

Kritické a strategické nerastné suroviny – kľúč k moderným technológiám a klimaticky neutrálnej ekonomike



Peter Koděra

Katedra mineralógie, petrológie a ložiskovej geológie
PriFUK, Bratislava

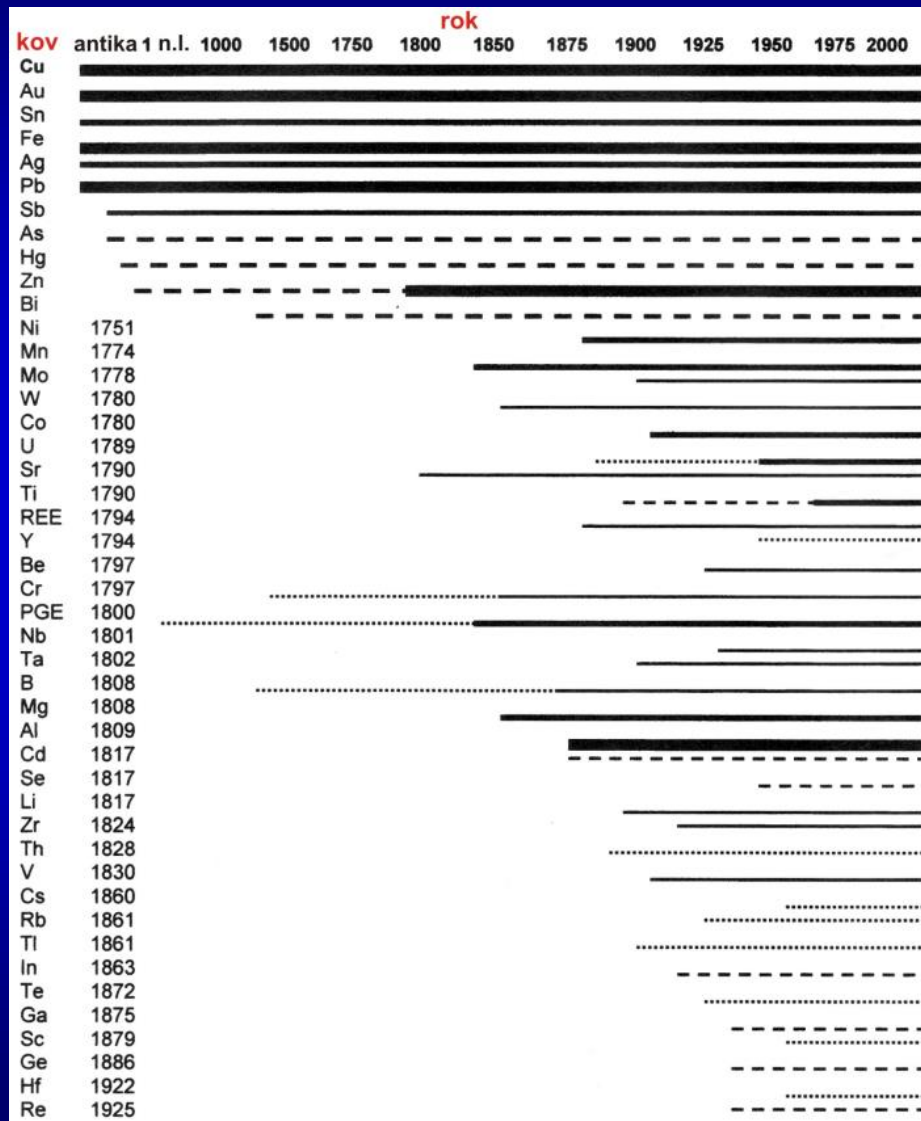


Prehľad prednášky

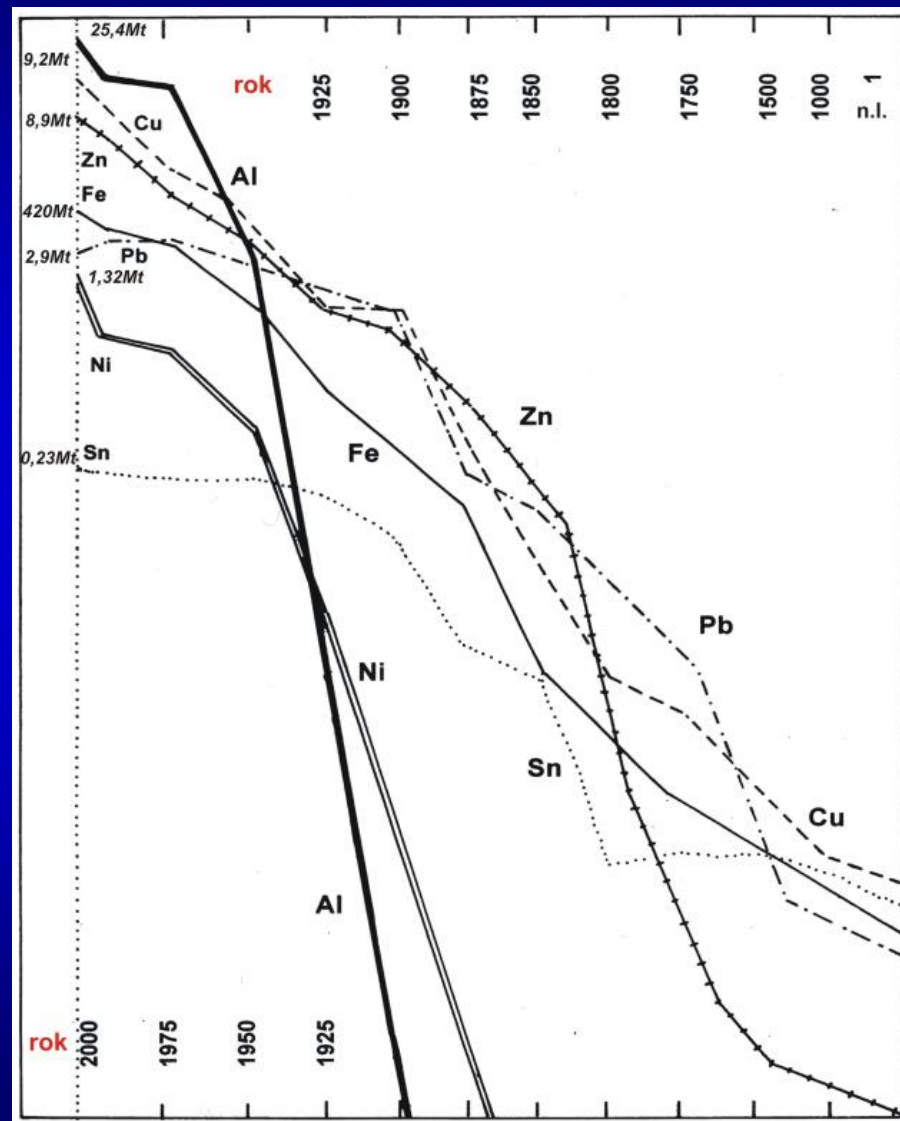
- Nerastné suroviny a ich spotreba vo svete
- Kritické nerastné suroviny významné pre udržateľný rozvoj
- Charakteristika vybraných kritických nerastných surovín
- Kritické a strategické nerastné suroviny na Slovensku



Historický vývoj ťažby kovov vo svete



rok objavenia kovu a jeho relatívny objem ťažby



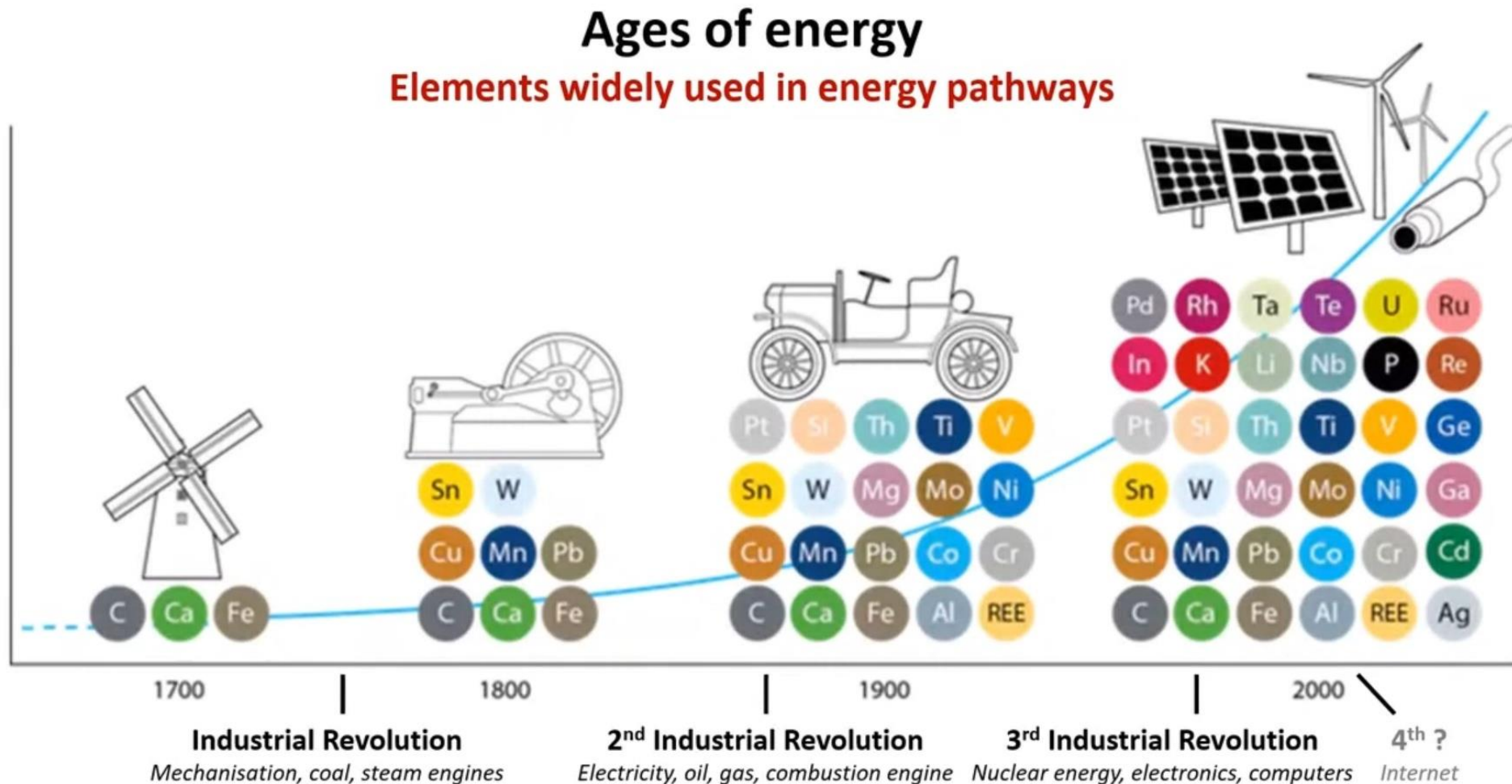
vývoj ťažby najvýznamnejších kovov

História využívania nerastných surovín

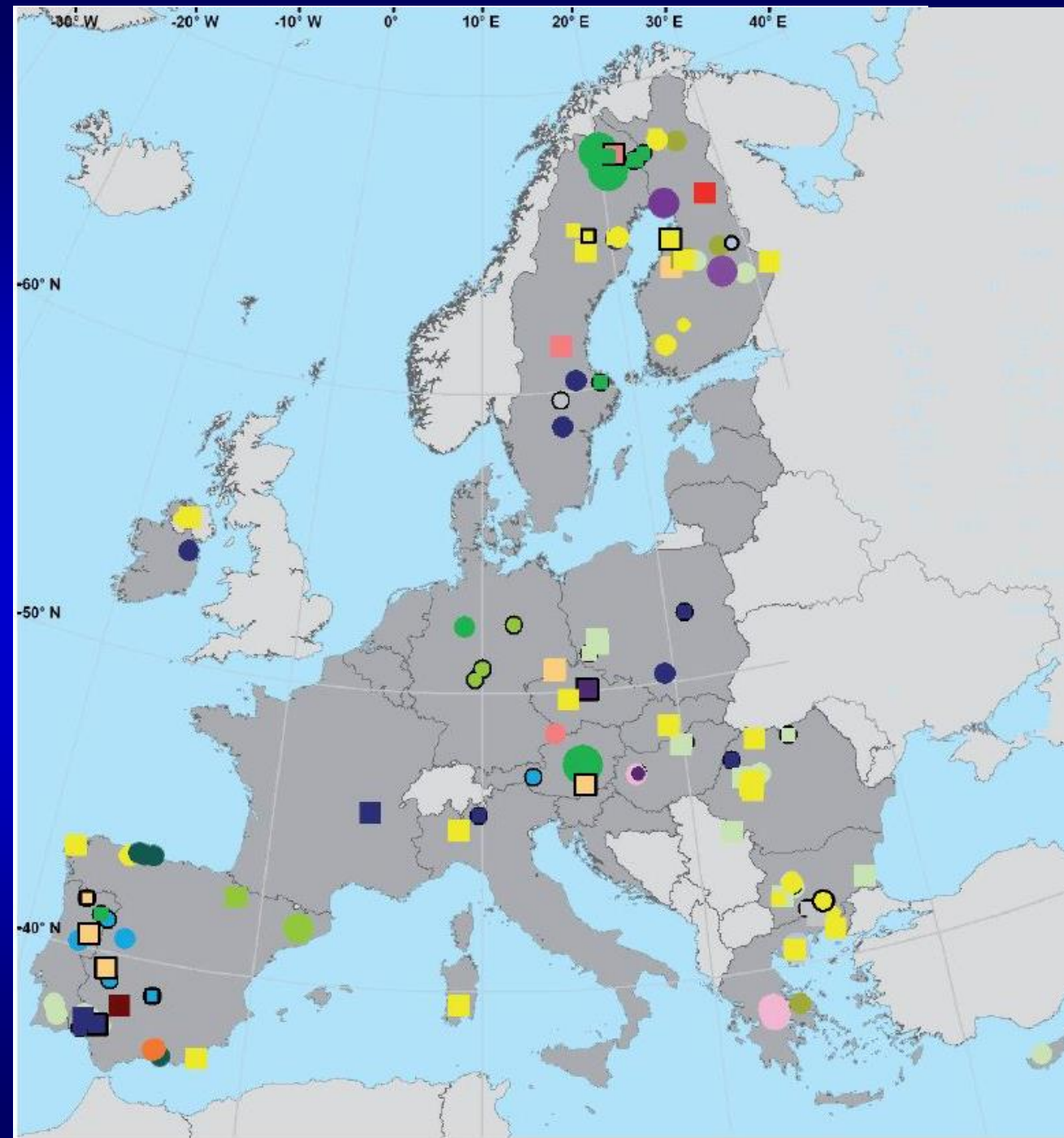
- používané **od doby kamennej** (3 mil. r.)
kremeň – oheň, pazúrik – nástroj, soľ –
konzervovanie potravy, íl – nádoby
- **doba bronzová** (od r. ~3000 p.n.l.) –
počiatky ťažby a spracovania rúd
(tavenie Cu, Au; vynález zliatiny Cu a
Sn – bronz)
- **doba železná** (od r. ~1200 p.n.l.) –
zvládnutie úpravy a hutníctva železných
rúd – ostáva najpoužívanejším kovom
až do súčasnosti
- **doba industriálnej revolúcie....**



Vývoj ťažby prvkov využívaných v energetike v obdobiach industriálnej revolúcie



Súčasná európske baníctvo v EÚ



Selected metals and industrial minerals

Bauxite	Lanthanides	Potash
Chromite	Lead	Strontium
Copper	Lithium	Tin
Fluorspar	Manganese	Tungsten
Graphite	Nickel	Vanadium
Iron Ore	Phosphate	Zinc

Commodity production/projected capacity (tonnes)

○	□	N/A
○	□	0 - 500 000
○	□	500 000 - 2 000 000
○	□	> 2 000 000

Producing Non-Producing

Precious metals

Gold Silver

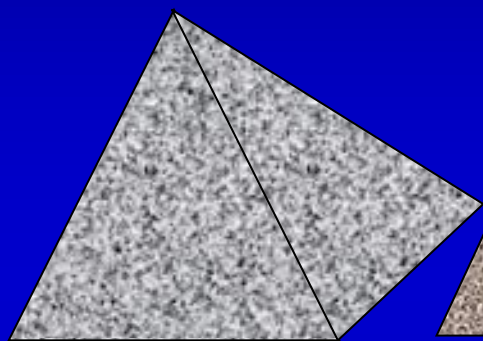
Commodity production/projected capacity (tonnes)

○	□	N/A
○	□	0 - 100 000
○	□	100 000 - 250 000
○	□	> 250 000

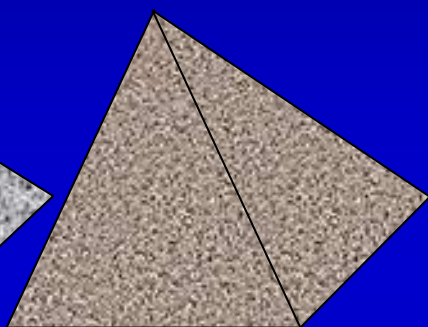
Producing Non-Producing

Spotreba nerastných surovín v súčasnosti

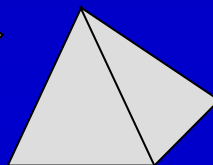
- Vo **svete v priemere ročne ťaží** 4 mld. ton uhlia, 3 mld. ton ropy, 2 mld. ton nerudných surovín, 0,5 mld. ton rudných surovín
- Priemerná ročná spotreba NS na obyvateľa v rozvinutej krajine:**



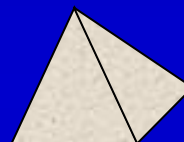
st. kameň 4113 kg



štrkopiesok
3861 kg



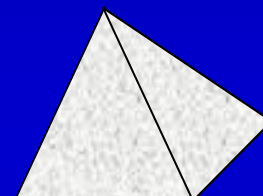
cement
360 kg



íly
220 kg



soľ
198 kg



ostatné
nerudy
622 kg



železo a oceľ
542 kg



hliník
25 kg



meď
10 kg



olovo
6 kg



mangán
6 kg

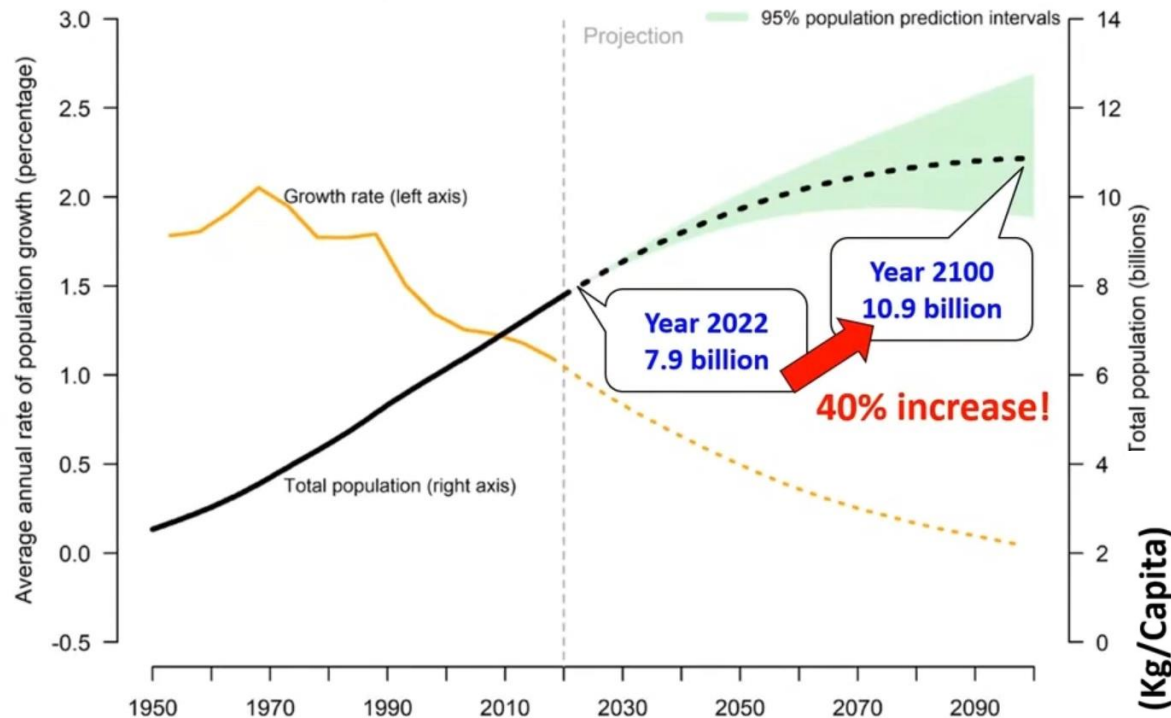


ostatné
kovy
14 kg

Nárast populácie a spotreba nerastných surovín

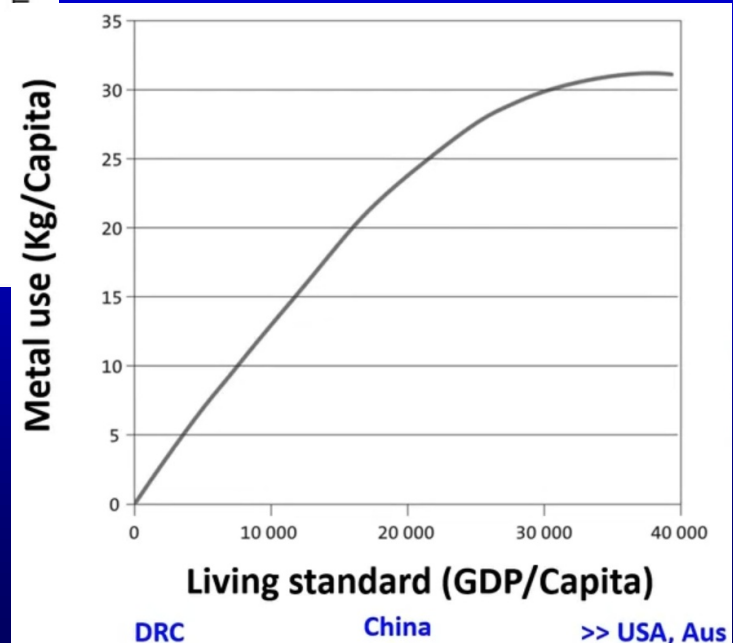
Nárast veľkosti populácie a jej rýchlosť rastu

Global population size and growth

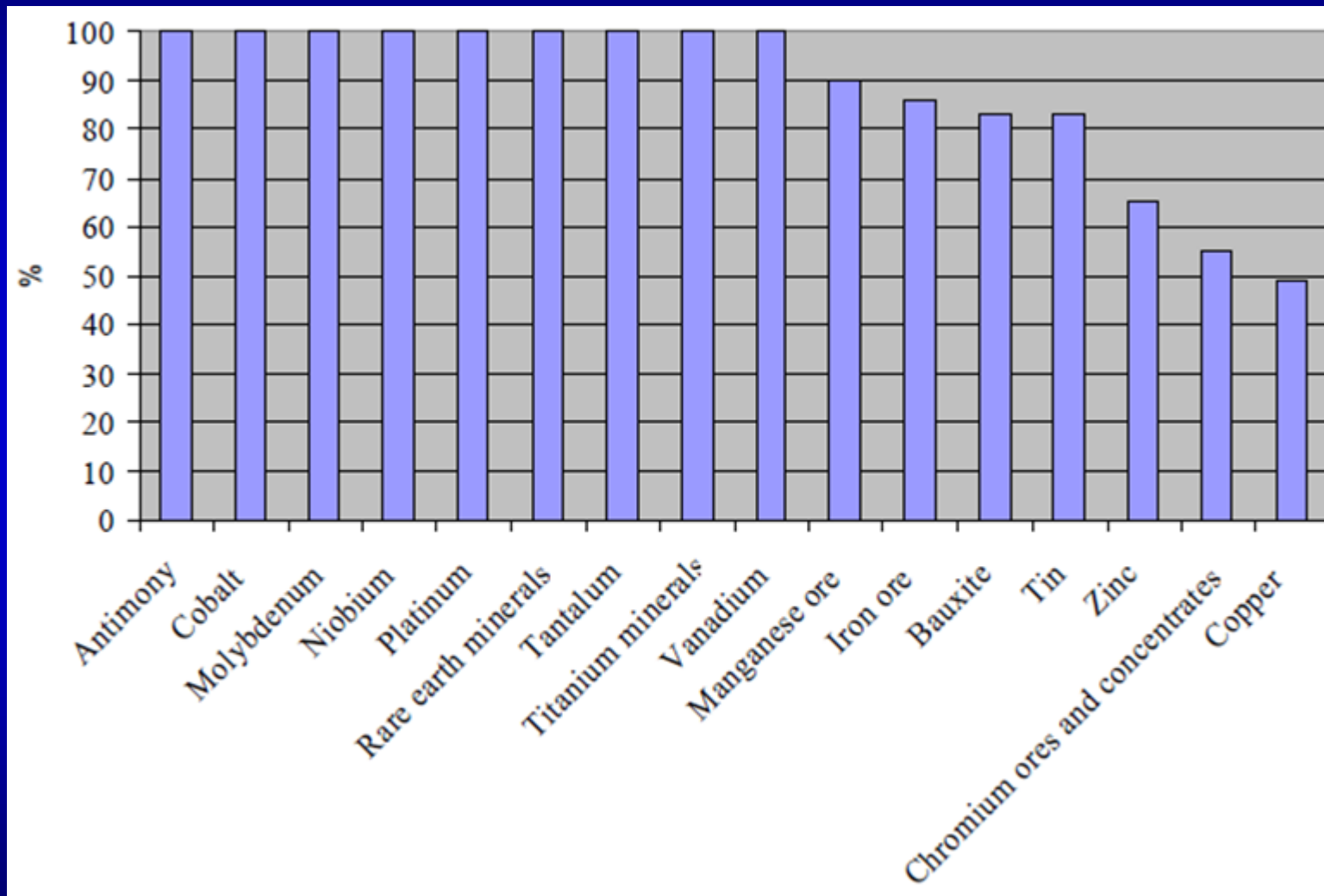


- **Nárast populácie a zlepšovaním životnej úrovne → nárast dopytu po kovoch a ďalších nerastných surovinách**

Životný štandard vs.
spotreba kovov na osobu



Podiel importu kovov na ich spotrebe v EÚ



Kritické nerastné suroviny EÚ

Riziková
obstarávaná



Ekonomický význam

Kritické nerastné suroviny EÚ a USA

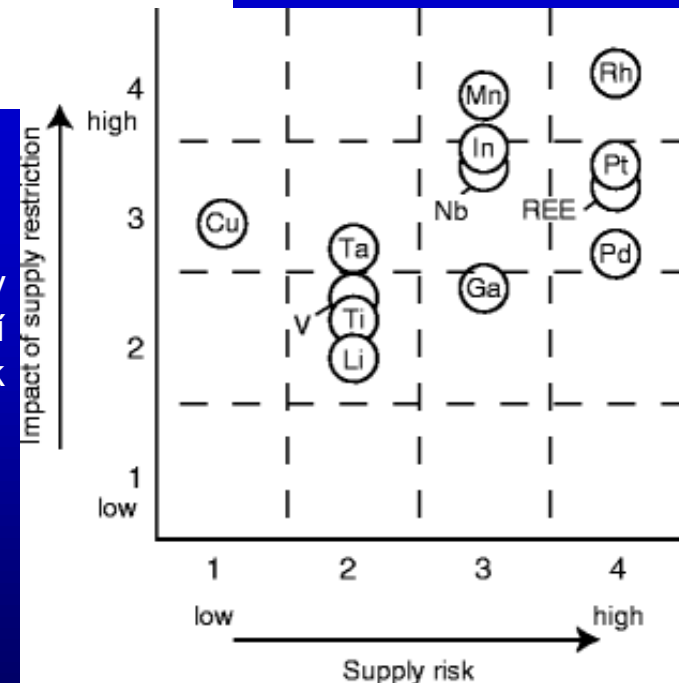
Kritické suroviny z roku 2020 (nové sú v porovnaní s rokom 2017 uvedené tučným písmom)

antimón	hafnium	fosfor
baryt	prvky ťažkých vzácnych zemin	skandium
berýlium	prvky ľahkých vzácnych zemin	kremíkový kov
bizmut	indium	tantal
boritan	horčík	volfrám
kobalt	prírodný grafit	vanád
koksovateľné uhlie	prírodný kaučuk	bauxit
fluorit	niób	lítium
gálium	kovy platinovej skupiny	titán
germánium	fosfátová hornina	stroncium

Kritické suroviny EÚ (aktualizácia 2020)

- Stratégia Európskej komisie - závislosť od dovozu navrhuje znižovať **využívaním domácich zásob, recykláciou a diverzifikáciou**

Vplyv
obmedzení
dodávok



Kritické suroviny v USA podľa USGS

Rizikovosť obstarávania

Prvky v strategických technológiách

Materiály

Technológie

Oblasti

Materials

Technologies

Sectors

Supply Risk
(sorted largest to smallest)

Very high

LREEs
HREEs

High

Magnesium
Niobium
Germanium
Borates
Scandium

Moderate

Strontium
Cobalt
PGMs
Natural graphite

Low

Indium
Vanadium
Lithium
Tungsten
Titanium
Gallium, Hafnium
Silicon metal

Very low

Manganese
Chromium
Zirconium
Tellurium
Nickel, Copper

Batteries



Fuel
cells



Wind



Traction
Motors



PV



Robotics



Drones



3D
Printing



ICT



Renewables



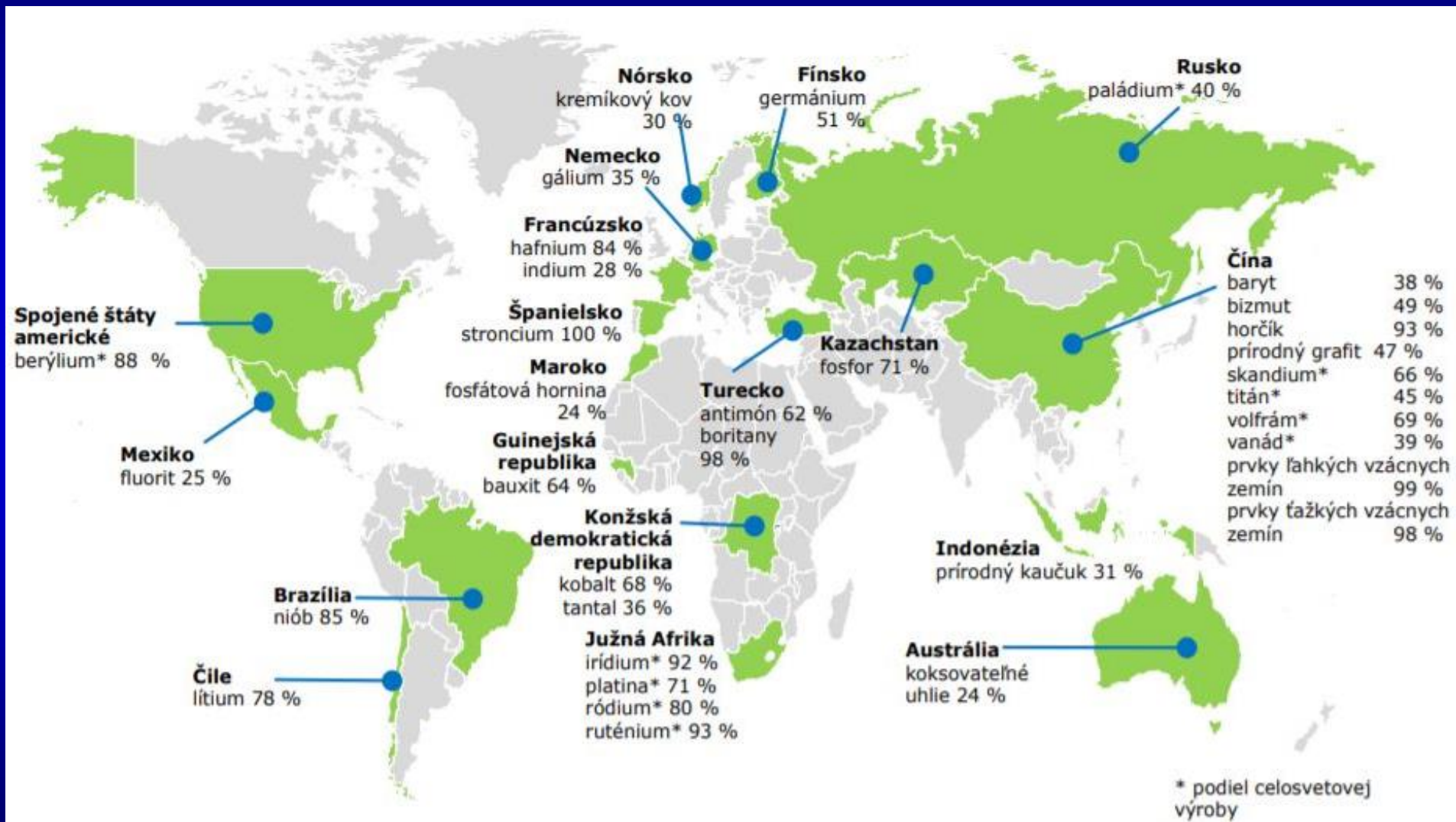
E-mobility



Defence
&
Space



Najväčší dodávatelia kritických surovín EÚ



Miera recyklovateľnosti prvkov v EÚ

H 0%																He 1%	
Li 0%	Be 0%											B* 0.6%	C	N	O	F* 1%	Ne
Na	Mg 13%											Al 12%	Si* 0%	P* 17%	S 5%	Cl	Ar
K* 0%	Ca	Sc 0%	Ti 19%	V 2%	Cr 21%	Mn 8%	Fe 31%	Co 22%	Ni 17%	Cu 17%	Zn 31%	Ga 0%	Ge 2%	As 0%	Se 1%	Br	Kr
Rb	Sr 0%	Y 31%	Zr 12%	Nb 0%	Mo 30%	Tc	Ru 11%	Rh 28%	Pd 28%	Ag 19%	Cd 30%	In 0%	Sn 31%	Sb 28%	Te 1%	I	Xe
Cs	Ba 1%	La-Lu ¹	Hf 0%	Ta 5%	W 42%	Re 50%	Os	Ir 14%	Pt 25%	Au 20%	Hg	Tl	Pb 75%	Bi 0%	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-Lr ²	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo

> 50%

26 - 50%

11 - 25%

1 - 10%

< 1%

changed or new datapoint

¹Group of Lanthanide

La 1%	Ce 1%	Pr 10%	Nd 1%	Pm	Sm 1%	Eu 38%	Gd 1%	Tb 6%	Dy 0%	Ho 1%	Er 1%	Tm 1%	Yb 1%	Lu 1%
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

²Group of Actinide

Aggre- gates 8%	Bento- nite 19%	Coaking Coal 0%	Diato- mite 4%	Feldspar 8%	Gypsum 1%	Kaolin Clay 1%	Lime- stone 19%	Magne- site 2%	Natural Cork 8%	Natural Graphite 3%	Natural Rubber 1%	Natural Teak Wood 0%	Perlite 42%	Sapele wood 0%	Silica Sand 18%	Talc 16%
-----------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------	----------------	--------------	----------------------	-----------------------	----------------------	-----------------------	---------------------------	-------------------------	-------------------------------	----------------	----------------------	-----------------------	-------------

* F = Fluorspar, P = Phosphate rock, K = Potash; Si = Silicon metal, B = Borates.

Miera recyklovateľnosti prvkov v smartfónoch

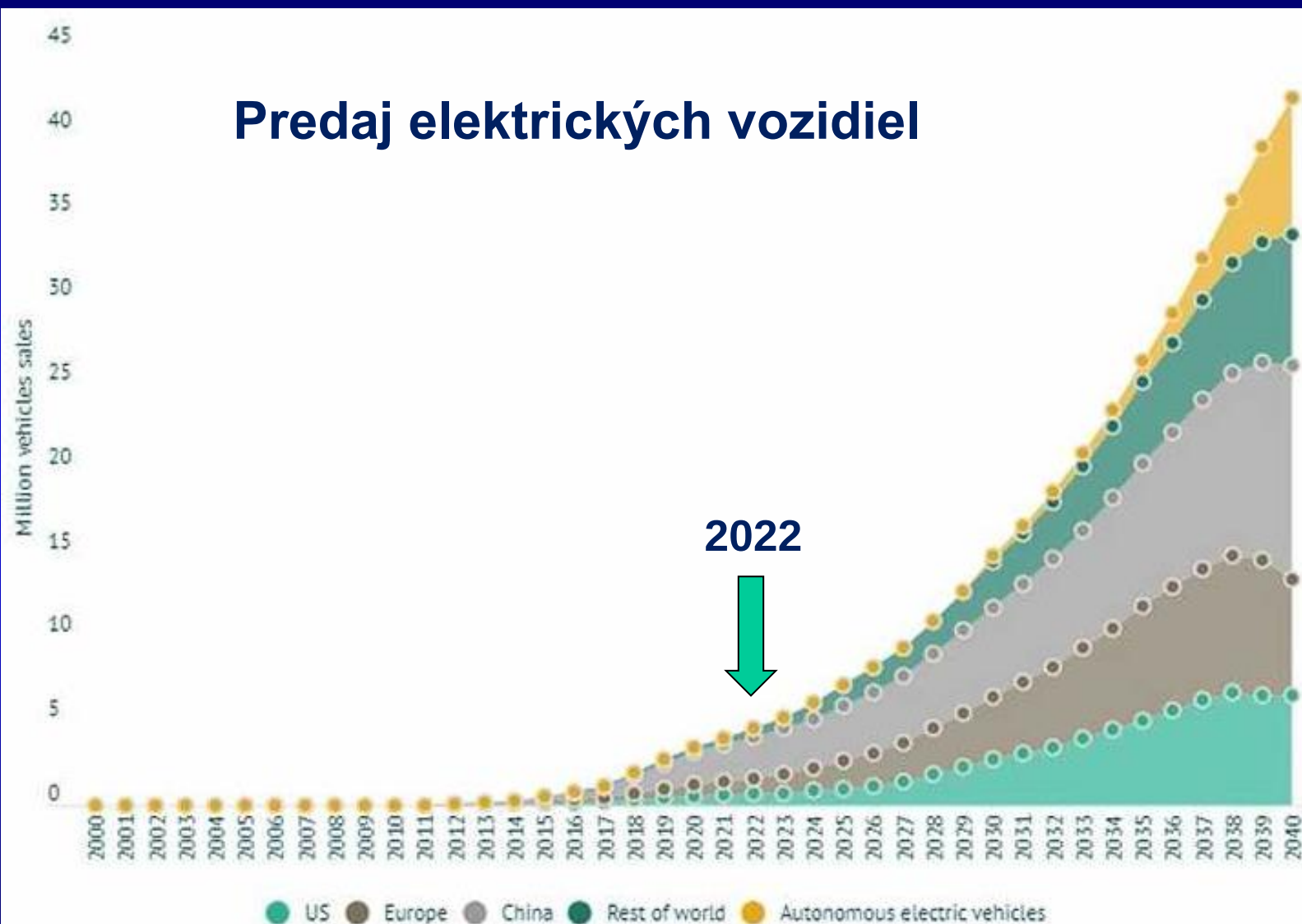


- 60 % plast, keramika
- 40 % rôzne kovy (cca 50):
 - Li, Co, Al – batérie
 - Ta, Pd – kondenzátory
 - Cu, Au, Ag – el. obvody
 - Si, Ga, In, Pd – čipy
 - In – displeje
 - Nd, Dy, W – vibračné mechanizmy a reproduktory

- Väčšinu kovov nie je ekonomické recyklovať:
 - Veľké množstvo rôznych prvkov
 - Jednotlivé súčasti nie sú rozoberateľné
 - Pri rozomletí na prach je problematickejšie oddeliť jednotlivé zložky (ťažšie ako z horniny)

Prognózy v oblasti nerastných surovín

Predaj elektrických vozidiel



Autonómne elektrické vozidlá

Zvyšok sveta

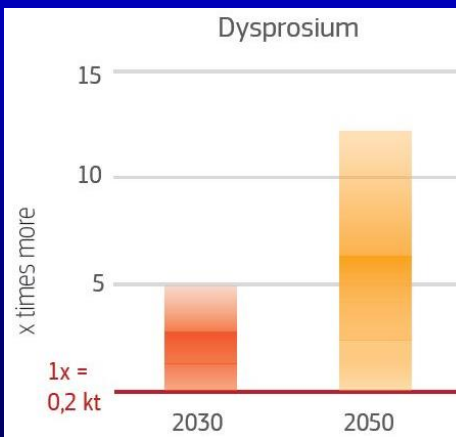
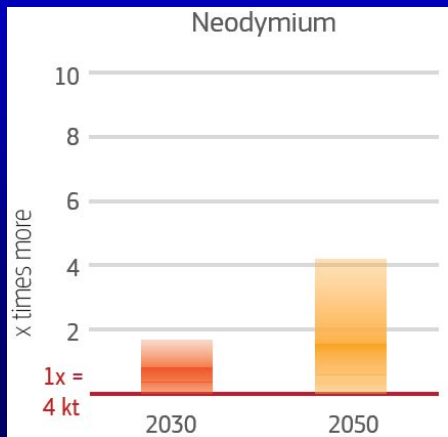
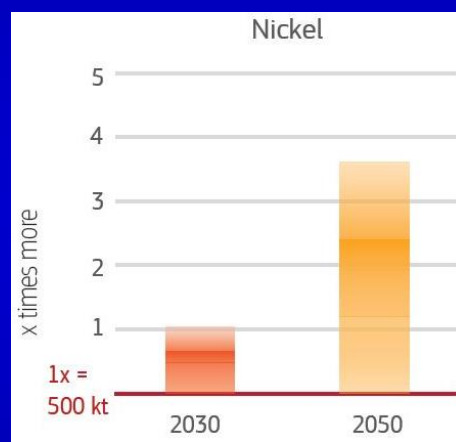
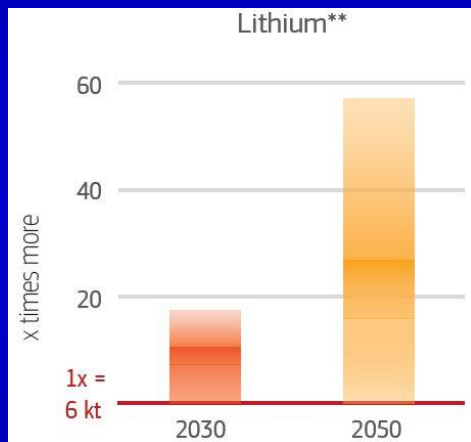
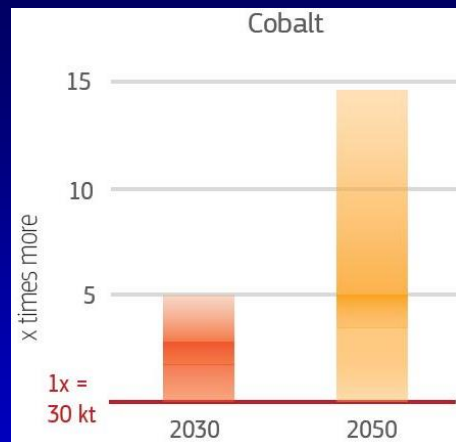
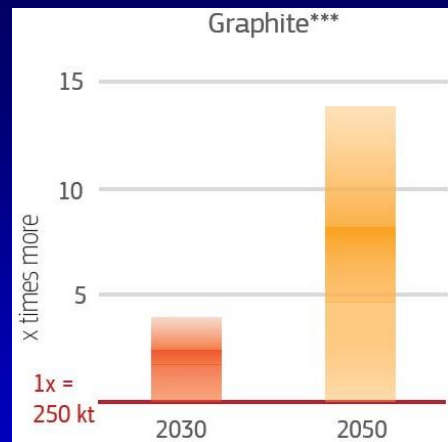
Čína

Európa

USA

- Očakávaný je výrazný nárast v predaji elektrických vozidiel

Prognózy v oblasti kritických nerastných surovín do r. 2050



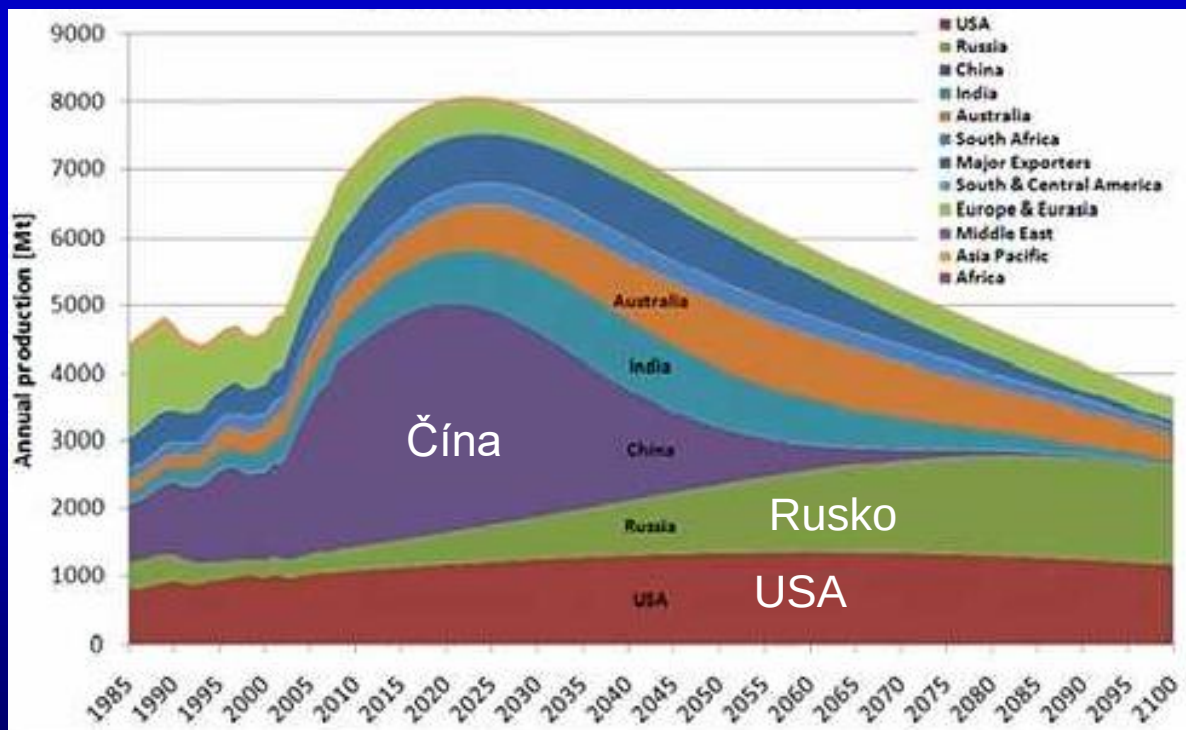
% nárast v dopyte

Commodity	% increase in demand
Graphite	494
Cobalt**	460
Lithium*	488
Indium**	231
Vanadium*	189
Nickel	99
Silver*	56
Neodymium**	37
Lead	18
Molybdenum*	11
Aluminium	9
Copper	7

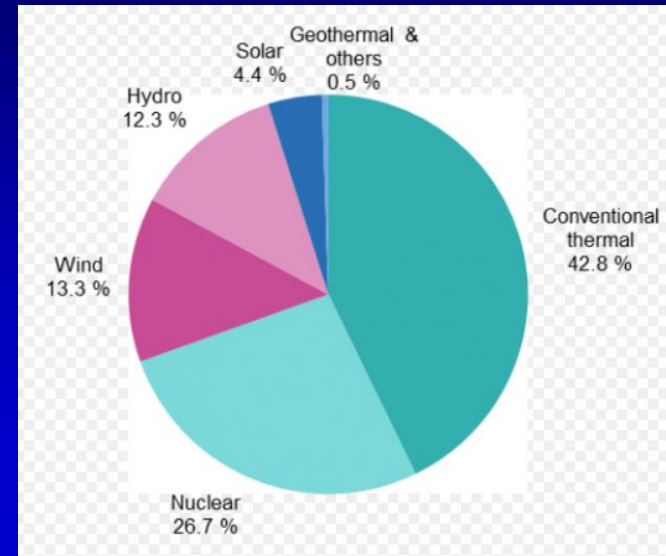
- Očakávaný nárast v dopyte po kovoch pre nízko-emisné energie

Prognózy v oblasti nerastných surovín

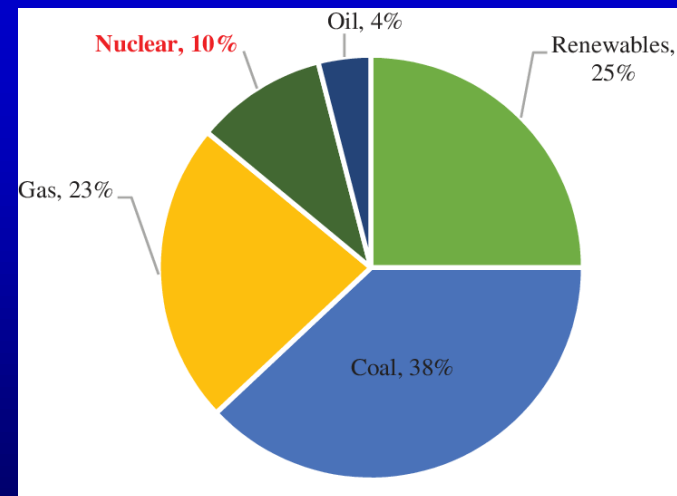
- **Prechod na obnoviteľné zdroje energie:**
 - Za ~200 rokov vyčerpanie veľkej časti fosílnych palív (ropa, plyn, uhlie) → porušenie globálnej rovnováhy uhlíka
 - Predpokladaný postupný **útlm ťažby uhlia**



Očakávaný vývoj ťažby uhlia



Zdroje elektriny v EÚ



Zdroje elektriny vo svete

Prvky skupiny vzácných zemín



Prvky vzácnych zemín (REE), Y, Th – Vlastnosti

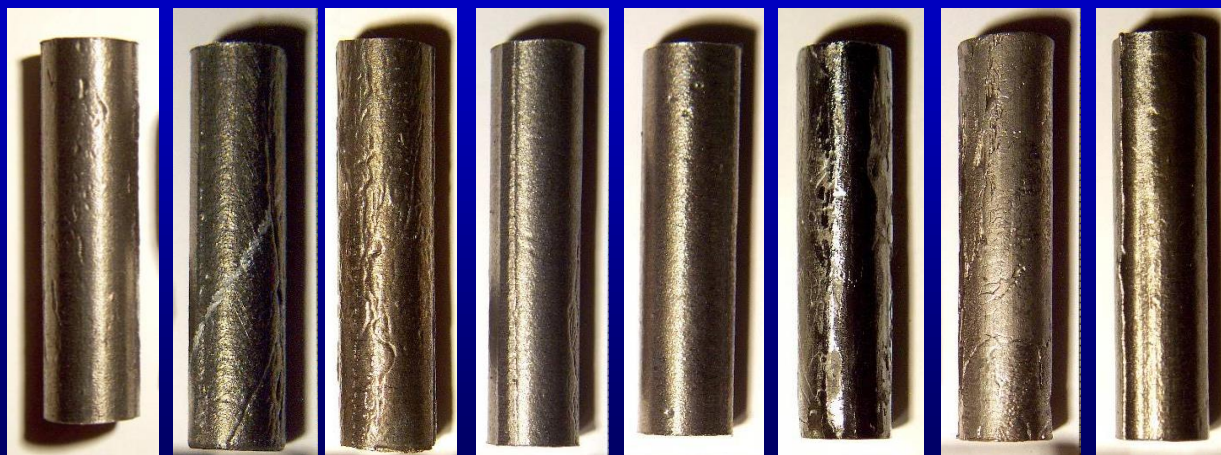
ĽAHKÉ REE



La Ce Pr Nd Pm Sm Eu

- striebrobiele až sivé
- vysoký lesk
- dobré vodiče elektriny
- silné redukčné vlastnosti
- väčšina paramagnetická (max. Ho)
- väčšina silne fluorescenčná (zvlášť Eu, Pr, Nd)
- rýchlo oxidujú na vzduchu
- mnohé horia pri zvýšenej T (Eu 150-180°C)
- zmes REE s Fe je samozápalná

ŤAŽKÉ REE



Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu



Y Th

Prvky vzácnych zemín (REE), Y, Th – Vlastnosti

		Protónové číslo	Relatívna atómová hmotnosť	Hustota (g/cm³)	Oxidačný stupeň	Teplota tavenia (°C)	Teplota varu (°C)	Hojnosť v zemskej kôre (ppm)
ĽAHKÉ REE	La	57	138,9	6,15	3	918	3464	30
	Ce	58	140,12	6,77	3, 4	798	3443	60
	Pr	59	140,98	6,64	3	931	3520	7
	Nd	60	144,24	7,01	3	1021	3074	25
	Pm	61	145	7,26	3	1042	3000	4,5x10 ⁻²⁰
	Sm	62	150,4	7,52	3	1074	1794	5
ŤAŽKÉ REE	Eu	63	151,96	5,2	2, 3	822	1527	1
	Gd	64	157,25	7,9	3	1313	3273	4
	Tb	65	158,93	8,23	3	1356	3230	0,7
	Dy	66	162,5	8,55	3	1412	2567	3,5
	Ho	67	164,93	8,8	3	1474	2700	0,8
	Er	68	167,26	9,1	3	1529	2868	2,3
	Tm	69	168,93	9,34	3	1545	1950	0,32
	Yb	70	173,04	7,0	3	819	1196	2,2
	Lu	71	174,97	9,84	3	1663	3402	0,4
	Y	39	88,91	4,47	3	1522	3338	30
Th	90	323,04	11,8	4	1750	4850	6	

- „Vzácne“ – lebo veľmi zriedka sa vyskytujú v koncentráciách, v ktorých je ekonomicky únosné ich ťažiť

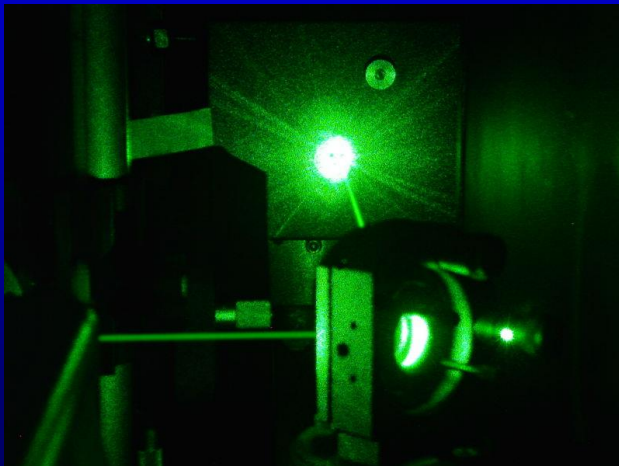
Prvky vzácnych zemín (REE), Y, Th – Použitie

- 95 % REE - zmes:

- **katalyzátory** pri rafinácii ropy a v automobiloch (35 % produkcie)
- **hutníctvo** (30 %) – odsírenie ocele, zapalovače plynu, mimoriadne pevné ocele
- **batérie** (Ni-Cd), notebooky, smartfóny

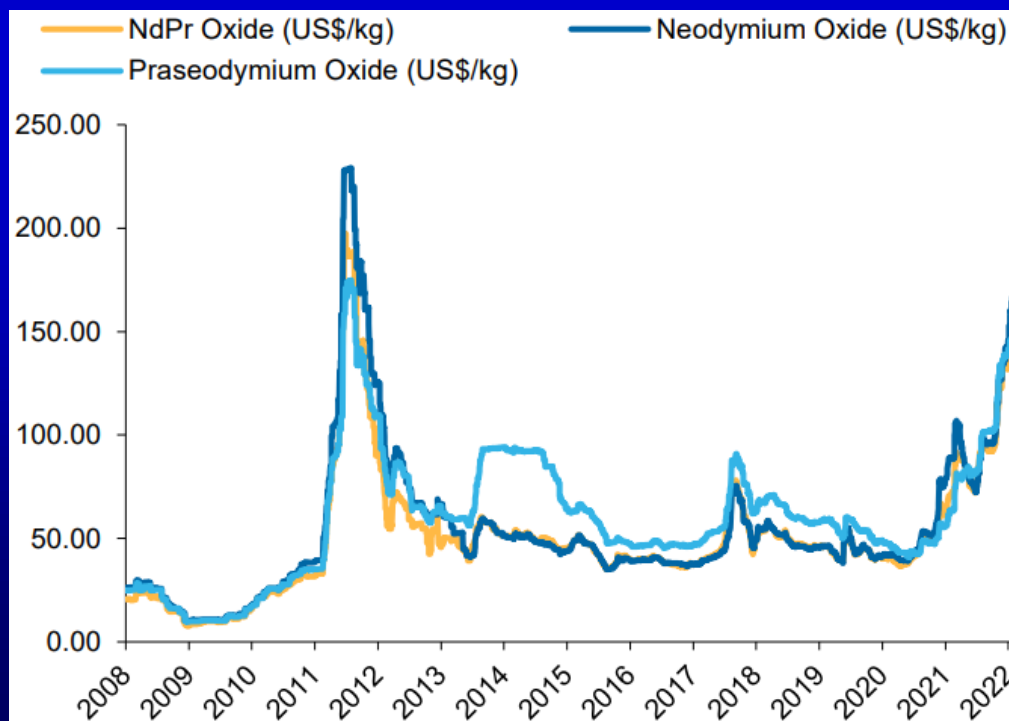
- 5 % - čisté kovy:

- **Nd, Dy, Pr** (75 % hodnoty, 20 % objemu) - permanentné magnety (Nd-B-Fe magnety) do veterných turbín, hybridných áut, reproduktorov, smartfónov
- **Tm, Yb** - kryštály do laserov
- **Eu, Y** - displeje

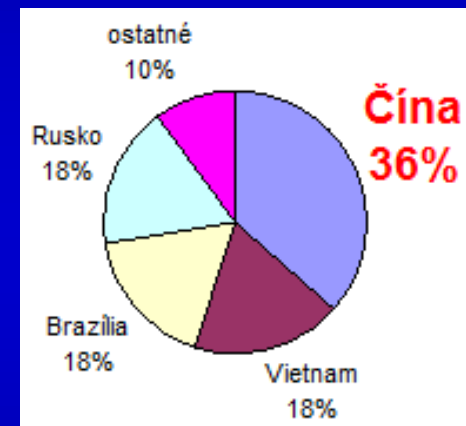


REE, Y, Th – Zásoby a ťažba

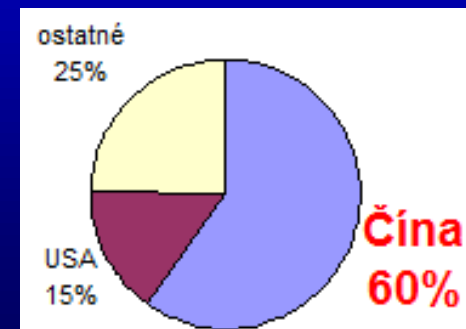
- Svet. zásoby: 120 000 000 t oxidov REE
- Svetová ťažba: 280 000 t oxidov REE
- Čína je dominantná na trhu s REE (exportné kvóty od r. 2010 – snaha o zvýšenie ceny, presun tovární do Číny)
- **Hraničná koncentrácia pre ťažbu: 2-6% REE oxidov**
- Spracovanie rúd veľmi **zaťažuje životné prostredie** (kyslé odpady, radioaktívny prach)



Zásoby



Ťažba



REE, Y, Th – Minerály ložísk

- výskyt ako **zmesi REE s nekovovými prvkami** (> 200 minerálov), rýdze v prírode nie sú



bastnäzit-(Ce)
 $(\text{Ce,La})(\text{CO}_3)\text{F}$

fluórapatit
 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$



monazit-(Ce)
 $(\text{Ce,La,Nd,Th})\text{PO}_4$

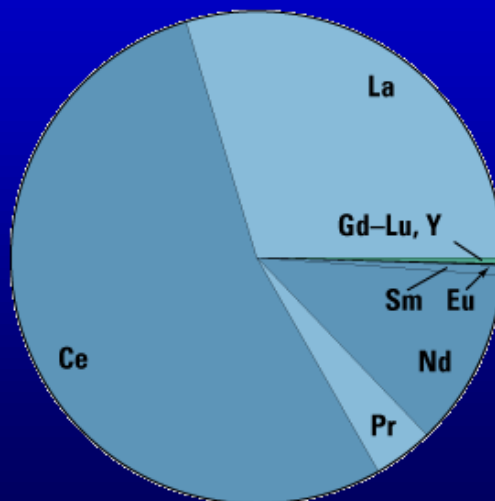
xenotím-(Y)
 YPO_4



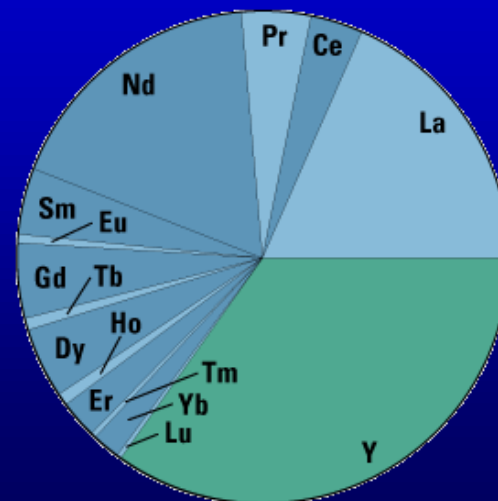
REE, Y, Th – Ložiská

- Späté s karbonatitmi - magmatické horniny s >50 % karbonátov
 - *Magmatické a hydrotermálne*
- Späté s alkalickými horninami
 - *Magmatické a hydrotermálne*
- Zvetrávacie (lateritické) - tropické zvetrávanie alkalických hornín bohatých na REE
- Ryžoviská - akumulácia odolných minerálov s vysokou hustotou - monazit-(Ce), xenotím-(Y)

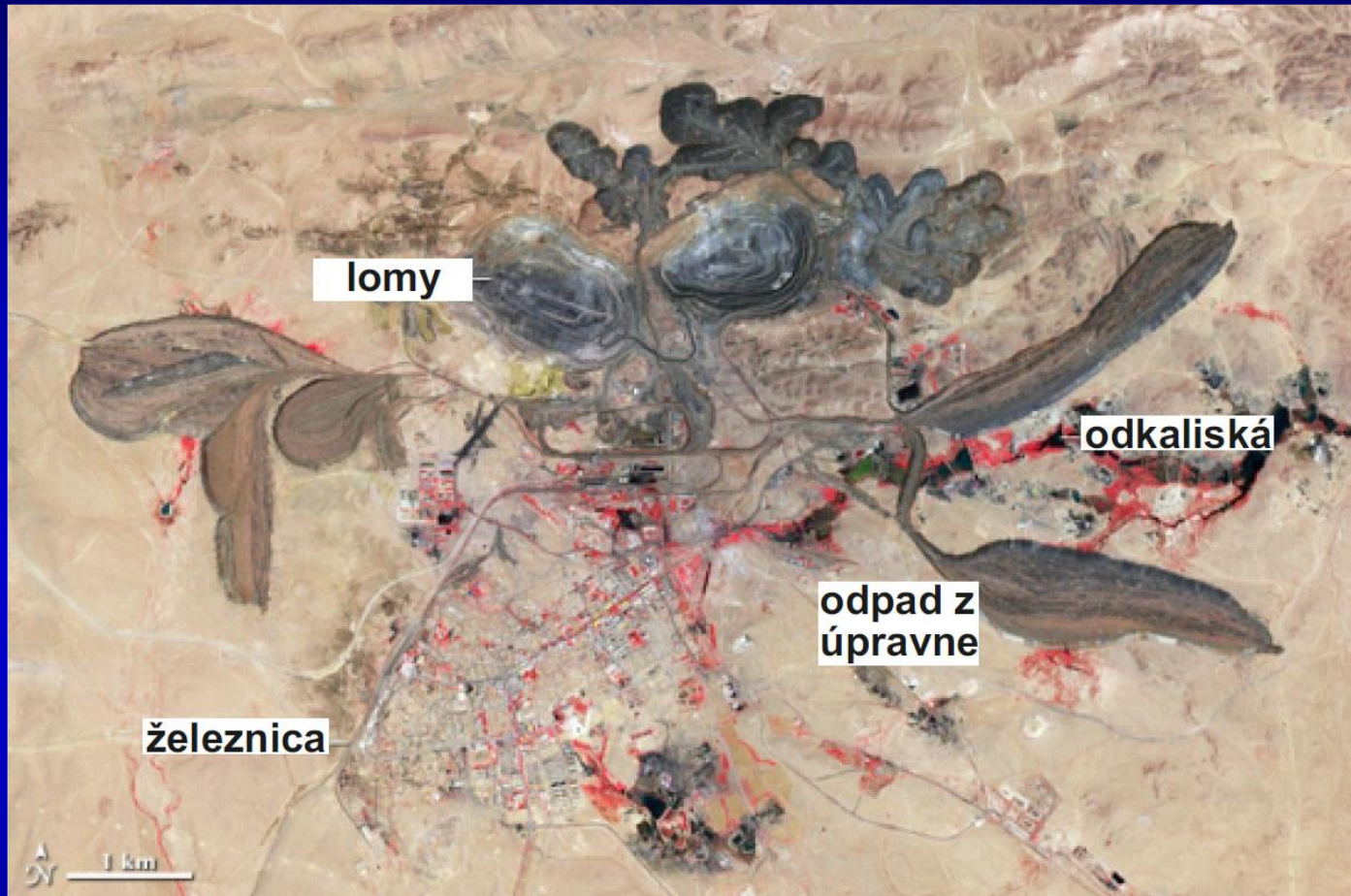
Karbonatitová ruda
(Mountain Pass, California)



Lateritová ruda
(južná Čína)



REE, Y, Th – Ložiská



- **Ložisko Bayan Obo** (Čína - satelitná snímka) - najväčšie ložisko REE na svete zabezpečujúce asi 45 % svetovej produkcie REE
- Zásoby sú 100 mil. ton rudy so 6 % ľahkých oxidov REE (LREE), 1 mil. ton rúd s 0,13 % NbO a 1,5 mld. ton Fe rudy

Kobalt (Co)



Kobalt (Co) – Vlastnosti



- Šedobiely
- Feromagnetický
- Tvrdší a pevnejší ako oceľ
- Nehrdzavejúci

Protónové číslo	27
Relatívna atómová hmotnosť	58,93
Hustota	8,90 g/cm³
Oxidačný stupeň	2, 3
Teplota tavenia	1495 °C
Teplota varu	3100 °C
Hojnosť v zemskej kôre	29 ppm

Kobalt (Co) – Použitie

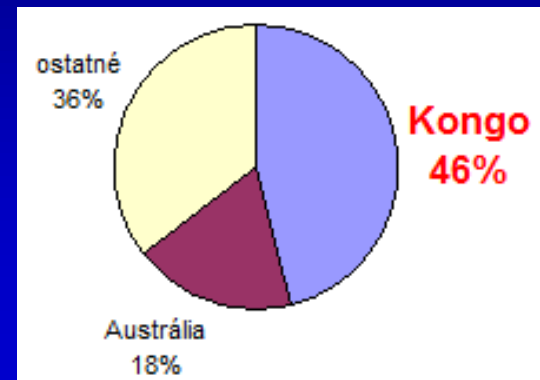
- **Metalurgia:** zliatiny (rýchlorezné ocele, vrtné hlavice) a superzliatiny s veľmi čistým Co (na turbíny a čepele leteckých motorov)
- **Nabíjateľné batérie:** Li-Co oxidy na výrobu Li-iónových batérií
- **Permanentné magnety** (Al-Ni-Co)
- **Medicína:** Izotop ^{60}Co je **gama žiarič** v lekárstve a v defektoskopii
- **Katalyzátory** chemických procesov
- **Farbenie porcelánu a skla** (modrá farba)



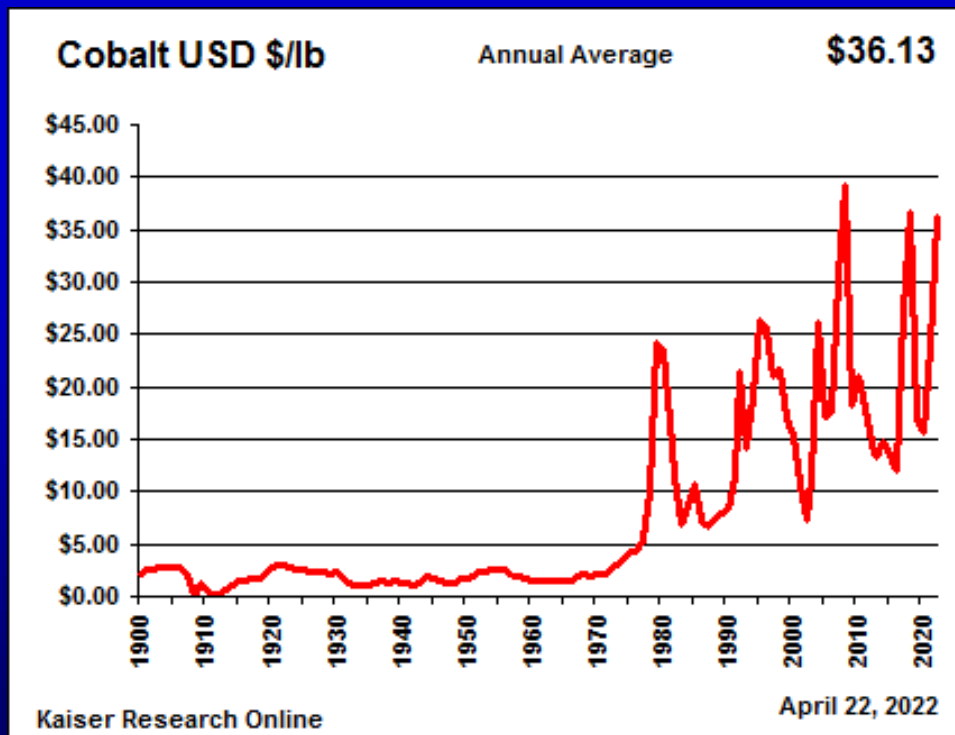
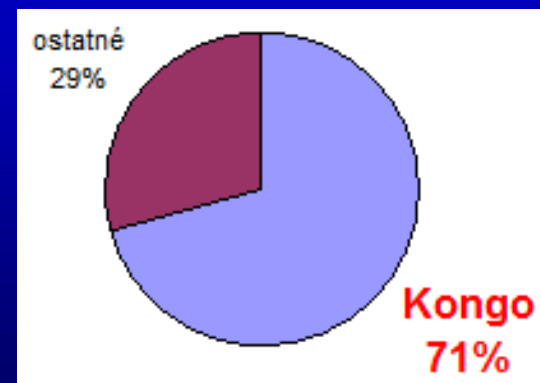
Kobalt (Co) – Zásoby a těžba

- Svet. zásoby: 7 600 kt rudy
- Svetová těžba: 170 kt rudy
- Hlavným producentom je Čína (rudy z Konga), aj najväčším spotrebiteľom

Zásoby



Ťažba



Kobalt (Co) – Minerály ložísk

- najmä **v arzeničnanoch a sulfidoch**



kobaaltín
 CoAsS

skutterudit
 CoAs_3



glaukodot
 $\text{Co}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{AsS}$



safflorit
 CoAs_2

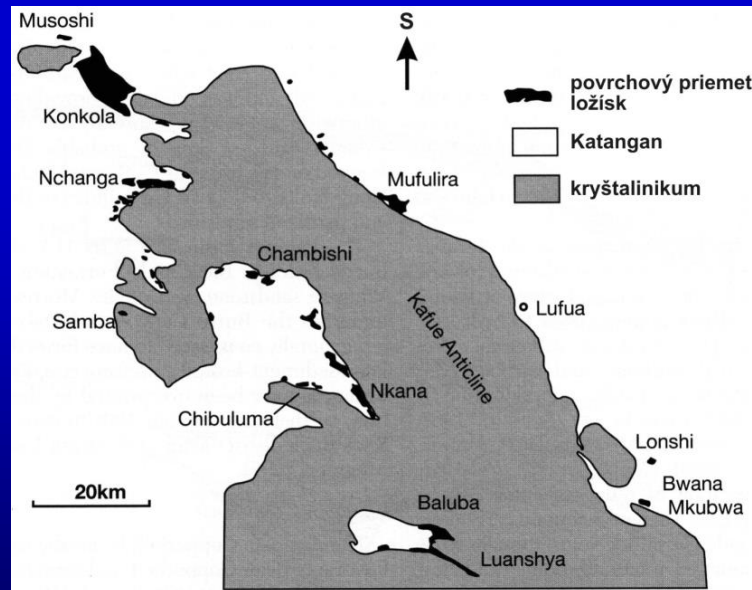


linnéit
 Co_3S_4



Kobalt (Co) – Ložiská

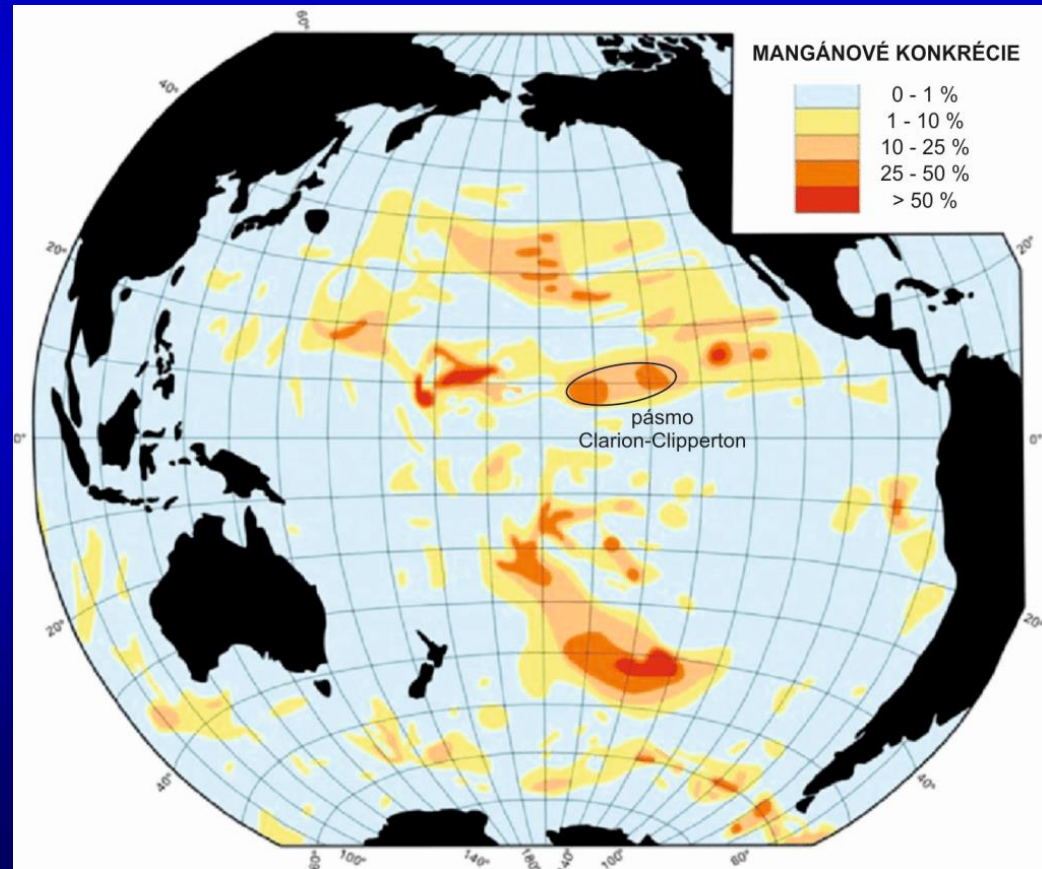
- Získava sa ako vedľajší produkt Ni a Cu rúd
- **Cu-Co hydrotermálne ložiská v sedimentoch** so zdrojom Co z lúhovania ultramafických hornín v podloží sedimentov
- **Zvetrávacie ložiská (Ni-Co laterity)** v tropických a subtropických oblastiach na úkor ultrabázických hornín
- **Hydrotermálne žilné polymetalické ložiská**



pozícia Copperbeltu v Zambii a Kongu

Konkrécie na morskom dne – perspektívna surovina kobaltu

- Gigantické zásoby $2,5 \cdot 10^{12}$ t s **25 % Mn, 1,5 % Ni, 1,5 % Cu, 0,2 % Co**, najmä v rovníkovej hlbokomorskej oblasti (4 – 6 km) Tichého oceánu - **20-70 kg konkrécií na m²**
- mm až cm (max. 1 m), s koncentrickým usporiadaním vrstvičiek **oxyhydroxidov Fe a Mn** a ílu okolo jadra (**Ni, Co, Cu** sú viazané **sorpčne**)
- t'azba **odskúšaná** sacími rýpadlami až **do hĺbky 7 km**
- **Aj Slovensko tu vlastní prieskumné územie...**



Lítium (Li)



Lítium (Li) – Vlastnosti a história



- striebrolesklý
- ťažný
- mäkký
- najmenšia hustota zo všetkých kovov
- veľmi vysoký elektrochemický potenciál
- veľmi reaktívny a horľavý (uchováva sa v oleji)
- oxiduje na vzduchu

Protónové číslo	3
Relatívna atómová hmotnosť	6,94
Hustota	0,53 g/cm³
Oxidačný stupeň	1
Teplota tavenia	180,5 °C
Teplota varu	1330 °C
Hojnosť v zemskej kôre	32 ppm

Lítium (Li) – Použitie

- **Články a akumulátory (54%)** – najmä na opakované nabíjanie, rastúce využitie (elektromobily, elektronika)
- **Špeciálne sklá a keramika** – Li_2O znižuje teplotu tavenia a viskozitu, zlepšuje jeho vlastnosti
- **Psychofarmáká** - soli lítia sú ich účinnou zložkou
- **Vysokoteplotné lubrikanty** – ich súčasťou je LiOH
- **Jadrová energetika** - roztavené Li slúži na odvod tepla z reaktoru
- **Na čistenie vzduchu** od CO v uzavretých priestoroch (ponorky, vesmírne lode)



Elektrické auto má 3 kg lítia

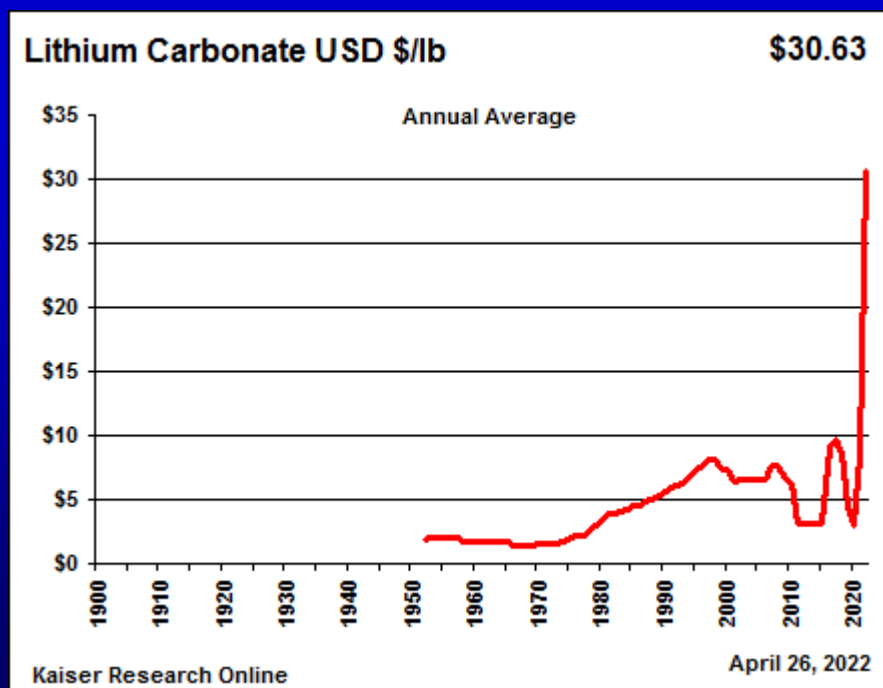
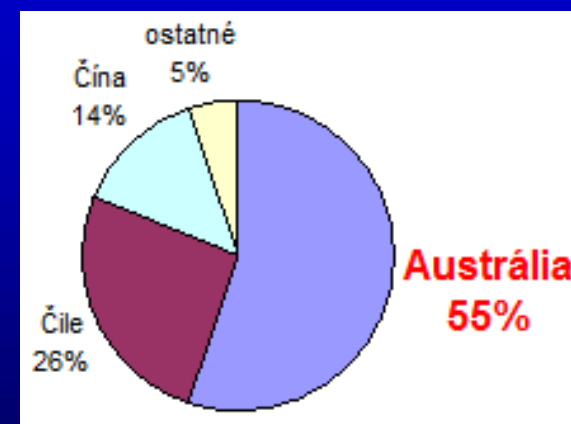
Lítium (Li) – Zásoby a ťažba

- Svet. zásoby: 22 000 000 kt
- Svetová ťažba: 100 000 kt
- **Hraničná koncentrácia pre ťažbu (pevných rúd): 1 % LiO**
- Ložiská v soľných jazerách majú **0,1 % LiO₂**
- Väčšina lítia sa spracováva v Číne, kde sa nachádzajú aj 2/3 výrobných kapacít Li batérií

Zásoby



Ťažba



Lítium (Li) – Výskyt

- ako rýdzi kov sa v prírode nevyskytuje, len v mineráloch
- v prírode je hojný v morskej vode (0,18 ppm), najmä v **evaporitových soľankách**



spodumen
 $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$



„lepidolit“
 $\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$
(prechodný člen medzi trilithionitom a polyolithionitom)



petalit
 $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$

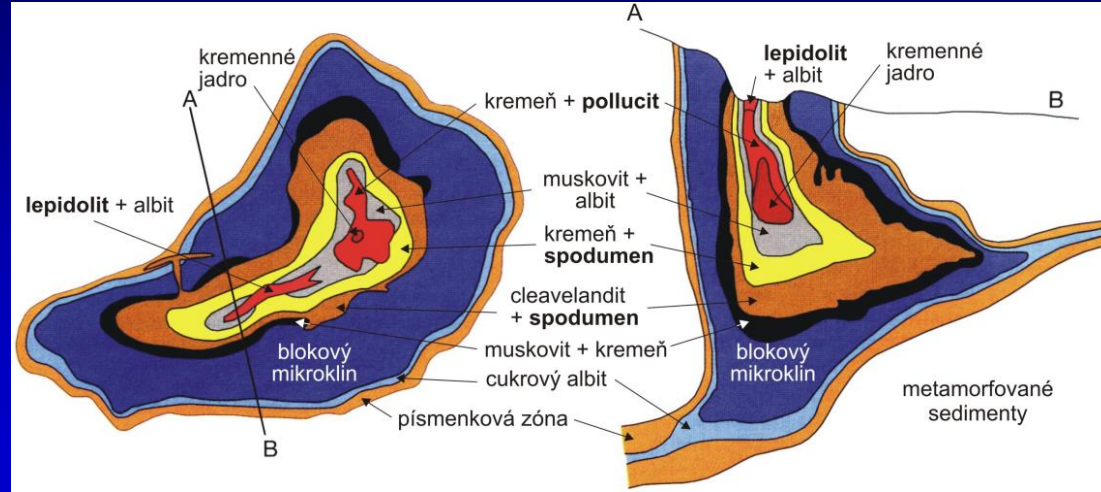
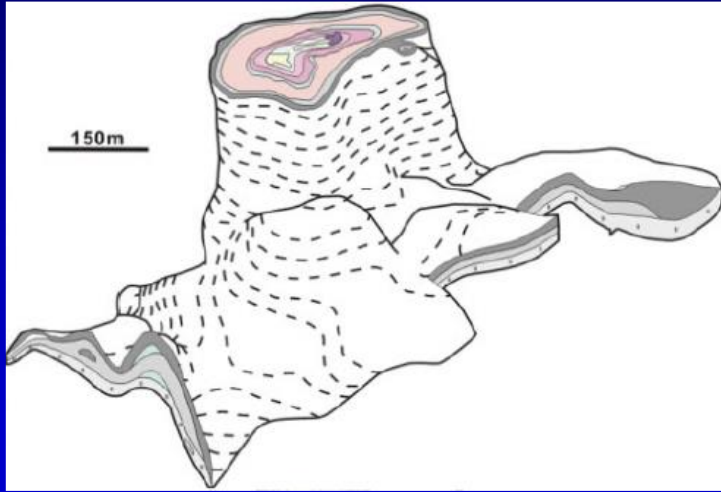
„civaldit“
 $\text{KLiFeAl}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$
(prechodný člen medzi siderofylitom a polyolithionitom)



Lítium (Li) – Ložiská

- Ťaží sa najmä z **pegmatitov**, zásoby sú najmä v **soľankách (70 %)**
- **Pegmatity**
 - Produkt zvyškových magiem po kryštalizácii veľkých telies granitov
- **Greiseny a vzácnoprvkové granity**
 - Produkt špecializovaných granitových magiem (**vysokofrakcionovaných**), lítium je **v sludách** („cinvaldit“) ako súčasť hydrotermálnej premeny
- **Lítiové soľanky v evaporitoch**
 - **V soľných jazerách v arídnych oblastiach**, soľanky obsahujú 20-1500 mg/l Li
- **Li-B stratiformné ložisko (minerál jadarit)**
 - Nový typ ložiska objavený v Srbsku, zdroj Li a B

Lítium (Li) – Ložiská



horizontálny a vertikálny rez cez zonálne pegmatitové Li ložisko Koktokay č. 3 (Čínsky Altaj)

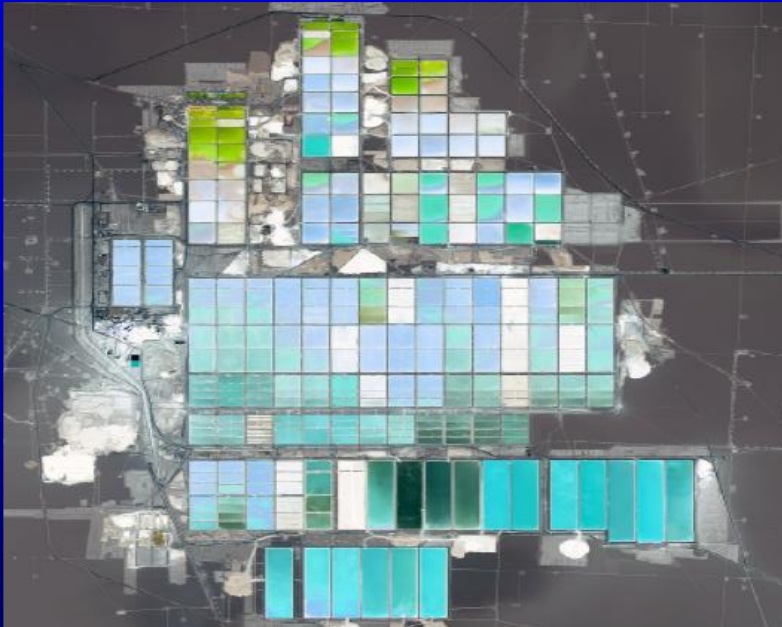
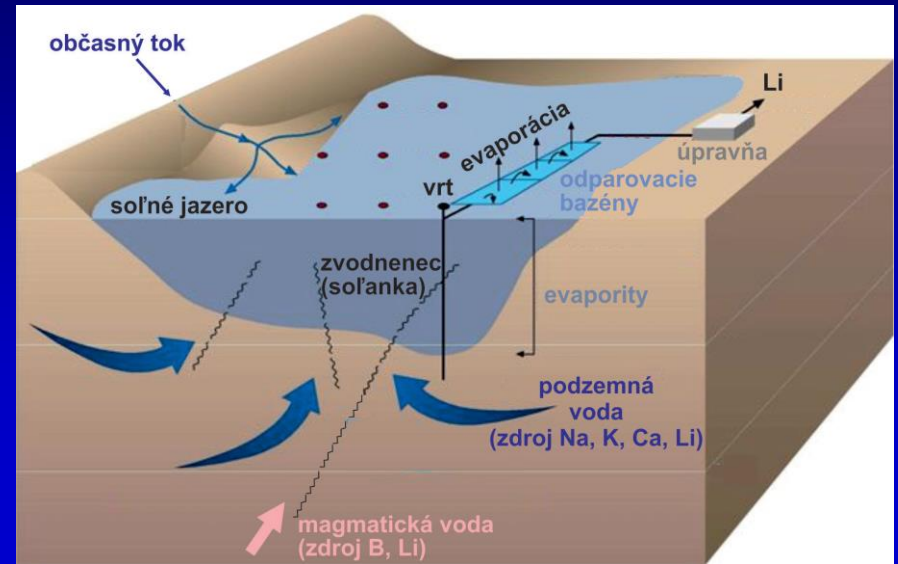


Žily s Li sľudou (cinvaldit) na greisenovom ložisku Cínovec-Zinnwald (Česko – Nemecko)

Lítium (Li) – Ložiská

- **Lítiové sol'anky v evaporitoch** – rozsiahle ložiská v Južnej Amerike
- ťažia sa **čerpacími vrtmi**, Li sa skoncentrováva odparovaním, pridaním Na_2CO_3 – kryštalizuje Li_2CO_3 (proces trvá 18-24 mesiacov)

Ložisko Li v soľnom jazere Salar de Atacama (Čile)



Volfrám (W)



Copyright © 2004 Theodore W. Gray

Volfrám (W) – Vlastnosti a história



- striebrobieľy až sivý
- najvyššia pevnosť v ťahu (aj pri zvýšenej T)
- najnižšia tepelná rozťažnosť
- dobrá tepelná a elektrická vodivosť
- vynikajúca odolnosť voči korózii (ale oxiduje pri vyššej T)

Protónové číslo	74
Relatívna atómová hmotnosť	183,85
Hustota	19,3 g/cm³
Oxidačný stupeň	2, 3, 4, 5, 6
Teplota tavenia (najvyššia)	3410 °C
Teplota varu	5930 °C
Hojnosť v zemskej kôre	1,2 ppm

Volfrám (W) – Použitie

- **karbid volfrámu** (WC, >50 % produkcie) - **vysoká tvrdosť** (9,5) → na rezné a vrtné nástroje a ich hrany, lisy
- **Co-Cr-W zliatiny** – tvrdé a odolné vysokým teplotám: do ventilov, guľkových ložísk, pneumatických strojov, dierovačov, čapov, kozmonautika
- **W drôt** – vlákno do **žiaroviek**, zahrievacie prvky pecí, elektródy oblúkových lúčov
- **W zlúčeniny:**
 - **Ca a Mg volframáty** – žiarivky, TV obrazovky a monitory
 - **Na volframát** – ohňovzdorné látky, farbivá, pigmenty, tlačiarenské farby
 - **iné soli W** – chemický a kožiarsky priemysel
 - **sulfid a selenid W** – suché mazadlo pri teplotách do 500°C

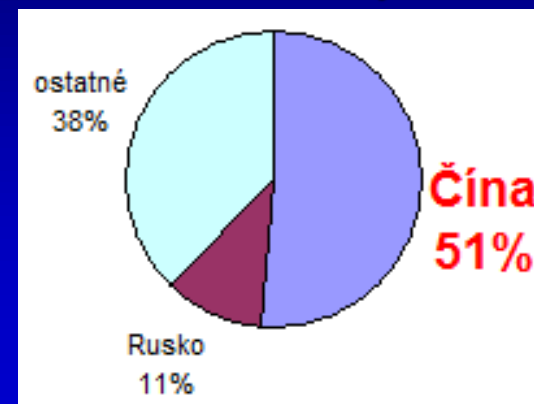
Môže nahrádzať toxické olovo v rôznych aplikáciách



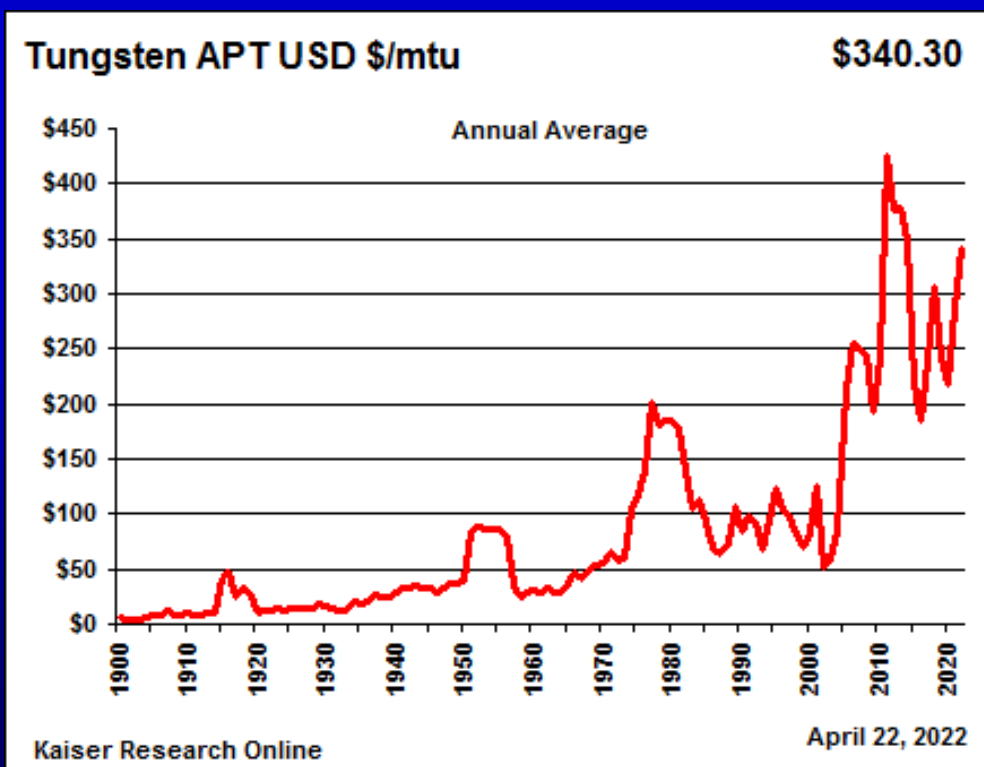
Volfrám (W) – Zásoby a těžba

- Svet. zásoby: 3 700 000 t
- Svetová těžba: 79 000 t
- Čína je hlavný svetový producent ale aj konzument, kontroluje svetový trh kvótami na ťažbu
- **Hraničná koncentrácia pre ťažbu: ~0,7 hm% W (žilné ložiská), ~0,4 hm% W (povrchová ťažba)**

Zásoby



Ťažba



Volfrám (W) – Výskyt

- kovový W sa v prírode nenachádza
- prítomný v izomorfných radoch **scheelit-powelit** a **ferberit-volframit-hübnerit**



scheelit
 CaWO_4



powelit
 CaMoO_4

volframit
 $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$



ferberit
 $\text{Fe}^{2+}\text{WO}_4$



hübnerit
 $\text{Mn}^{2+}\text{WO}_4$

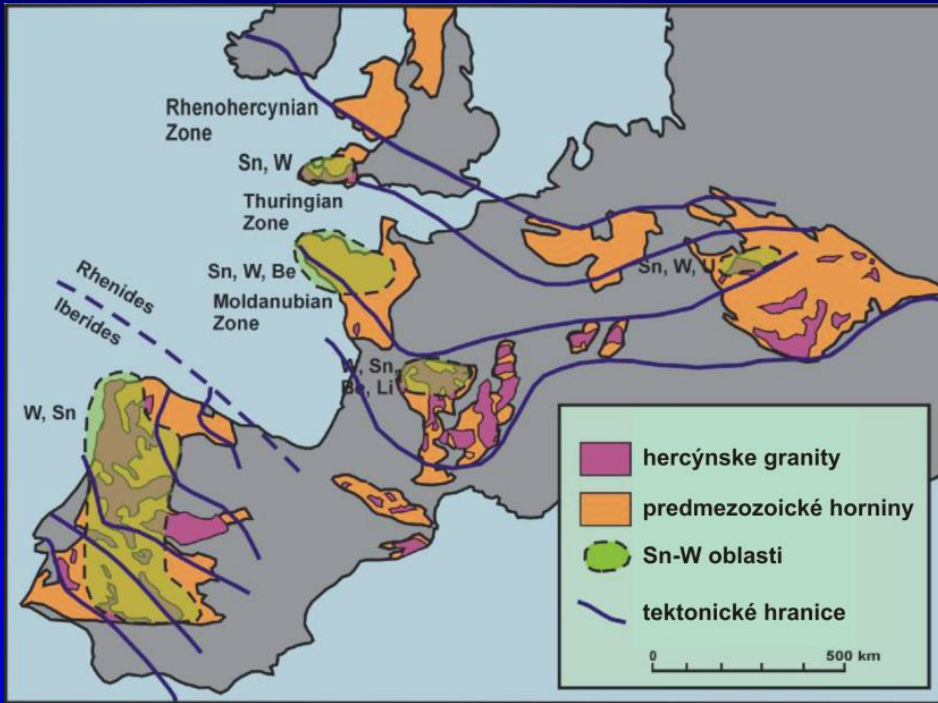
Volfrám (W) – Ložiská

- Ložiská asociujú najmä s **granitovými intrúziami** a **magmaticko-hydrotermálnymi fluidami**:
 - **Greizenové ložiská a kremenné žily** - produkt špecializovaných granitových magiem, žily a žilníky, asociácia s cínom a lítiom
 - **Skarny** - na kontakte magmatických telies s karbonátmi
 - **Porfýrové ložiská** - žilníky asociujúce s granitoidmi
- **Žily metamorfného pôvodu** - obvykle so zlatom
- **Ryžoviská** - minerály sú odolné pri zvetrávaní



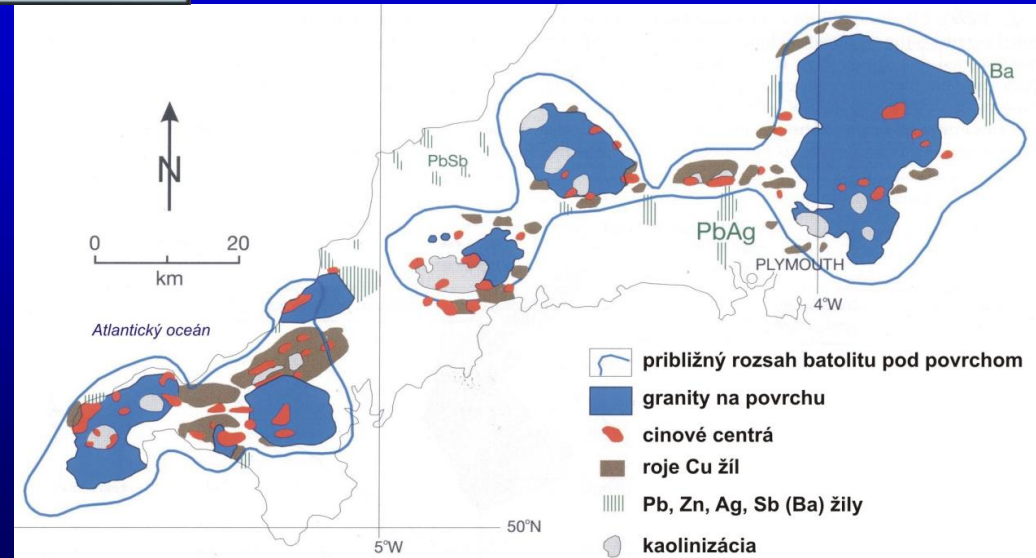
scheelitové zrudnenie v UV svetle

Volfrám (W) – Ložiská



európske greisenové
ložiská viazané na
hercýnske granitoidy

zonálna distribúcia
mineralizácií asociujúcich
s granitmi v oblasti Cornwall
(V. Británia)



Antimón (Sb)



Antimón (Sb) – Vlastnosti a história



- polokov
- striebro biely
- lesklý
- krehký
- zlý vodič elektriny a tepla

Protónové číslo	51
Relatívna atómová hmotnosť	121,75
Hustota	6,7 g/cm³
Oxidačný stupeň	3, 5
Teplota tavenia	630 °C
Teplota varu	1380 °C
Hojnosť v zemskej kôre	0,2 ppm

Antimón (Sb) – Použitie

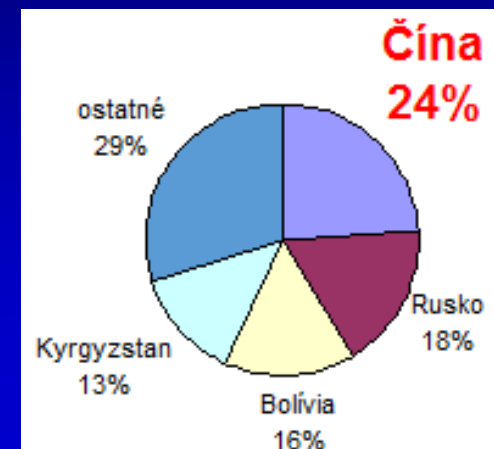
- Chemický priemysel (Sb oxidy)
 - prímes zabezpečujúca nehorľavosť farbív, lepidiel, plastov a niektorých umelých vlákien
 - Katalyzátor na výrobu PET fliaš a plastov
 - Výroba keramiky
- Elektronika
 - Výroba polovodičov (čistý Sb)
 - Sklo pre solárne panely
- Metalurgia - Sb zliatiny
 - **Sb + Pb** – zvyšuje **tvrdosť**: dosky v olovených akumulátoroch, polovodiče, chemické čerpadlá, inštalачné súčiastky, trúbky, fólie, náboje
 - **Sb + Cu** – odolnosť proti treniu: guľkové ložiská
- Sb sulfidy – rozbušky, zápalky, pyrotechnika, generátory, vulkanizačný činiteľ



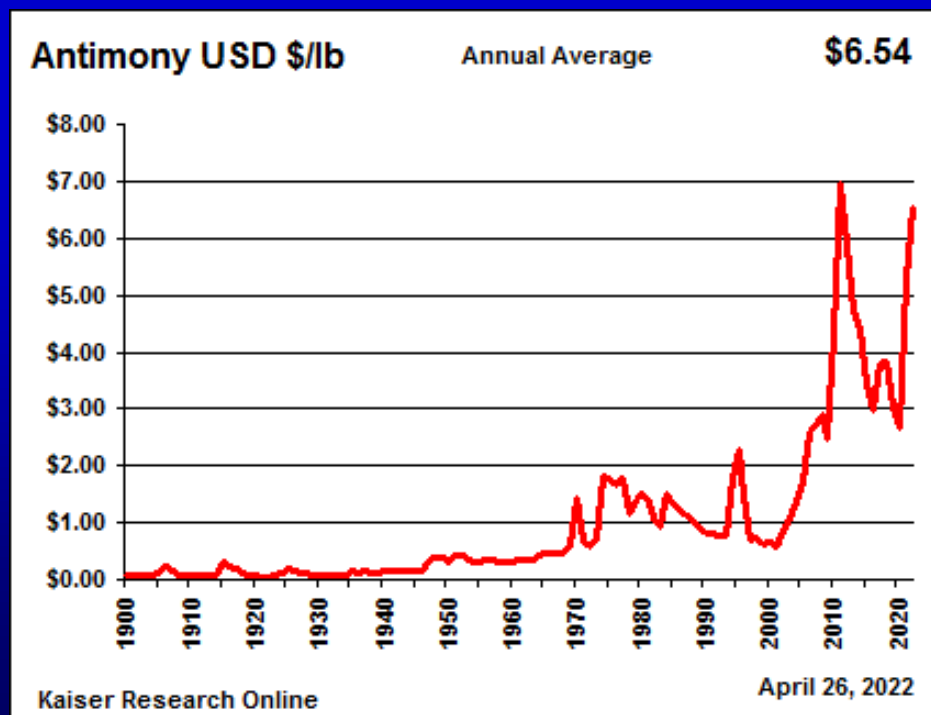
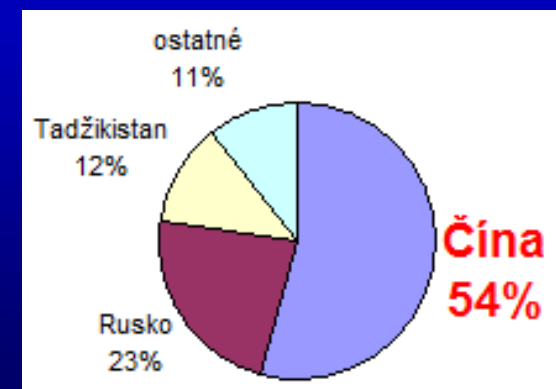
Antimón (Sb) – Zásoby a ťažba

- Svet. zásoby: >2 000 000 kt
- Svetová ťažba: 110 000 kt
- strategický kov – Čína dala kvóty na produkciu od r. 2009, čiastočne uvoľnené od r. 2014 a znovu zavedené v r. 2017
- cenu znižuje využívanie náhradných lacnejších surovín
- **Hraničná koncentrácia pre ťažbu: ~3 % Sb**

Zásoby



Ťažba



Antimón (Sb) – Výskyt

- v >100 mineráloch, ekonomicky najvýznamnejší je **antimonit**
- **chalkofilný prvok** – v mineráloch s S, Cu, Pb, Ag; zriedkavý v prírode aj **rýdzi Sb**



antimonit
 Sb_2S_3



antimón
 Sb

tetraedrit $(\text{Cu,Fe,Ag,Zn})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$



jamesonit
 $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$

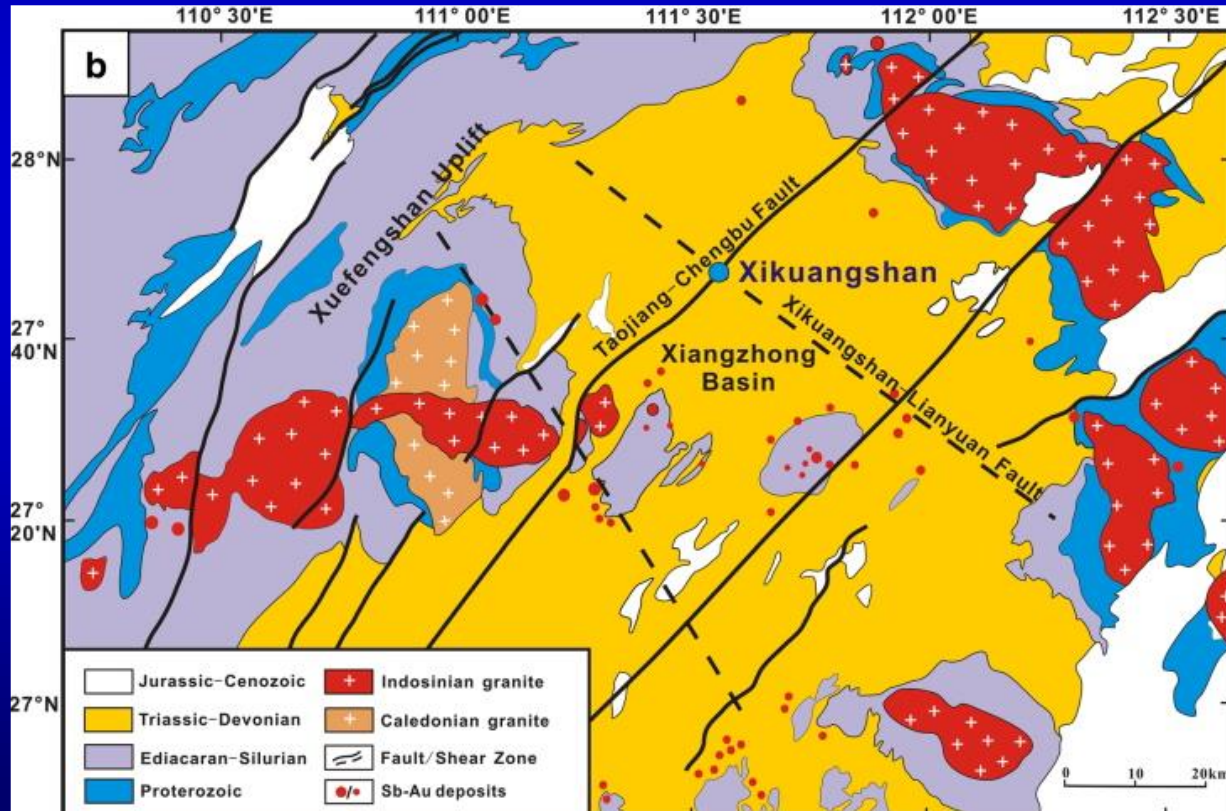


kermezit $\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$



Antimón (Sb) – Ložiská

- Ťaží sa najmä z **hydrotermálnych ložísk**, častá asociácia so zlatom
 - **Kremeňovo-antimonitové** žily a žilníky → hydrotermálna aktivita v súvislosti s vulkanizmom alebo metamorfózou
 - **Mineralizované karbonáty** v okolí zlomov

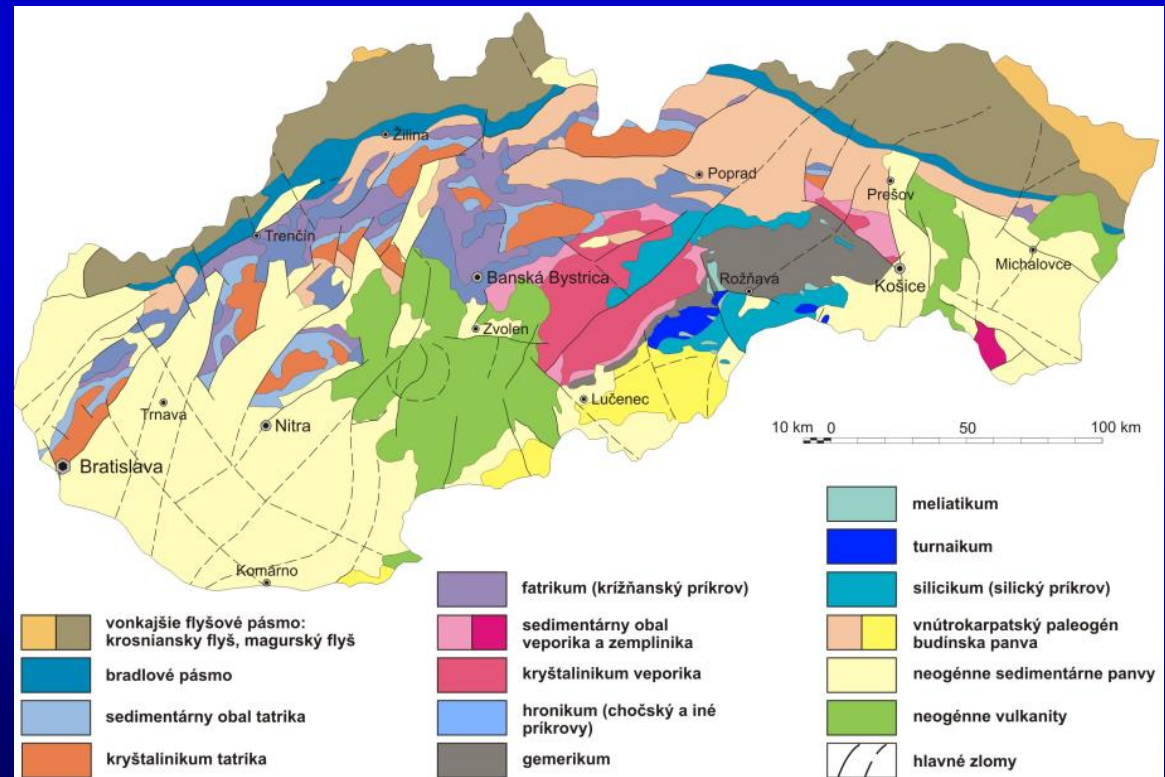


Geologická mapa Sb-Au metalogenetickej provincie Xiangzhong

Potenciál kritický rudných surovín na Slovensku

- vzhľadom na 800 rokov ťažby najbohatších rúd sú na Slovensku takmer všetky známe rudné ložiská už **vyťažené** alebo **nízkej kvality**
- Relatívne malé územie, potenciál **limitovaný geologickou stavbou Slovenska**
- Potenciálne zdroje kritických nerastných surovín:

- **Antimón**
- **Volfrám**
- **Kobalt**
- **Horčík**



Kritické nerastné suroviny v SR - antimón

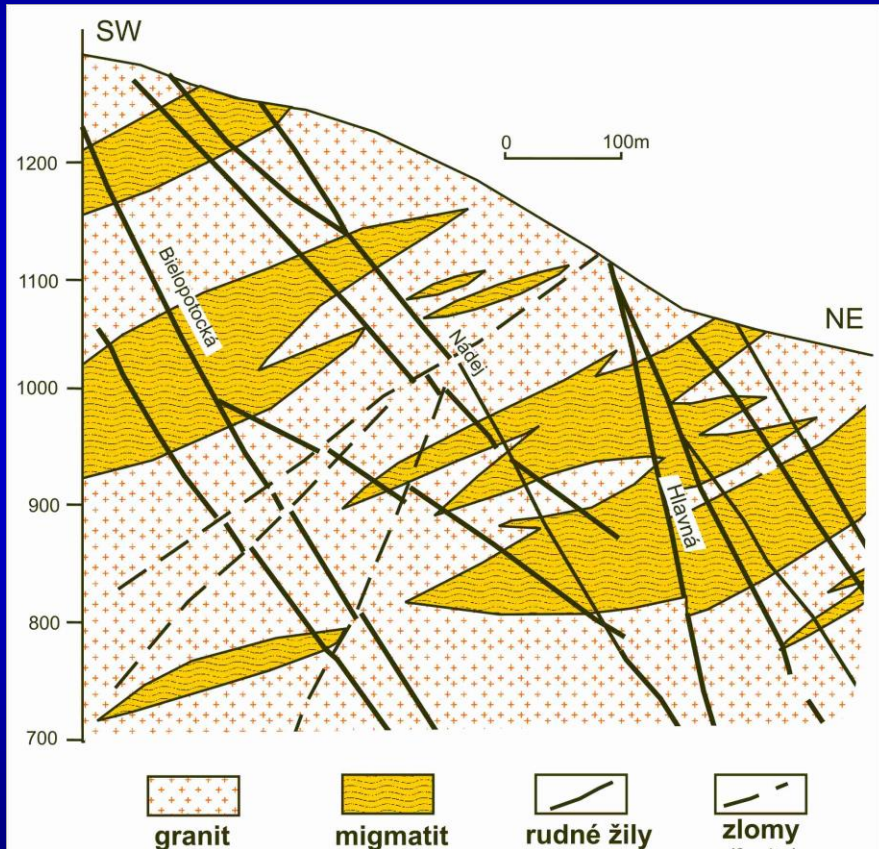
- Ťažený od 17. stor - **hydrotermálne žilné Sb-Au ložiská**:
 - V Nízkych Tatrách a Malých Karpatoch v kryštaliniku tatrika (**Dúbrava, Magurka, Lom, Medzibrod, Lomnistá, Pezinok**)
 - V Spišsko-gemerskom rudohorí v paleozoických horninách gemerika (**Zlatá Idka, Betliar-Čučma, Poproč**) a veporika (**Chyžné, Ozdín**)
 - V Kremnických a Slánskych vrchoch v neovulkanitoch (**Kremnica, Zlatá baňa, Byšta**)
- **Vrchol ťažby v 19. – 1. pol. 20. st.**, vyťaženie väčšiny kvalitnejších rúd, **ukončenie ťažby v r. 1992** (Dúbrava, Pezinok) s prechodom na trhovú ekonomiku (nerentabilita v danej dobe)



1. Pezinok - Sb
2. Pezinok Sb
3. Pezinok - Vinohrady
4. Pezinok
5. Dúbrava - Ľubel'ská
6. Dúbrava - Martin štôľňa
7. Dúbrava - Matošovec
8. Dúbrava - Predpekelná
9. Dúbrava

Kritické nerastné suroviny v SR - antimón

- Potenciál na obnovenie ťažby** zostávajúcich zásob rúd (evidovaných 55 358 t Sb) a **spracovaním odkalísk** (enviromentálna záťaž)



rez metamorfogénnym Sb-Au ložiskom Dúbrava

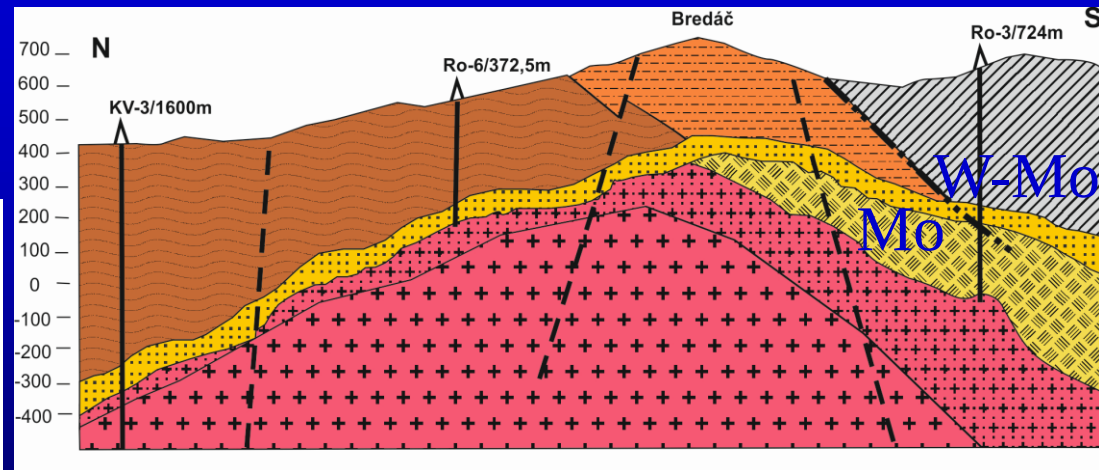


Sanácia havárie na odkalisku ložiska
Dúbrava

Kritické nerastné suroviny v SR - volfrám

- Doteraz sa na Slovensku neŕažil, v 70- a 80-tych rokoch 20. stor. úspešný prieskum:
 - V Nízkyh Tatrách v kryštaliniku tatrika W-Au žilno-žilníkové ložisko (**Jasenie-Kyslá**)
 - V Spišsko-gemerskom rudohorí v styčnej zóne veporika a gemerika W-Mo porfýrový typ ložiska (**Ochtiná-Rochovce**)
- Obnovenie prieskumu v r. 2016 najmä na ložisku Ochtiná-Rochovce - overenie 2,4 mil. t. rúd s 0,22% W a 5 mil. t. rúd s 0,216% Mo (**bilančné zásoby, získané dobývacie povolenie**)

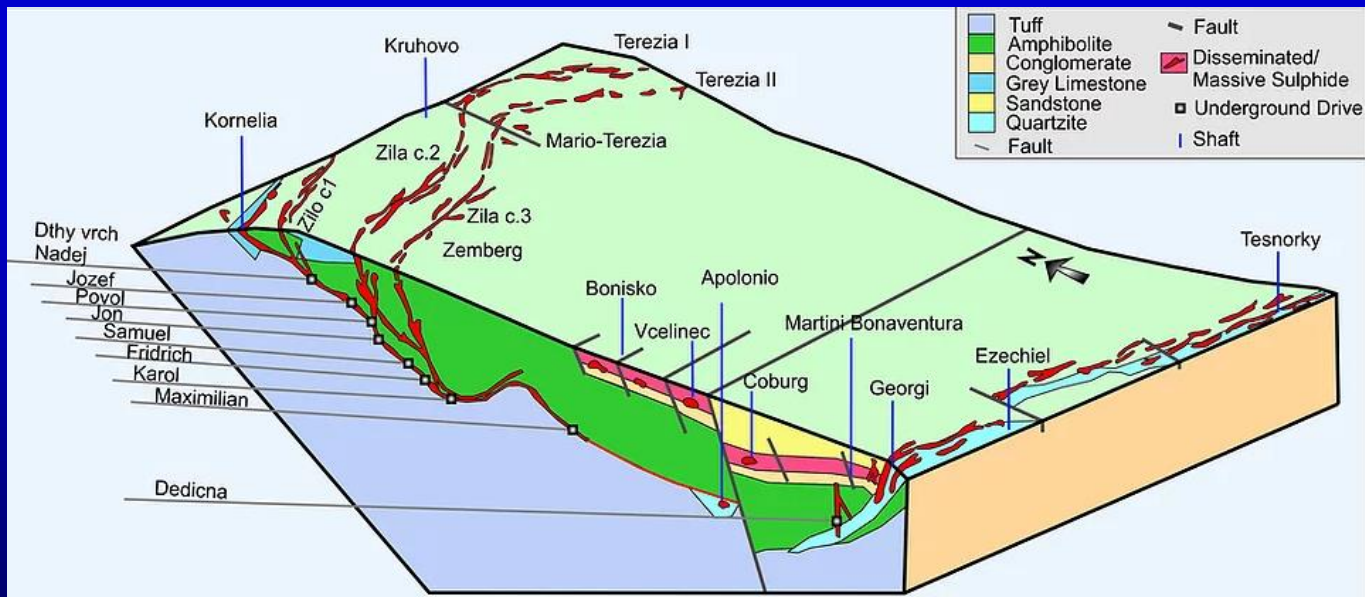
1. Jasenie – Kyslá
2. Ochtiná I.



Ochtiná-Rochovce – magmaticko-hydrotermálne ložisko W-Mo porfýrového typu

Kritické nerastné suroviny v SR - kobalt

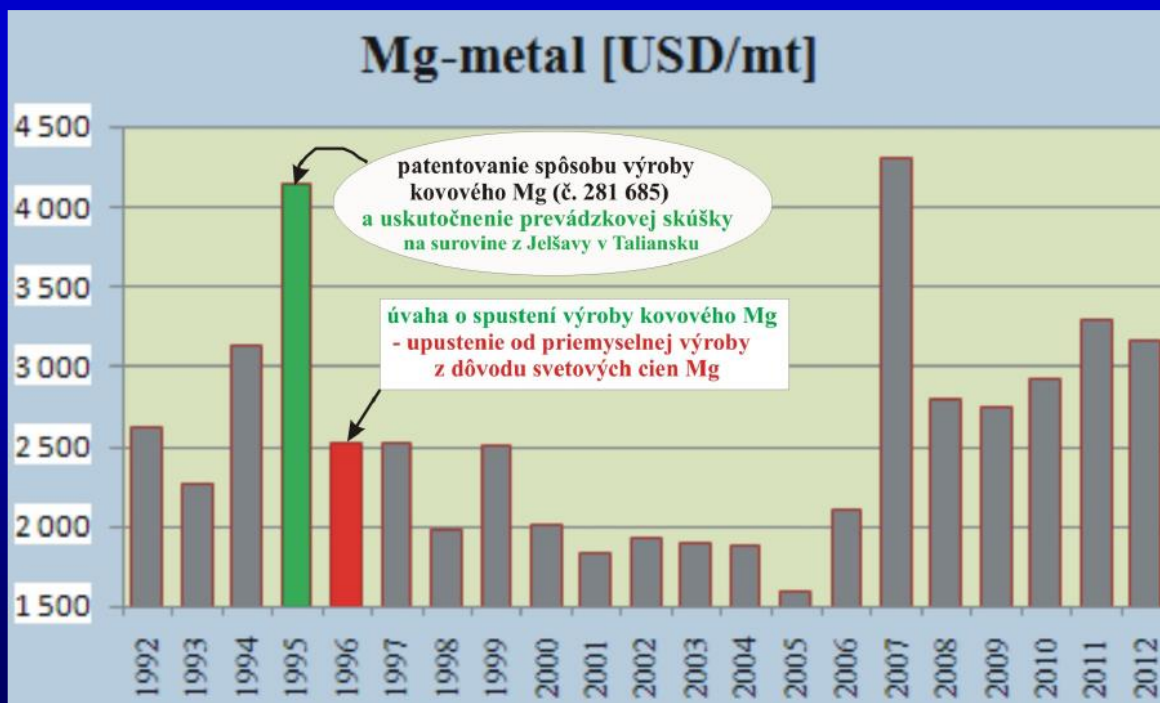
- Ťažený **v rokoch 1850 – 1918** - svetový význam:
 - **Spišsko-gemerskom rudohorí** v paleozoických horninách gemerika (**Dobšiná** – siderit-sulfidické žily s Ni-Co zrudnením)
 - Obnovenie prieskumu v minulom desaťročí – neboli objavené významnejšie zásoby
- Potenciál ako vedľajšia úžitková surovina na magnezitovo-mastencovom ložisku **Hnúšťa-Mútnik** (Spišsko-gemerské rudohorie – veporikum) – výskyt **Co-Cu žilníkovej mineralizácie** (minerál kobaltín)



Ni-Co ložisko Dobšiná v Dobšinskom rudnom poli –
komplexná siderit-sulfidická žilná mineralizácia

Kritické nerastné suroviny v SR - horčík

- **Potencionálny zdroj v magnezite**, nutné overiť technológiu a rentabilitu
- Slovensko – **popredný svetový producent magnezitu**, ťažený od 1891, rozmach po 2. svet. vojne – objavené **obrovské zásoby**, doteraz **vyťažené 1600 Mt** magnezitu, ročná produkcia 1,2-1,6 Mt, **zásoby 350 Mt**
- Vznik na úkor karbonátov v paleozoiku gemerika v **Spišsko-gemerskom rudohorí** - ložiská v pásme 120 km, od Z na V: **Podrečany– Burda – Sirk – Lubeník – Dúbravský masív – Ochtiná – Košice**



Snahy o výrobu Mg v 90-tych rokoch, súčasná cena je ~2300 USD/t

Kedy sa niektoré suroviny sa stanú nedostatkovými?

- Fyzicky sa žiadna surovina úplne neminie, len ju **nebude ekonomické ťažiť** – príliš vysoké náklady na ťažbu a spracovanie → **nárast ceny suroviny** až do neakceptovateľnej sumy
- Koniec obdobia objavovania obrovských ložísk **v menej rozvinutých krajinách**, nízkych nákladov na pracovnú silu, ochranu životného prostredia → **trend zvyšovania cien surovín**
- Tlak na **nahrádzanie nedostatkových surovín** → často horšie vlastnosti, niekedy nemožné
- Ťažba čoraz horších rúd si môže vyžadovať čoraz **väčšiu záťaž na životné prostredie** → paradox zvýšeného dopytu kvôli novým technológiám priateľskejším k životnému prostrediu
- **Raketový nárast ceny** kritických kovov však môže zabrániť tomu, aby sa tieto technológie presadzovali

