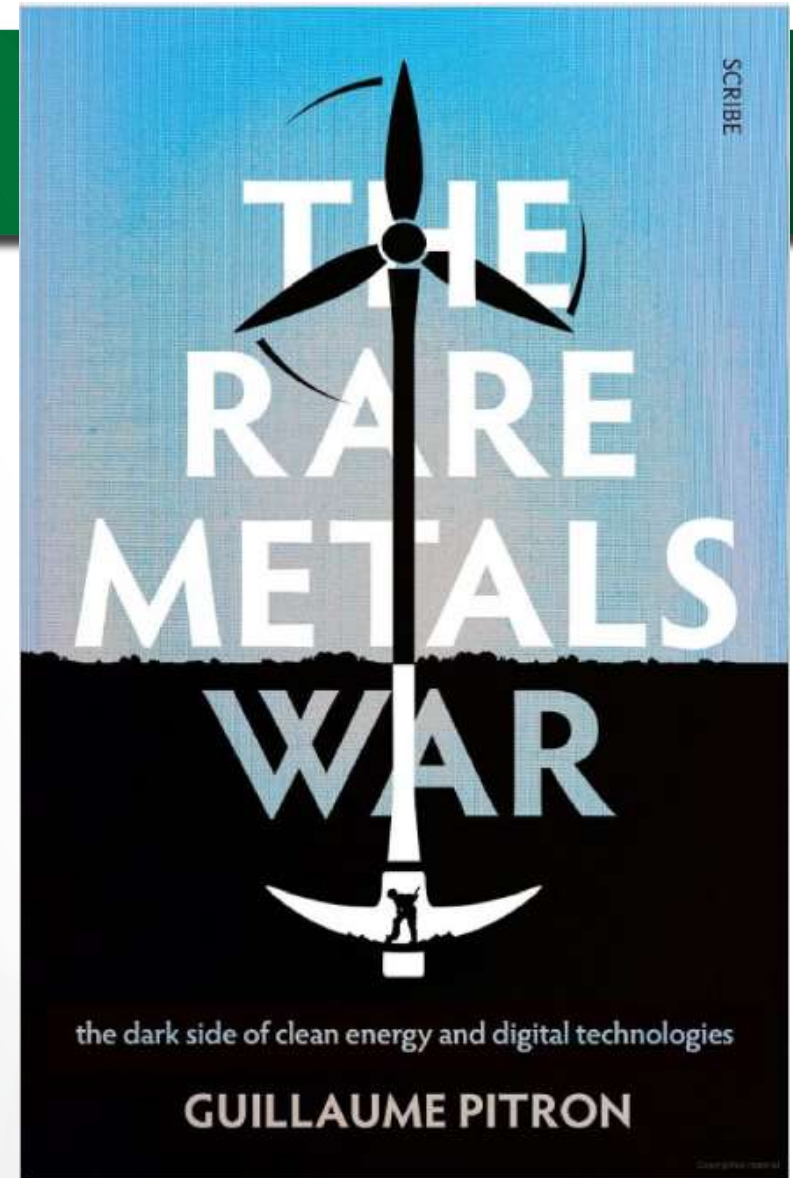
MISKOLCI
EGYETEM

MFK

Green and smart?

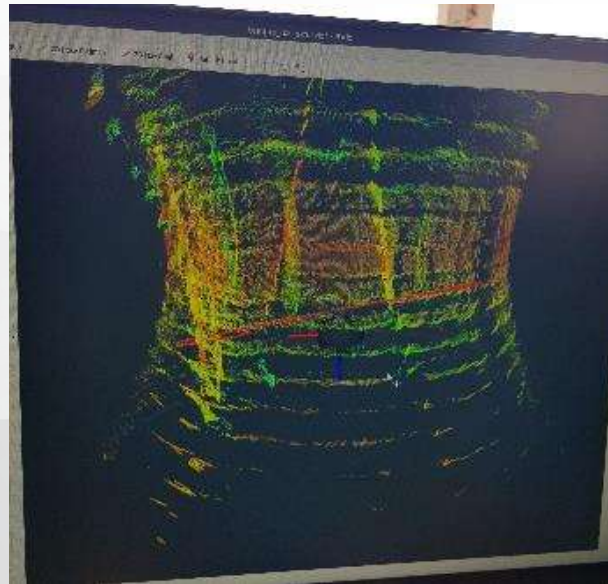
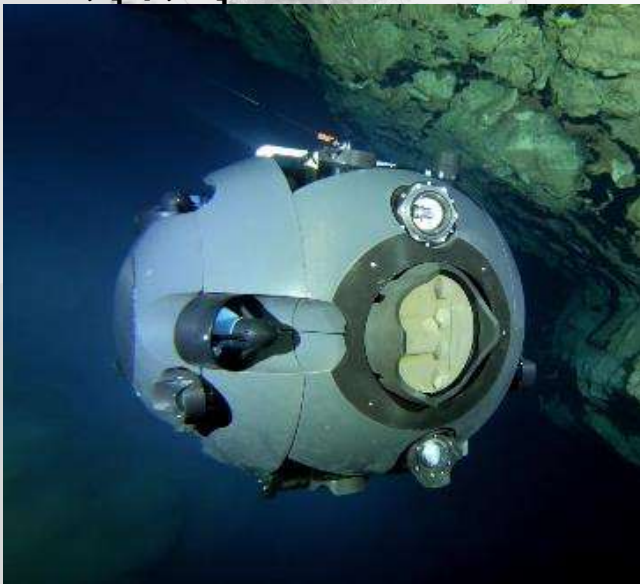


https://file.ejatlaz.org/img/Conflict/5130/Weikuang_Dam_pollution_desert_pipe.jpg



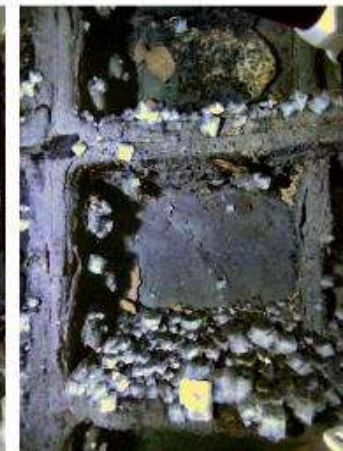
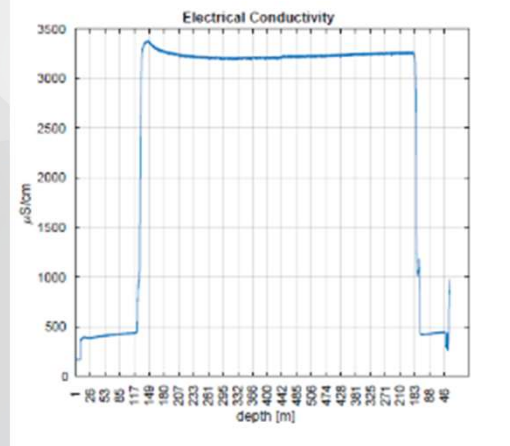
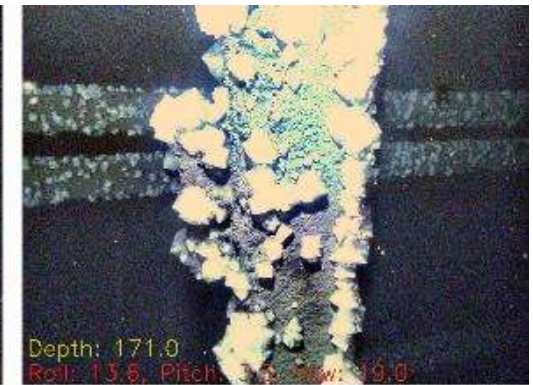
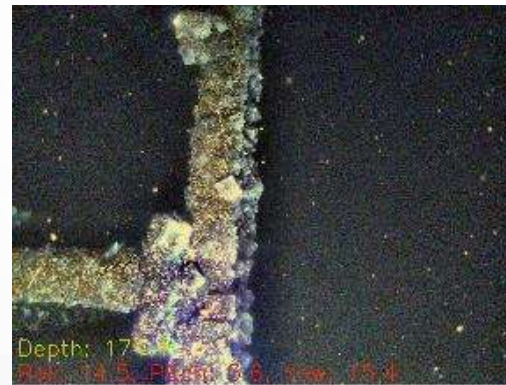
Érckutatási fejlesztések

Az UNEXUP Projekt az UNEXMIN projekt során kifejlesztett robotikai platform továbbfejlesztését és robotikai felmérések piacra juttatását tűzte ki célul.



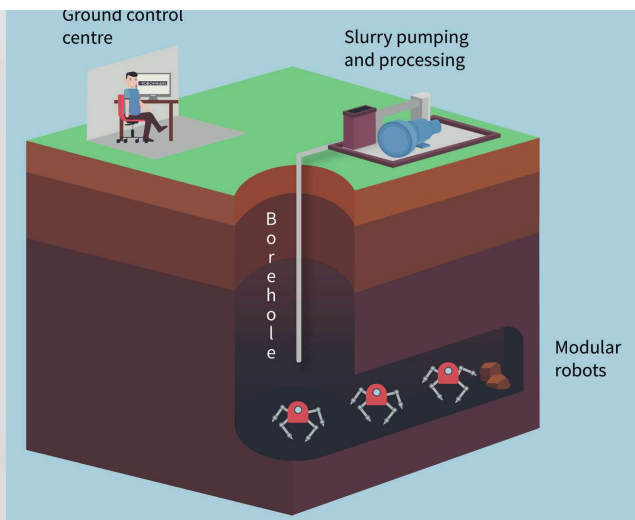
Érckutatási fejlesztések

Aknaszlatina,
Ukrajna



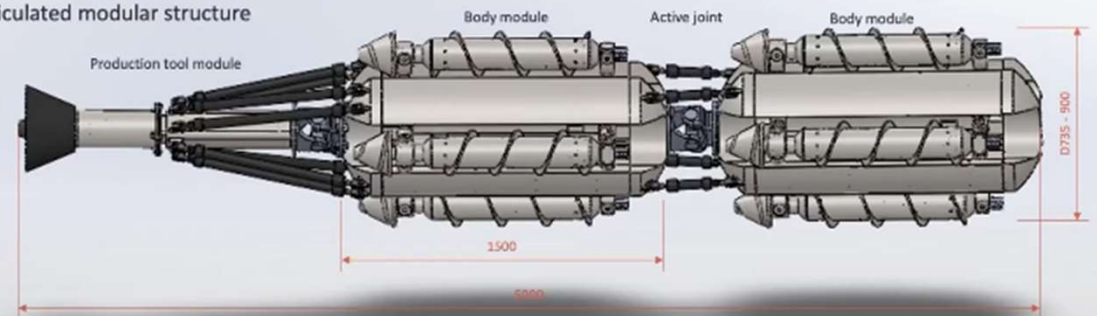
Ércbányászati fejlesztések

ROBO MINERS



Robominer Prototype

- Fully autonomous
- Screw-leg locomotion (bio-inspiration - mudskipper)
- Independent specialized and universal modules
- Articulated modular structure



- Capable to self-assemble and self-configure
- Capable to excavate a tunnel large enough for itself to any direction
- Capable to move cuttings to transport system
- Capable to follow ore veins



MISKOLCI
EGYETEM



MISKOLCI EGYETEM

MŰSZAKI FÖLD- ÉS
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI
KAR

JÓ SZERENCSEÁT!