

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geologie



**Tomáš Pechar**

Ložiska vzácných zemin ve světě a jejich indicie v České republice  
Rare Earth Elements deposits in the World and their indications at Czech Republic

Typ závěrečné práce

(Bakalářská)

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: RNDr. Jirí Zachariáš, Ph.D.

Praha, 2012

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 25. 5. 2012

Podpis

## **Poděkování**

Především bych chtěl poděkovat svému školiteli RNDr. Jiřímu Zachariášovi, Ph.D., který mi svými četnými odbornými konzultacemi pomohl objasnit řadu problémů a za vedení a kritické posouzení předkládaného textu.

## Obsah

1) Úvod .....	str. 1
2) Kovy vzácných zemin, hlavní způsob využití .....	str. 2
3) Minerální složení rud obsahujících vzácné zeminy .....	str. 10
4) Typy ložisek .....	str. 14
5) Analýza surovinového potenciálu vzácných zemin v ČR .....	str. 18
6) Perspektivy trhu se vzácnými zeminami .....	str. 20
7) Světové zásoby a současná těžba vzácných zemin .....	str. 24
8) Závěr .....	str. 32

## Seznam použitých zkratk

**REE** – vzácné zeminy

**REO** – oxidy vzácných zemin

**HREE** – těžké vzácné zeminy

**LREE** – lehké vzácné zeminy

## 1. ÚVOD

Využití a získávání vzácných zemin (dále již jen REE) je v současné době velice aktuální téma a to hned z několika důvodů. Vyšší ceny a globální nedostatek této suroviny v současnosti souvisí se stále rostoucí poptávkou po této komoditě, která pramení z rychlého rozvoje nových technologií a mimo jiné též z vyššího využívání obnovitelných zdrojů energie (hl. fotovoltaiky). Dalším důvodem je stávající čínský monopol na produkci REE. V roce 2011 činila čínská produkce 97% světové těžby REE. Navíc v roce 2010 Čína překvapila nepřipravený svět, když na svůj export REE suroviny uvalila částečné embargo. Čína už po tři roky vývoz postupně omezuje, i když současná poptávka ve světě roste. Otevření nových dolů v Austrálii selhalo kvůli ekonomické krizi a většina ostatních dolů ve světě byla postupně uzavřena kvůli neschopnosti konkurovat levnému čínskému vývozu.

Tato bakalářská práce je rešeršního charakteru. V prvních kapitolách představuji REE jako takové a jejich možné využití. Dále jsem se soustředil na nejvýznamnější typy ložisek, na které se váží jak těžená ložiska se známými parametry, tak prognózní zdroje a výskyty, jejichž ekonomický význam je zatím nejasný. Popisuji i výskyty, které nejsou a pravděpodobně ani v budoucnosti nebudou ekonomicky využitelné, ale mají význam pro pochopení geologických procesů, které vedly k nahromadění REE. O zásobách na území České republiky existuje jen malé množství údajů, proto jsem se omezil na stručný popis hlavních lokalit. V závěru shrnuji světový trh s REE, současnou světovou těžbu a ověřené výskyty, které jsou připravovány do těžby.

## 2. KOVY VZÁCNÝCH ZEMIN

Mezi REE řadíme 15 prvků, které se vyskytují v periodické tabulce od atomového čísla 57 (lanthanu) do atomového čísla 71 (lutecium). Tyto prvky se také běžně označují jako "lanthanoidy". Mezi ně zahrnujeme díky svým chemickým a fyzikálním vlastnostem i prvky yttrium (atomové číslo 39) a skandium (atomové číslo 21) (Long et al. 2010).

Tradičně jsou REE rozděleny do dvou skupin na základě své atomové hmotnosti: Lehké prvky vzácných zemin (LREE) vyskytující se v periodické tabulce od lanthanu až po samarium (atomová čísla 57 až 62) a těžké prvky vzácných zemin (HREE) jsou prvky od europia po lutecium (atomová čísla 63 až 71). Přestože yttrium (atomové číslo = 39) je nejlehčí prvek z REE, díky svým chemickým a fyzikálním vlastnostem v přírodě je zahrnut ve skupině HREE (Škoda 2010).

Většina REE však nejsou v pravém slova smyslu příliš vzácné. Byly tak pojmenovány, protože většina z nich byla objevena až v průběhu 18. a 19. století jako příměs ve vzácných minerálech. Nejhojnější prvek REE v zemské kůře je cer (klark 64ppm), který je častější než například olovo (klark 13ppm) nebo stříbro (klark 80ppb) či zlato (klark 4ppb) (Taylor et al. 1985 in Castor et al. 2006).

Lanthanidové prvky se sudými atomovými čísly jsou dvakrát až sedmkrát hojnější než sousedící lanthanoidy s lichým atomovým číslem jak ukazuje tabulka č. 1. Vyjímkou je promethium, které je složeno pouze z nestabilních izotopů s velmi krátkým poločasem rozpadu a jeho izotopy se v přírodě nevyskytují (Škoda 2010).

Vzhledem ke stabilitě oxidů REE a jejich podobným chemickým vlastnostem, nebylo snadné najít způsob, jak prvky vzácných zemin zušlechtit na jednotlivé čisté kovy. K vyvinutí separačních procesů a k identifikování všech REE došlo až ve 20. století. Promethium, nejvzácnější z REE, bylo identifikováno až v roce 1945 a lutecium bylo rafinované jako čistý kov až v roce 1953 (Emsley 2001 in Castor et al. 2006). Komerční trhy pro většinu prvků vzácných zemin vznikly teprve za posledních 50 let (Castor et al. 2006).

HEAVY Rare Earth Elements																		LIGHT Rare Earth Elements		by Geology.com	
H																	He				
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt													
Lanthanides																					
La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu																					
Actinides																					
Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr																					

lanthan, cer, praseodym, neodym,  
promethium, samarium, europium,  
gadolinium,  
terbium, dysprosium, holmium, erbium,  
thulium,  
ytterbium, lutecium, skandium,  
yttrium

Obr. 1. Periodická tabulka prvků (převzato z geology.com)

REE jsou litofilní prvky (tj. vyskytující se, zejména v zemské kůře), které se vyskytují společně jako trojmocné kationy v karbonátech, oxidech, fosfátech a silikátech. Výjimkou je europium, vyskytující se též jako dvojmocný kation a cer, vyskytující se též jako čtyřmocný kation. Zvýšení atomového čísla v lanthanoidech není doprovázeno změnou valence a všechny lanthanoidy obývají stejnou buňku v periodické tabulce. Podobné poloměry a oxidační stavy REE umožňují jakékoli výměny REE jeden za druhý v různých krystalových mřížkách. Tato substituce odpovídá za jejich rozsáhlé rozptýlení

v zemské kůře a objasňuje i výskyt více REE v jednom minerálu. Chemické a fyzikální rozdíly, které existují v rámci skupiny REE, jsou způsobeny malými rozdíly v iontových poloměrech a odlišnou hmotností jednotlivých prvků. Tyto drobné rozdíly mohou vést až k segregaci REE do mineralizací bohatých na LREE či různě intenzivním uplatněním HREE a yttrium (*Castor et al. 2006*).

atom. číslo	prvek	symbol	klark
57	lanthan	La	30
58	cer	Ce	64
59	praseodym	Pr	7,1
60	neodym	Nd	26
61	promethium	Pm	-
62	samarium	Sm	4,5
63	europium	Eu	0,9
64	gadolinium	Gd	3,8
65	terbium	Tb	0,6
66	dysprosium	Dy	3,5
67	holmium	Ho	0,8
68	erbium	Er	2,3
69	thulium	Tm	0,3
70	ytterbium	Yb	2,2
71	lutecium	Lu	0,3
21	skadmium	Sc	22
39	yttrium	Y	22

Tab. 1. Průměrné obsahy REE v zemské kůře (podle Henderson 1994 in Jones et al. 1996)

## HLAVNÍ ZPŮSOB VYUŽITÍ

Rozdělení spotřeby oxidů REE mezi různá průmyslová odvětví není zcela rovnoměrné (tab. 2). Spotřeba je rovnoměrně rozdělena především mezi sklářský průmysl (28 400 t; leštění 68%, přísady 42%), katalyzátory (27 400 t; fluidní krakování 72%, katalyzátory 28%), Nd-Fe-B (26 300 t), hutnictví a slitiny (23 600 t) a jiné použití (23 500 t).

V roce 2008 bylo na celém světě spotřebováno 129 000 tun REO (*Cordier et al. 2010*). Z tohoto množství spotřebovaly 60% tradiční průmyslové sektory (katalyzátory, sklo, osvětlení, hutní průmysl a odvětví, které rostou na základě růstu celého hospodářství). Zbývajících 40% bylo spotřebováno v nových a rychle rostoucích „high technology“ sektorech (bateriové slitiny, keramika, magnety a další sektory, které rostou o 4 až 10% ročně) (*Bade 2010 in Goonan 2011*).

Stále se zvyšující spotřeba REO by mohla být z části hrazena recyklací již vyřazených výrobků. Tím by mohla být redukována stále se zvyšující cena REO. V současné době, však recyklace REO nikde ve světě neprobíhá, nicméně v reakci na čínské vývozní limity společnost Hitachi Ltd. z Japonska zkoumá recyklaci REE a společnost Kosaka Smelting and Refining vyvíjí způsob na recyklaci REE z elektronického šrotu (*Goonan 2011*).

## Tradiční průmyslové sektory

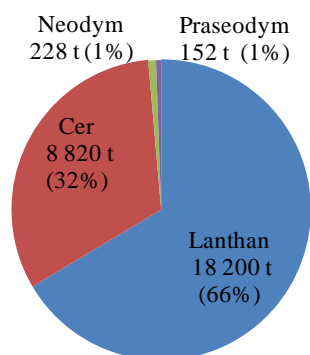
Tradiční průmyslové sektory (katalyzátory, sklářský průmysl, hutnictví kromě bateriových slitin a luminofory) využívají především cer (45% REO), lanthan (39% REO) a yttrium (8,0% REO). Oxidy Dy, Gd, Nd, Pr a dalších REE zahrnují zbývajících 7% (Goonan 2011).

### Katalyzátory

REE jsou především používány v automobilových katalyzátorech výfukových plynů. Oxid ceru je využíván jako katalyzátorový substrát a složka oxidačních katalyzátorových systémů (Walters et al. 2011). REE umožňují průběh katalyzačních reakcí za vysokých teplot a redukuje tím množství platinových a jiných drahých kovů a tím snižují cenu katalyzátorů (Lynas corp. 2012)

Další oblastí využití REE jsou procesy fluidního krakování během rafinace ropy. Při tomto procesu se využívá lanthan a cer pro stabilizování strukturního a chemického složení velké plochy zeolitů, které jsou během této aplikace molekulárním sítem (Goonan 2011).

V roce 2008 bylo cca 27 400 t REO spotřebováno na výrobu katalyzátorů pro fluidní krakování (72%) a automobilové katalyzátory (28%). Podrobná distribuce REO v tomto odvětví je znázorněna na obr. 2. a v tab. 2. (Goonan 2011).



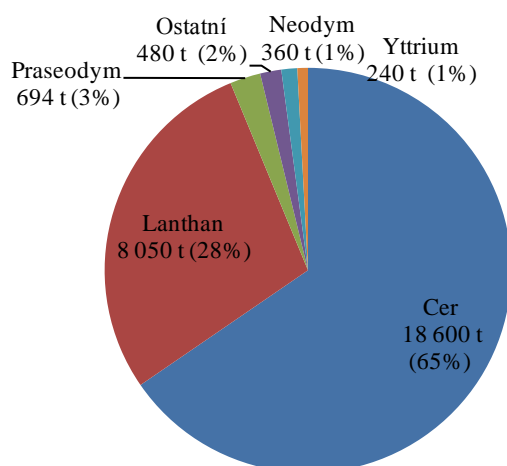
Obr. 2. Rozdělení REO spotřebovaných v roce 2008 v kategorii katalyzátorů (podle Goonan 2011)

### Výroba skla a produktů ze skla

Cer se používá jako odbarvovací činidlo na sklo. Sklo je při výrobě vždy znečištěno oxidy železa, které způsobují jeho žlutozelenou barvu. Přidáním oxidu ceru se železo oxiduje. REE se také používají jako barviva skla. Malé množství ceru sklo sice odbarvuje, avšak přidání většího množství zbarvuje sklo na žlutou a hnědou barvu. Neodym zbarvuje sklo červeně, praseodym zeleně, holmium modře a erbium růžově. Ostatní barvy vznikají smícháním REE s jinými prvky. REE jsou také velmi důležitou přísadou do skla, díky jejich schopnosti absorbovat ultrafialové záření. Sklo obsahující oxid lanthanu má vysoký index lomu a nízký rozptyl a využívá se zejména pro kamerové čočky. Optické čočky obsahující gadolinium jsou používány v elektrooptických a magnetooptických systémech (Gupta et al. 2005 in Goonan 2011). Cer je také velice vhodný jako leštící prostředek pro výrobu zrcadel, televizních obrazovek a katodových trubic.



V roce 2008 bylo cca 28 400 t REO spotřebováno ve sklářském průmyslu. Podrobná distribuce REO v tomto průmyslu je znázorněna na obr. 3. a v tab. 2. (Goonan 2011).

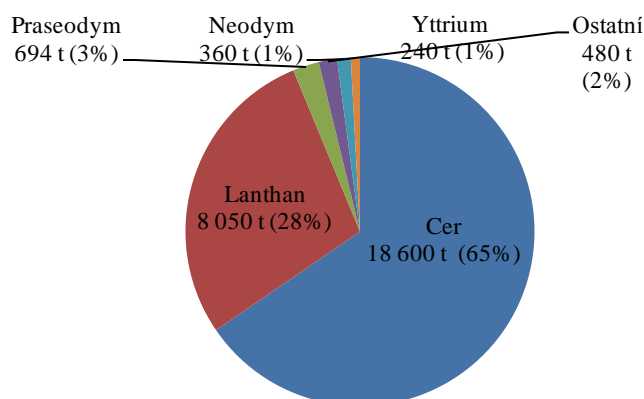


Obr. 3. Rozdělení REO spotřebovaných v roce 2008 v kategorii sklo a lešticí prostředky (podle Goonan 2011)

#### Hutnictví (bez bateriových slitin)

REE jsou v malých množstvích přidávány do hliníku, železa, oceli a dalších kovů pro zlepšení vybraných fyzikálních vlastností výsledných slitin. Jsou používány jako feroslitiny, „master slitiny“, „mischmetal“ (směs převážně oxidů ceru a lanthanu) nebo jako kovy (Goonan 2011).

V roce 2008 bylo v tomto odvětví spotřebováno cca 11 500 t REO. Podrobná distribuce REO v tomto odvětví je znázorněna na obr. 4. a v tab. 2. (Goonan 2011).

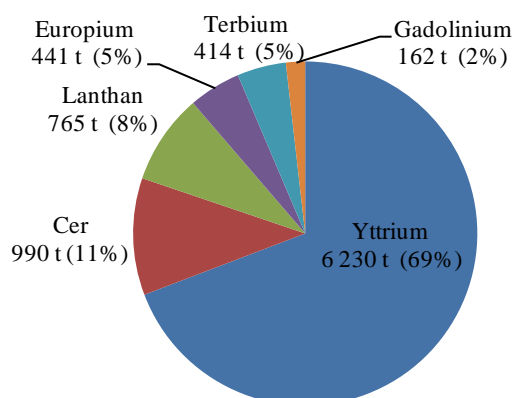


Obr. 4. Rozdělení REO spotřebovaných v roce 2008 v kategorii hutnictví (bez bateriových slitin) (podle Goonan 2011)

## Luminofory

Sloučenin yttria a europia se používá jako luminoforů. Luminofor je využíván v televizích a počítačových obrazovkách a v každém jiném zařízení s vizuálním zobrazením, které vyžadují katodovou trubici, display z tekutých krystalů nebo plazmovou obrazovku. Luminoforem je pokrytý vnitřní povrch všech zářivek a většiny výbojek. Tato vrstva mění energii elektrického výboje na viditelné světlo. Právě složení luminoforu určuje barvu světla u zářivek. Luminofory také nacházejí využití v energeticky úsporných osvětleních. Kompaktní zářivka spotřebuje jen čtvrtinu energie, které spotřebuje při stejném množství světla klasická žárovka (*Lynas Corp. 2012*). V poslední době, se však prosazuje výroba bílých LED diod, které jsou o 80% úspornější než klasická žárovka a o 40% úspornější než kompaktní zářivka (*Avalon Rare Metals 2012*). REE jsou také používány při výrobě optických vláken a medicínálních laserů.

V roce 2008 bylo v tomto odvětví spotřebováno cca 9 000 t REO. Podrobná distribuce prvků v tomto odvětví je znázorněna na obr. 5. a v tab. 2. (*Goonan 2011*).



Obr. 5. Rozdělení REO spotřebovaných v roce 2008 v odvětvích používaných fosfor (podle *Goonan 2011*)



Obr. 6. Použití REE v hybridním elektrickém autě (převzato z *Molycorp Inc., 2012*)

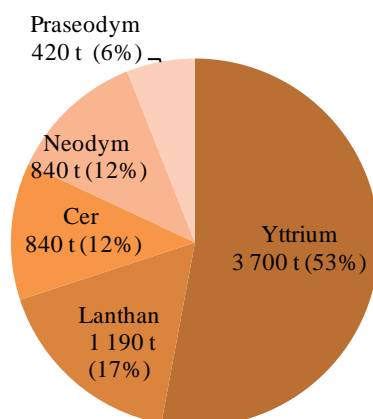
## „High technology“ odvětví

Ve vyvíjejícím se sektoru moderních technologií („high technology“), neodymový oxid tvořil 41% REO spotřebovaných v tomto odvětví, oxid lanthanitý tvořil 16%, oxid ceru 15%, oxid praseodymu 14%, oxid yttria 10%, oxid dysprosia 2,5% procenta, oxid gadolinia 1% a oxid samaria 1% REO (Goonan 2011).

## Keramika

Oxidy REE jsou pro odvětví keramiky nezbytné. Přidáním oxidů ceru a yttria se ve strukturální keramice zlepšuje tuhost a pevnost výrobků a také se snižuje teplota slinování a výrobní náklady. REO se také používají v piezoelektrické, dielektrické keramice a funkční keramice jako jsou polovodičové senzory (Guanming et al., 2007 in Walters 2011). REO se dále přidávají do keramických glazur jako barviva. Přidáním praseodymu k zirkoniu s oxidem křemičitým vzniká žlutá barva, yttrium vytváří barvu oranžovou a neodym světle růžovou. Tyto barvy jsou velmi stabilní za vysokých teplot, mohou tak být vystaveny dvojitému vypalovacímu procesu (Gupta 2005 in Walters 2011).

V roce 2008 bylo spotřebováno v keramickém sektoru cca 7 000 t REO. Podrobná distribuce REO v tomto odvětví je znázorněna na obr. 7. a v tab. 2. (Goonan 2011).

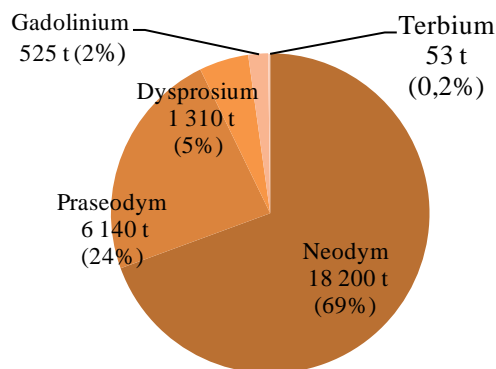


Obr. 7. Rozdělení REO spotřebovaných v roce 2008 v odvětví keramiky (podle Goonan 2011)

### Nd-Fe-B magnety

Vzhledem k jejich vysoké magnetické síle, jsou Nd-Fe-B magnety velice žádaným zbožím pro malé i velké motory a generátory. Malé (servo) motory jsou používány jako elektrické pohony počítačových disků či oken v automobilech. Při výrobě jednoho motoru používaného např. v elektrických automobilech je spotřebováno až 200 g neodymu a 30 g dysprosia (Keane 2009 in Goonan 2011). Generátory větrných turbín spotřebují až 1 t neodymových magnetů na každý generovaný megawatt elektrické kapacity (Avalon Rare Metals 2012).

V roce 2008 bylo spotřebováno v pro výrobu Nd-Fe-B magnetů cca 26 300 t REO. Podrobná distribuce REO při výrobě Nd-Fe-B magnetů je znázorněna na obr. 8. a v tab. 2. (Goonan 2011).

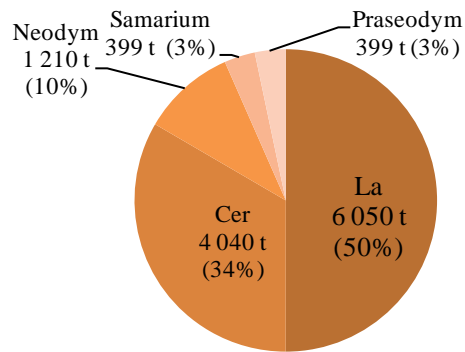


Obr. 8. Rozdělení REO spotřebovaných v roce 2008 při výrobě Nd-Fe-B magnetů (podle Goonan 2011)

### Bateriové slitiny

Záporná elektroda nikel-metal-hydridového dobíjecího akumulátoru (NiMH) se skládá z různých materiálů, jejichž hlavní funkcí je akumulovat vodík v mřížce elektrody. Některé z těchto materiálů obsahují REO, konkrétně tzv. třída RENi5, kde jsou REO zastoupeny především oxidy ceru a lanthanu s malým množstvím dalších REO zahrnutých v závislosti na povaze „mischmetalu“ používaného při výrobě (Kopera 2004 in Goonan 2011). RENi5 se používá výhradně v autobateriích pro elektromotory. Vysoké tempo růstu prodeje elektrických vozů vyvolalo obavy, zda existuje dostatečná produkce REE/zásoby k pokrytí poptávky po těchto autobateriích (Anderson et al. 2009 in Goonan 2011).

V roce 2008 bylo spotřebováno při výrobě bateriových slitin 12 100 t REO. Podrobná distribuce REO v tomto odvětví je znázorněna na obr. 9. a v tab. 2. (Goonan 2011)

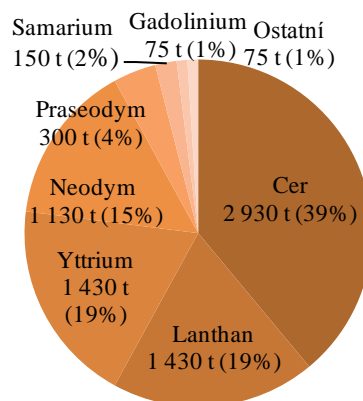


Obr. 9. Rozdělení REO spotřebovaných v roce 2008 při výrobě bateriových slitin (podle Goonan 2011)

### Ostatní (nespecifikované) kategorie

Mezi ostatní kategorie, používající REE patří například výroba vojenských zbraní, satelitních systémů anebo také úprava vody.

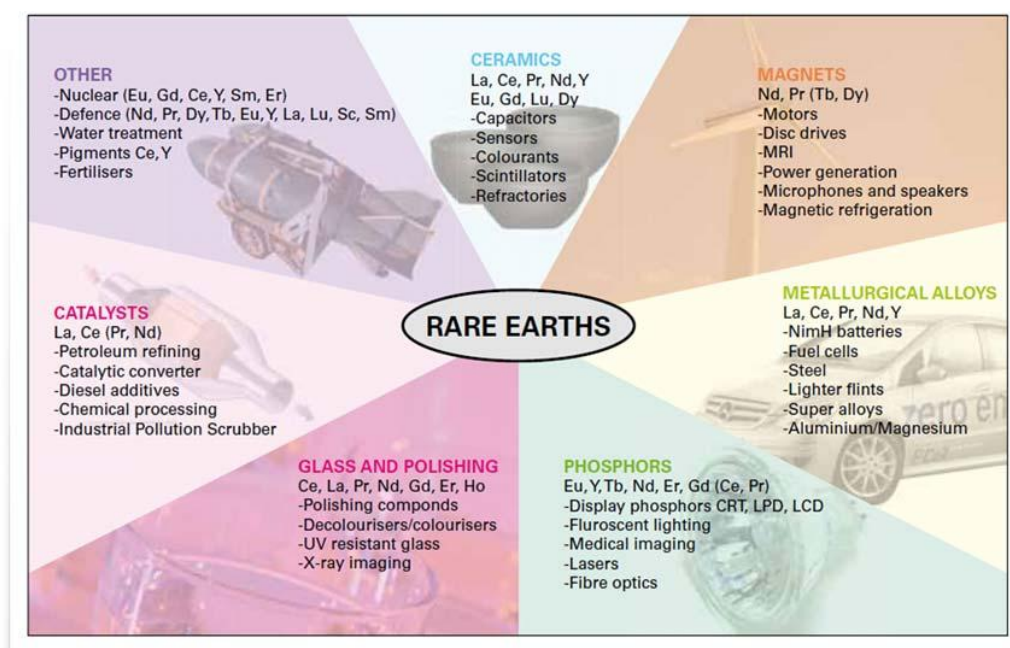
V roce 2008 bylo v této kategorii spotřebováno cca 7 500 t REO. Podrobná distribuce REO v tomto odvětví je znázorněna na obr. 10. a v tab. 2. (Goonan 2011).



Obr. 10. Rozdělení REO spotřebovaných v roce 2008 v ostatních nspecifikovaných kategoriích (podle Goonan 2011)

REO	Katalyzátory	Keramika	Sklařský průmysl	Hutnictví (bez bat.slitin)	Neodymové magnety	Bateriové slitiny	Luminofory	Ostatní	Celkem
Ce	8 820	840	18 620	5 980	-	4 040	990	2 930	42 220
Dy	-	-	-	-	1 310	-	-	-	1 310
Eu	-	-	-	-	-	-	441	-	441
Gd	-	-	-	-	525	-	162	75	762
La	18 180	1 190	8 050	2 990	-	6 050	765	1 430	38 655
Nd	228	840	360	1 900	18 200	1 210	-	1 130	23 868
Pr	152	420	694	633	6 140	399	-	300	8 738
Sm	-	-	-	-	-	399	-	150	549
Tb	-	-	-	-	53	-	414	-	467
Yt	-	3 710	240	-	-	-	6 230	1 430	11 610
Ostatní	-	-	480	-	-	-	-	75	555
Celkem	27 380	7 000	28 444	11 503	26 228	12 098	9 002	7 520	129 175

Tab. 2. Spotřeba REO v jednotlivých odvětvích v roce 2008 (množství je uváděno v tunách) (podle *Goonan 2011*)



Obr. 11. Přehled použití REE v jednotlivých odvětvích (převzato z Rare Earths Global Limited 2012)

### 3. MINERÁLNÍ SLOŽENÍ RUD OBSAHUJÍCÍCH VZÁCNÉ ZEMINY

REE se jako ryzí kovy přirozeně nevyskytují. REE se vyskytují v širokém spektru minerálních typů, jako jsou halidy, karbonáty, oxidy, fosfáty a silikáty. Je známo kolem 200 minerálů obsahujících REE, ačkoliv jen málo z nich se stalo komerčně významnými (Walters *et al.* 2011). Téměř veškerá produkce REE pochází z méně než 10 minerálů. V tab. 3. jsou uvedeny minerály, které jsou ekonomicky významné nebo mají potenciál se ekonomicky významnými stát v budoucnosti (Castor *et al.* 2006). Převažující zastoupení REE v minerálu indikuje chemický symbol prvku REE, například bastnäsit (Ce) – dominantním REE je cer, ale může také obsahovat lanthan, neodym nebo praseodym (Walters *et al.* 2011). V minulosti byla produkce REE omezena jen na ty REE-nosné minerály, u kterých byla gravitační a elektromagnetická separovatelnost a následná rozložitelnost získaného minerálu nejjednodušší. Velká většina zdrojů REE je asociována hlavně se třemi minerály- bastnäsit, monazit, xenotim. Bastnäsit a monazit jsou primárními zdroji LREE. Bastnäsit obsahuje hlavně Ce, La a Nd a monazit obsahuje méně La, více Nd a HREE. Xenotim, obsahuje především těžší REE, Y, Dy, Er, Yb a Ho (Harben 2002 in Walters *et al.* 2011).

#### Bastnäsit

Soustava: hexagonální

Vzorec:  $(\text{Ce,La,Y,Nd})(\text{CO}_3)(\text{F,OH})$

Patří do skupiny flourokarbonátů. Nejhojnějším členem řady bastnäsitu je bastnäsit- (Ce), který často obsahuje i příměsi ostatních REE a Th. Je voskově žlutý až hnědý, skelný až mastný a má nerovný lom a žlutohnědý vryp. Jeho trdost podle Mohse je 4 - 4.5 a specifická hustota se pohybuje od 4.8 – 5,2 (Korbel *et al.* 2004). Bastnäsit se vyskytuje v alkalických pegmatitech, ve vysoce diferencovaných granitech (greiseny), ve skarnech a v kontaktně metamorfovaných amfibolitech. Přibližně 70% celé produkce REE pochází právě z bastnäsitu (Kul *et al.* 2007).

#### Allanit

Soustava: monoklinická

Vzorec:  $(\text{Ce, Ca,Y,Th})_2\text{Al}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$

Člen skupiny epidotu. Kvůli příměsi Th je často metamiktní, dále může obsahovat příměsi REE, V, Cr, Mn, Be, P, Sr, Ge, F, Cl. Je černý až hnědý, mastný až polokovový a má lasturnatý lom a světle šedý vryp. Jeho tvrdost podle Mohse je 5,5-6 a specifická hustota se pohybuje kolem 3,9 (Korbel *et al.* 2004). Allanit je charakteristický minerál mnoha granitů, granodioritů, monzonitů a syenitů. Patří mezi minerály s velmi širokým polem stability. Přestože se jeho množství snižuje s rostoucí teplotou, může allanit „přežít“ dokonce i podmínky odpovídající subdukčním zónám. Allanit se může uplatňovat i v taveninách vznikajících parciálním tavením a hraje důležitou roli v recyklaci LREE ze subdukované kůry (Hermann 2002).

### **Aeschynit - (Ce)**

Soustava: rombická

Vzorec:  $Ce(Ti, Nb)_2O_6$

Aeschynit je metamiktní minerál, má světle hnědou, hnědou, hnědočernou až téměř černou barvu, lasturnatý lom a skelný až mastný lesk. Jeho tvrdost podle Mohse je 5,5 a specifická hustota 5. Vyskytuje se v granitických a alkalických pegmatitech a karbonatitech. Často je doprovázený zirkonem a oxidy vzácných zemin (*Škoda et al. 2006*).

### **Euxenit – (Y)**

Soustava: rombická

Vzorec:  $Y(Nb, Ti)_2O_6$

Euxenit je metamiktní minerál, má černou barvu s odstínem do hněda nebo zelena, má lasturnatý lom, polokovový a pryskyřičný lesk. Jeho tvrdost je podle Mohse 6 a specifická hustota 4,6. Vyskytuje se v granitických a alkalických pegmatitech, a také rozsypech. Často je doprovázený monazitem, zirkonem ilmenitem, a dalšími oxidy vzácných zemin (*Škoda et al. 2006*).

### **Loparit – (Ce)**

Soustava: rombická

Vzorec:  $(Ce, Na, Ca)_2(Ti, Nb)_2O_6$

Loparit je metamiktní minerál, má černou barvu, tmavě červenohnědý vryp a kovový lesk. Jeho tvrdost podle Mohse je 4,6-4,9 a specifická hustota 5,5-6. Vyskytuje se v bazických a ultrabazických horninách (*Korbel et al. 2004*). Loparit je primární minerál v diferencovaných nefelinitických syenitových masivech a alkalických pegmatitech a může nahrazovat perovskyt v karbonatitech (*Webmineral 2012*).

### **Xenotim – (Y)**

Soustava: tetragonální

Vzorec:  $YPO_4$

Je izotypní se zirkonem. Často obsahuje příměsi těžkých REE, Sm, La, Th, U, Zr, Sc. Je hnědý, žlutohnědý, žlutý, šedý, nazelenalý, má skelný až pryskyřičný lesk a nerovný až lasturnatý lom a bílý vryp. Při obsahu Th a U je radioaktivní. Jeho tvrdost podle Mohse je 4,5 a specifická hustota 4,5 (*Korbel et al. 2004*). Vyskytuje se v granitech, aplitech, pegmatitech, nefelinitických syenitech a ortorulách (*Pichler et al. 1997*). Xenotim se také vyskytuje v nepřeměněných granitech spolu s monazitem, čehož se využívá k termometrii. Hromadí se v náplavech, ze kterých je těžen jako zdroj REE.



## Monazit – (Ce)

Soustava: monoklinická

Vzorec: CePO<sub>4</sub>

Často obsahuje také příměsi dalších lehkých REE (hl. La, Nd), ale i těžkých REE, Th a U. Je žlutý, hnědý, červenohnědý i nazelenalý, skelně, pryskyřičně až voskovitě lesklý, průsvitný až neprůhledný, slabě magnetický a má lasturnatý až nerovný lom a bílý vryp (Korbel et al. 2004). Při obsahu Th a U je monazit radioaktivní. Jeho tvrdost podle Mohse je 5 a specifická hustota 5-5,3. Vyskytuje se v granitických horninách a také v žulových a syenitických pegmatitech (Deer et al. 1992) Hromadí se v náplavech, ze kterých je výhradně těžen (hl. plážové písky). Nejvýznamnější ruda REE a Th.

Minerál	Vzorec	REO (hm%)	ThO <sub>2</sub> (hm%)	UO <sub>2</sub> (hm%)
Aeschnit*	(Ln,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	36	--	--
Allanit (Ce)	(Ce,Ca,Y) <sub>2</sub> (Al,Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH)	3.51	0 - 3	--
Allanit (Y)	(Y,Ce,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH)	18688	0 - 3	--
Ankylit (Ce)	SrCe(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH)·H <sub>2</sub> O	46 - 53	0 - 0.4	0.1
Apatit*	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl,OH)	19	--	--
Bastnäsit (Ce)	(Ce,La)(CO <sub>3</sub> )F	70 - 74	0 - 0.3	0.09
Britholite (Ce)	(Ce,Ca) <sub>5</sub> (SiO <sub>4</sub> ,PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F)	56	1.5	--
Euxenit*	(Ln,Ca,U,Th)(Nb,Ta,Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<40	--	--
Gadolinit (Y)	Y <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Be <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>10</sub>	40	--	--
Loparit (Ce)	(Ce,Na,Ca)(Ti,Nb)O <sub>3</sub>	32 - 34	--	--
Monazit (Ce)	(Ce,La,Nd,Th)PO <sub>4</sub>	35 - 71	0 - 20	0 - 16
Parisit (Ce)	Ca(Ce,La) <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	59	0 - 0.5	0 - 0.3
Perovskit	(Ca,REE)TiO <sub>3</sub>	≤37	0 - 2	0 - 0.05
Xenotim (Y)	YPO <sub>4</sub>	52 - 67	--	0 - 5

Tab. 3. Hlavní průmyslově využitelné minerály obsahující REE

(--, data nejsou k dispozici; REO oxidy prvků vzácných zemin; ThO<sub>2</sub>, oxidy thoria; UO<sub>2</sub>, oxidy uranu)

(podle Long et al., 2010; \* podle Castor et al. 2006)

#### 4. TYPY LOŽISEK

V celosvětovém měřítku je známo značné množství genetických typů ložisek REE a mnohé výskyty/akumulace REE nebyly dosud dostatečně prozkoumány. Koncentrace REE na ložiskách je ovlivněna horninotvornými nebo hydrotermálními procesy zahrnující obohacení magmatickými a hydrotermálními fluidy a následnou redistribucí a koncentrací během zvětrávacích a jiných povrchových procesů. Prostředí, ve kterých dochází k obohacení REE, mohou být rozdělena do dvou kategorií: 1) primární ložiska spojená s vyvřelými a hydrotermálními procesy; 2) sekundární ložiska koncentrovaná sedimentárními a zvětrávacími procesy. V rámci těchto dvou skupin, mohou být ložiska REE dále dělena podle jejich genetické asociace, mineralogie a formy výskytu. Klasifikace některých typů ložisek může být však někdy komplikována nejasnou genetickou asociací nebo zapojením několika geologických procesů. Světové rozdělení vybraných ložisek a výskytů REE je znázorněno na obrázku č. 15.

##### **Ložiska vázaná na karbonatity**

Karbonatity jsou vyvřelé horniny obsahující více než 50% karbonátových minerálů jako jsou kalcit, dolomit a ankerit a obsahují méně než 20%  $\text{SiO}_2$  (Le Maitre 2002 in Verplanck et al. 2011). Jejich mateřskou taveninou jsou křemenem-nenasycená alkalická magmata vznikající parciálním tavením pláště za nízkých teplot. Téměř většina známých karbonatitů jsou fosilní vyvřelá tělesa. Je však také znám příklad stále aktivního karbonatitového vulkánu v severní Tanzanii (Woolley et al. 2005 in Verplanck et al. 2011). Intruze karbonatitů jsou často doprovázeny alkalickými horninami. Typické vlastnosti karbonatitů asociovaných se zásobami REE jsou: 1) významné obohacení HFSE prvky (high field strength elements), (REE, Y, Nb, Zr a U); 2) REE bohaté karbonatity jsou obohaceny především o LREE; 3) ložiska REE mohou obsahovat různá množství rudních minerálů, obvykle to jsou REE-nosné karbonáty a fosfáty (bastnasite, monazit a xenotim) 4) REE-minerály běžně vznikají krystalizací z magmat během magmatických procesů, ale ekonomická obohacení REE mohou vznikat také vysrážením minerálů z hydrotermálních roztoků nebo redistribucí REE v magmatických horninách/minerálech působením hydrotermálních fluid; 5) intruzivní karbonatity jsou běžně obklopeny zónami metasomaticky alterovaných hornin bohatých na sodík a draslík. Tyto desilicifikované zóny zvané jako fenitické, vznikly reakcemi Na-K-bohatých fluid uvolněných z karbonatických intruzí. Akumulace REE v karbonatitech jsou často doprovázeny zvýšenou radioaktivitou. Abnormálně vysoké koncentrace thoria a uranu jsou v karbonatitech a REE-nosných alkalických vyvřelých horninách velmi běžné (Verplanck et al. 2011).

Karbonatity se obvykle vyskytují v kontinentálních, tektonicky stabilních jednotkách zvaných jako štíty a kratony, a kde bývají často spojovány s intrakontinentálními rifty a zlomovými systémy (Berger et al. 2009 in Verplanck et al. 2011). Po celém světě je zdokumentováno více než 500 karbonatitových intruzí, jejichž největší koncentrace se nachází ve východní Kanadě, severní Skandinávii, u výchoafričké riftové zóny, na poloostrově Kola v Rusku a v jižní Brazílii (Woolley et al. 2008 in Walters et al. 2011).

Níže uvedená světová ložiska jsou významná z hlediska současné a budoucí produkce REE.

Ložisko Bayan Obo je situováno v provincii Vnitřní Mongolsko v Číně na severním okraji severního čínského kratonu, 135 Km severozápadně od Baotou (60 km od hranice mezi Mongolskem a Čínou). Podle převládajících názorů se nejedná o karbonatit klasický, ale o karbonatit metamorfovaný. Ložisko rud železa, REE a niobu samo o sobě představuje 70% celosvětových zásob REE (*Kynický 2010*). Ložisko je vyvinuto v dolomitických mramorech skupiny Bayan Obo, což je jednotka tvořená středně proterozoickými klastickými sedimenty a karbonáty, spočívající na migmatitech o stáří 2,35 Ga. Sedimenty skupiny Bayan Obo vytvářejí synklinálu o délce 18 km. V permu byly sedimenty skupiny Bayn Obo deformovány společně s karbonskými vulkanity. REE mineralizace je spojena s fenitizací, v níž převládá sodný amfibol a draselný živec (*Yuan et al. 1992 in Castor et al. 2006*). REE jsou přítomny ve třech hlavních typech zrudnění: 1) rudy REE a železa, 2) rudy REE v silikátových horninách a 3) rudy REE v dolomitu. Masivní rudy REE a železa se vyskytují ve 100m mocných čočkách, lokálně s páskovanými a brekciovitými texturami. Páskované fluoritem bohaté rudy mají obsahy mistry přes 10% REE. Většina REE je vázána v karbonátech (bastnäsit, parisit, cordilyt, huanghoit) a fosfátech (apatit, monazit), ale bylo identifikováno nejméně dalších 20 minerálů s REE (*Castor et al. 2006*). Celkové zásoby ložiska jsou odhadovány minimálně na 1,5 Gt Fe- rud při průměrné kovnatosti 35% Fe. Množství REO v rudě činí 48 Mt při průměrné kovnatosti 6%. Bayan Obo je také zároveň největší ložisko niobu Číně. Ačkoliv velikost zásob niobu nebyla nikdy v čínské a mongolské literatuře prozrazena, odhaduje se množství niobu na 1Mt při průměrné kovnatosti 0,13% (*Kynický 2010*). Zásoby i kovnatosti na ložisku se zdroj od zdroje výrazně liší, čínské zdroje neuvádí přesné informace. Jen současné bilanční zásoby dvou těžných povrchových velkodolů jsou odhadovány na cca 60 let. Vedle nich jsou ověřena 3 další ložiska s obdobnou tonáží a kovnatostí, jejichž otvírka a zahájení produkce je plánováno v období let 2025-2030 (*Kynický 2010*).

Ložisko Mountain Pass se nachází nedaleko východní hrany Mohavské pouště v jihovýchodním rohu San Bernardino County v Kalifornii. Ložisko představuje největší známé zásoby REE v USA. REE byly na tomto ložisku těženy jako primární surovina od roku 1952 do roku 2002, kdy těžařské společnosti Molycorp vypršelo povolení provozovat těžbu. Nicméně v roce 2009 těžařská společnost Molycorp ohlásila další pokračování v těžbě, která by měla být zahájena v roce 2012. Těžba by měla produkovat 20,000 metrických tun oxidů vzácných zemin ročně (*Keith et al. 2010*). Vznik ložiska je spojen s deskovitou intruzí karbonatitu o stáří cca 1,4 Ga, která pronikla do rul metamorfovaných v granulitové facii. Těleso karbonatitu je doprovázeno ultradraselnými alkalickými plutony obdobného stáří, tvaru a orientace a hojnými karbonatitovými žilami. V roce 1987 bylo na tomto ložisku vypočteno 29 Mt geologických zásob s průměrným obsahem 8,9 % REO při obsahu 5% v okrajovém vzorku. Současné zásoby na tomto ložisku činí 20Mt s podobným průměrným obsahem REO. Ruda obsahuje 10 – 15% bastnäsitu, 65% kalcitu nebo dolomitu a 20 - 25% barytu. Jiné minerály jako jsou stroncianit a mastek se vyskytují ve větším množství jen lokálně (*Castor et al. 2006*).

### **Ložiska REE vázaná na peralkalické vyvřeliny**

Alkalické vyvřelé horniny vznikají z magmat bohatých na alkálie, která krystalizují minerály bohaté na draslík a sodík. Pokud mají alkalické horniny větší poměr sodíku a draslíku než hliníku mohou být dále klasifikovány jako horniny peralkalické. Peralkalické horniny jsou také často charakterizovány extrémním obohacením o HFS prvky (high-field strength elements) jako jsou zirkonium, titan, yttrium, niob a REE (*Castor et al. 2006*). Podobně jako u karbonatitů je mateřské magma alkalických vyvřelých komplexů generováno parciálním tavením pláště. Ložiska peralkalických vyvřelých

komplexů dělíme dále do dvou skupin, 1) ložiska peralkalických vrstvených komplexů (Thor Lake, Ilímaussaq) a 2) ložiska vázaná na peralkalické intruzivní žíly (Bokan Mountain). Ložiska peralkalických vyvřelin se stejně jako karbonatity obvykle vyskytují v kontinentálních, tektonicky stabilních jednotkách zvané jako štíty a kratony a bývají často spojovány s intrakontinentálními rifty a zlomovými systémy (Berger et al. 2009 in Verplanck et al. 2011).

V 80. letech 20. století, kdy poptávka po yttriu převyšovala nabídku, průzkum yttriem bohatých REE ložisek vedl k objevení zirkoniem a HREE bohatých zdrojů, asociovaných s peralkalickými syenitickými a granitoidními horninami. Na tento typ ložisek, se také mohou vázat niob, tantal a beryllium. Ačkoliv se na peralkalické horniny váže mnoho zásob, většina z nich jsou relativně nízké kovatosti (Castor et al. 2006).

Ložisko loparitu na poloostrově Kola je těženo téměř přes 50 let z nefelinitického syenitu v peralkalickém masívu Lovozero. Svrchní část masívu tvoří eudialytický syenit. Spodní loparitová část masívu je přes 1000 m mocná a je složena ze střídajících se vrstev nefelinitu a nefelinového syenitu. Loparit vytváří 0,2 až 0,6 mm velká zrna a jen vzácně se vyskytuje ve formě větších krystalů (Smirnov et al., 1977 in Castor et al. 2006). Největší koncentrace loparitu jsou v místech největší diferenciace a v horninách bohatých na nefelin. Pásky rudy jsou mocné od několika centimetrů do několika metrů a obsahují 2-3% loparitu (Sinha, et al., 1997 in Castor et al. 2006). Loparit obsahuje 38,5 % oxidu titanu, 30-36% REO a 10-12% oxidu niobu a tantalu (Kogarko et al. 1995 in Castor et al. 2006).

### **Lateritická ložiska vzácných zemin**

Laterity vznikají dlouho trvajícím zvětráváním různých typů hornin v tropickém až subtropickém klimatu se střídáním deštivých a suchých období. Za těchto podmínek nastává laterizace, tj. vyluhování SiO<sub>2</sub>, alkalií a alkalických zemin a obohacení Fe a Al oxidy. Laterit může být sypký i zpevněný, často je pizolitický až konkrecionární a většinou červenavé až hnědavé barvy, často i skvrnitý. V případě lateritických ložisek REE může být mateřskou horninou např. karbonatit nebo syenit, které mohou být významnými zdroji s vysokým obsahem REE. Chemické zvětrávání karbonátů způsobuje rozpouštění kalcitu, dolomitu a apatitu. Uvolněné REE z těchto minerálů pak mohou být vázány v nových supergeních minerálech, většinou ve fosfátech nebo monazitu. V případě, že jsou laterity vyvinuty na karbonatitech, ložiska běžně obsahují vysoké množství REO (10-25%) (Walters et al. 2011).

Ložisko Mount Weld v jihozápadní Austrálii představuje laterizovanou svrchní část rozsáhlého karbonatitového tělesa o datovaném stáří 2,0 Ga. (Duncan and Willett 1990 v Castor, S.B. and Hedrick, J.B). Ložisko má mimořádně vysoké obsahy REO (až 40%), které jsou zahrnuty převážně v REE fosfátových minerálech. Zvětralý karbonatit obsahuje 0,1- 0,2% REO, extrémní obohacení lateritu je přisuzováno dlouho trvajícimu působení podzemních vod (Lottermoser 1990 v Castor, S.B. and Hedrick, J.B).

V Brazílii představuje tento typ ložiska hned několik supergenně obohacených lateritických zón. Nejvýznamnější z nich, křídový karbonatitový komplex Araxá má tvar kruhu s průměrem 4,5km. Tento supergenně obohacený laterit má průměrný obsah 13,5% REO obsažených hlavně ve fosfátech (Walters A. et al. 2011).

Relativně nově popsaný typ ložisek REE jsou residuální ložiska REE-nosných jíílů, označovaných jako „ion-adsorption clays“ (*Chi et al. 2008 in Walters et al. 2011*). Tato ložiska, asociovaná s REE bohatými granity se vyskytují téměř po celé jižní Číně, konkrétně v provinciích Jiangxi, Guangdong, Hunan a Fujian (*Grauch et al. 2008 in Walters et al. 2011*). Zvětralé REE bohaté zóny jsou 8-10m mocné (*Chi et al. 2008 in Walters et al. 2011*). Na základě mineralogie mohou být tyto zóny rozděleny do čtyř vrstev. V nejsvrchnější vrstvě (0-2m) převládá půdní materiál, středně a slabě zvětralá zóna (3-5m) je obohacena o minerály původní horniny a silně zvětralá zóna (5-10m) je velmi obohacená REE (*Kanazawa et al. 2006 in Walters et al. 2011*). REE uvolněné během zvětrávání granitů a rozpadu primárních minerálů jsou absorbovány kaolínem a jinými jílovými minerály jako je halloysit ve formě hydratovaných iontů nebo hydroxylových hydratovaných iontů (*Chi et al. 2008 in Walters et al. 2011*). Tato malá ložiska mají zásoby v rozmezí 3000-12000 t s průměrným obsahem mezi 0,05-0,2% REO (*Wu et al. in Castor et al. 2006*). Jsou však obzvláště bohatá na HREE a mají extrémně nízké obsahy radioaktivních prvků (*Chi et al. 2008 in Walters et al. 2011*).

### **Rozsypová ložiska vzácných zemin**

Rozsypová ložiska vznikají koncentrací rezistentních a těžkých minerálů, které byly transportovány a uloženy s pískem a štěrkem činností řek, příbřežních proudů, či vzduchem. Primárním zdrojem REE-nosných minerálů jsou většinou granitoidní nebo vysoce metamorfní horniny. Rozsypy jsou obohaceny o minerály titanu, zirkonu a REE. Většina těchto ložisek je terciérního a kvartérního stáří. Avšak existují i prekambrikové paleorozsypy bohaté REE. Většina ekonomicky využitelných rozsypů jsou mořské plážové písky, nacházející se v těsné blízkosti současných pobřežních linií. Těžké minerály jsou v těchto ložiskách koncentrovány tidálními procesy, působením mořských proudů a vln. Tato ložiska jsou především těžena pro jejich obsahy titanu, zirkonu, xenotimu a monazitu. V 80-tých letech, byly monazit a xenotim z titan-zirkonových paleo-plážových rozsypů v Austrálii třetím nejdůležitějším zdrojem REE na světě. V dnešní době se však monazitonosné rozsypy těží jen zřídka a to díky svým vysokým obsahům radioaktivního thoria. Obsah monazitu je v těchto typech ložisek jen velmi malý (obvykle 0,1%) v porovnání s jinými minerálními fázemi. Proto byla těžba ekonomická pouze při produkci i dalších minerálů. Avšak na některých australských ložiskách dosahují lokálně koncentrace monazitu k 1% a v Indii až k 1-2% (*Moller 1986 in Walters et al. 2011*).

Rozsáhlé zásoby těžkých minerálních plážových písků se táhnou téměř podél celého australského pobřeží, vyskytují se severně a jižně od města Perth v západní Austrálii. Významné zásoby fosilních plážových písků se také vyskytují v Murray Basin ve středním Novém jižním Welsu a Victorii (*Hoatson et al., 2011 in Walters et al. 2011*). Rutil-zirkon-ilmenitové rozsypové ložisko v Eneabba se nachází na západním pobřeží Austrálie severně od města Perth. Ložisko bylo otevřeno v 70-tých letech a produkovalo 2 500 tun monazitu ročně. Těžké minerály zahrnují až 6% těženého písku a monazit tvoří od 0,5 až 7% těžkých minerálů (*Shepherd 1990 in Castor et al. 2006*) Tyto písky byly ukládány od raného terciéru do mladšího pleistocenu a nacházejí se 30m nad úrovní současné mořské hladiny. Další významná ložiska plážových rozsypů se nacházejí ve vnitrozemí (Murray Basin) (*Castor et al. 2006*).

REE se z plážových písků získávají i v několika dalších zemích. Indie má na svém území rozsáhlé zásoby plážových písků obsahující monazit spolu s dalšími těžkými minerály. Hlavní z těchto zásob se nachází na dnešním pobřeží a jeho zásoby jsou odhadovány na 2,7Mt REO. V jihovýchodní Asii se získává monazit a xenotim z rozsypů těžených pro cín, zirkon a titan. Aluviální cínová ložiska s významným množstvím yttria se nacházejí také v Malajsii (*Walters et al. 2011*).

## Ostatní typy ložisek vzácných zemin

Akumulace REE se neváží jen na výše zmíněné typy ložisek. V severní Austrálii na lokalitě Killi Hills byl popsán xenotim geneticky související s mineralizací uranu spjatou s fluidy uvolněných během diagenese pískovce (*Walters et al. 2011*).

Fosfority jsou dalším typem hornin nesoucích REE. Největší akumulace fosforitů se váží na mořské prostředí, kde vznikají sedimentací materiálu biogenního původu. Rozsáhlé fosforitové zásoby se nacházejí na SV USA (Severní Karolína a floridský poloostrov) (*Castor et al. 2006*).

Na oceánské prostředí se váže ještě jeden typ mineralizací REE. Jedná se o sedimenty hlubokomořského dna („metalliferous sediments“) - zeolitické jíly a pelagické červené jíly. V sedimentech východního Jižního Pacifiku byly zjištěny obsahy REE 1 000-22 300ppm. Tyto sedimenty leží na povrchu dna a jejich mocnost se pohybuje v rozmezí 3-10m. V centrálním Severním Pacifiku jsou REE-nosná bahna mnohem mocnější (až 30m), avšak s menším obsahem REE (400-1000ppm). Přepokládá se, že mineralizace REE v těchto sedimentech je spojena s hydrotermální aktivitou v okolí středooceánského hřbetu (*Walters et al. 2011*).

## 5. SUROVINOVÝ POTENCIÁL V ČR

V České republice jsou popsány předpokládané zdroje (neschválené) REO z různých mineralizací a geologických formací. Anomální obsahy oxidů vzácných zemin, jsou mimo níže charakterizovaných lokalit dokumentovány také v alkalických vulkanitech Českého Středohoří, ve vulkanitech šternbersko-hornobenešovského pásma Nizkého Jeseníku, v grafitických fylitech železnohorského proterozoika, v argilitizovaných tufech hornoslezské pánve (*Starý et al. 2010*).

### Třebíčský masív - Naloučany u Náměště nad Oslavou

V biotitových rulách a migmatitech gfölské jednotky moldanubika jsou ve výchozech zastížena dvě tělesa alkalicko-živcových syenitů o délce asi 100 m. Alkalicko-živcové syenity jsou zpravidla středně zrnité, červeno-hnědé barvy. V jejich složení dominuje K-živce a amfibol. Vedlejšími až akcesorickými minerály jsou křemen, plagioklas, chloritizovaný biotit, zirkon, ilmenit, titanit a apatit. Jednotlivé zrnitostní variety horniny se mírně liší v zastoupení některých makro- i mikroprvků. Např. v leukokratních varietách dosahuje obsah U až 390 ppm a Th až 700 ppm. Vysoký obsah K<sub>2</sub>O je doprovázen vysokým obsahem Ba, Rb a Sr. Místy vysoké zastoupení zirkonu v hornině se projevuje na obsahu Zr, Hf, U, Th, Y a HREE (*Leichmann 2004*).

## **Čistecký masív - Hůrky**

V Čisteckém masívu na lokalitě Hůrky byly nalezeny a prozkoumány projevy mineralizace vázané na granitoidní horniny různých typů postížené fenitizací (sodnou metasomatózou). Fenitizace se projevuje relativním nárůstem obsahu Na, Ca, Fe a F, ze stopových prvků zejména Zr, Nb, Ta, La, Ce. Primární živce jsou zatlačeny albitem, v hornině se vyskytuje také nefelin, velice hojný je magnetit (Kopecký et al. 1997 in Goliáš 2002). S intenzitou metasomatózy se zvyšuje obsah thoria, vysoké obsahy mají nefelinické syenity (60 ppm Th) a fenitizované porfyrity (77 ppm). Lokalita byla zkoumána pro ověření molybdenové mineralizace (Chrt et al. 1990 in Goliáš 2002) a pro využití nefelinického syenitu v keramickém průmyslu (Chrt et al. 1991 in Goliáš 2002).

## **Česká křídová pánev – Strážecký blok**

Zvýšená mineralizace REE byla zjištěna také v severočeské křídě v sedimentech sladkovodního cenomanu ve Strážském bloku. Rutšek (1998) spojuje přínos REE v asociaci prvků  $Fe^{3+}$ , Ba, Ti, Nb, Zr, U, Th s působením iniciální neovulkanické fáze s intruzemi melilititů na hranici křída/terciér (60-70Ma) (Goliáš 2002). Strážský blok byl v minulosti úzce spjat s těžbou uranových rud, které byly získávány zpočátku hlubinným dobýváním, v letech 1967–1996 pak především chemickým loužením in situ. Na tomto ložisku byly vyhodnoceny zásoby ceru v uranových rudách uranonosných pískovců Strážského bloku české křídové pánve na 4 750 t Ce (Starý et al. 2010).

## **Bližná – Moldanubikum**

V pestré sérii moldanubika, byla z grafitického ložiska Bližná popsána mineralizace Mo-Th-Nb-REE (Šarbach et al. 1985 in Goliáš 2002), která je vázána na čočky mramorů decimetrových mocností podobných karbonatitům (Veselovský et al. 1987 in Goliáš 2002).

## **Vlastějovice**

Těleso Fe-skarnu se nachází v pestré sérii severní části moldanubické kry. Na lokalitě Vlastějovice se mineralizace REE váže na pegmatity prorážející těleso skarnu (například na ložiskách Holý vrch a Magdaléna) (Kadlec 2010).

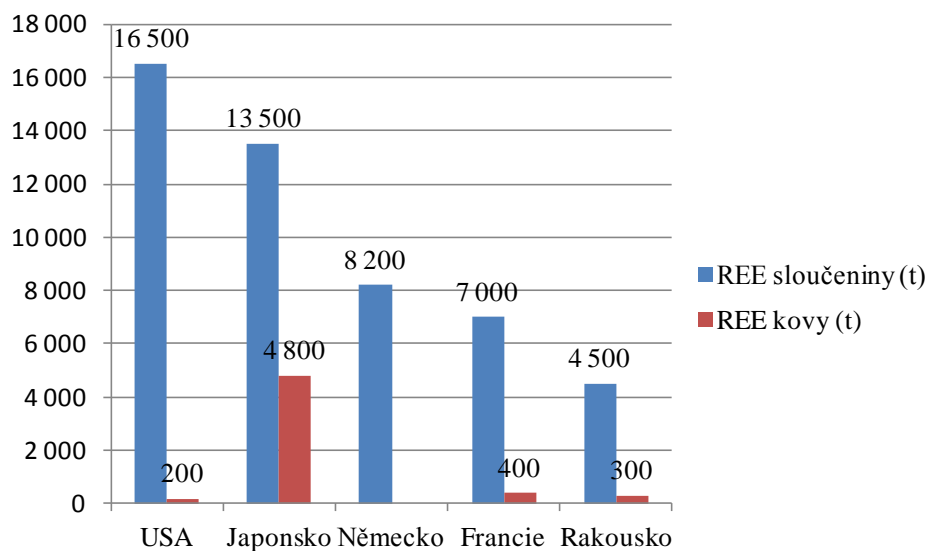
## 6. PERSPEKTIVY TRHU SE VZÁCNÝMI ZEMINAMI

Světová poptávka po REE byla v roce 2011 cca 120 000 t REO v hodnotě 11 miliard dolarů. Z tohoto objemu je cca 70 % zpracováváno v Číně, zbytek v Japonsku, USA a Evropě (řazeno podle klesajícího objemu). Celkový globální růst poptávky roste přibližně o 8 až 10% ročně a v některých odvětvích roste poptávka až o dvojnásobek této hodnoty. Poptávka po produktech REO je ovlivněna pokrokem v zelených a energeticky šetrných technologiích, vývojem speciálních „high-technology“, stále se zvyšující spotřebou elektronických spotřebičů a celkovým zvýšením celosvětového HDP (*Arafura Resources Ltd. 2012*). Například, po uvedení barevné televize na trh ostře stoupla cena europia. V 60-tých letech produkce Sm-Co magnetů udělala ze samaria nevyužívanější REE v celém průmyslu. V 80-tých letech se rozšířila aplikace neodymových magnetů a to vedlo k značnému růstu poptávky po neodemu. Dnešní technologické inovace vedou k zvyšující se poptávce po dysprosiu a terbiu (*Cox 2009 in Walters et al. 2011*). Během globální finanční krize v letech 2007 až 2009, byla poptávka ovlivněna jen minimálně a rychle se vrací na úroveň před začátkem krize.

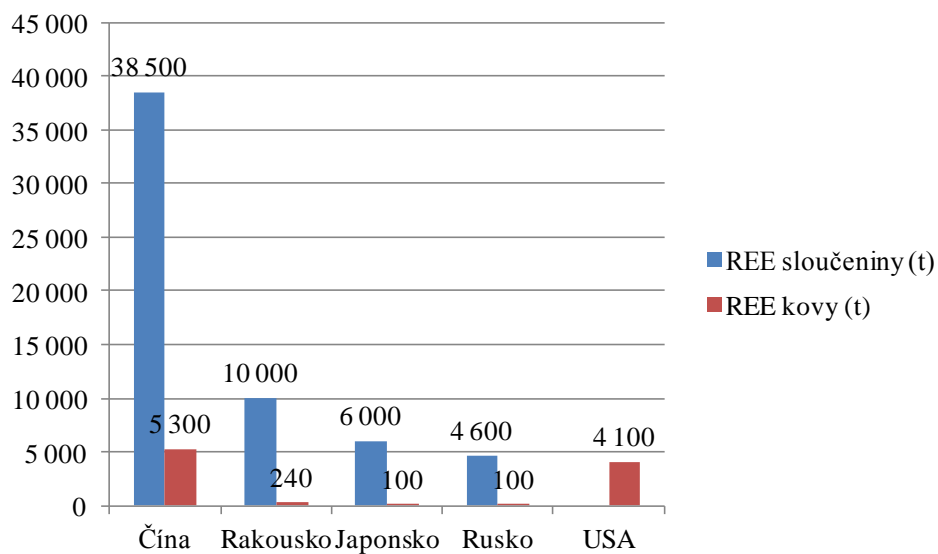
Historicky byla rovnováha mezi nabídkou a poptávkou poměrně stabilní, avšak v dnešní době se trh podstatně změnil z pozice nadbytku na nedostatek. V roce 2011 pokrývala čínská produkce téměř 95% světové poptávky REE. Obrovský zájem o REE v Číně i ve světě vedl k tomu, že 7. července 2010 čínské ministerstvo obchodu oznámilo 70 % snížení kvót pro export této komodity (ve srovnání s první polovinou roku 2010), což vyvolalo dramatický růst cen. Další vývoj čínského exportu je předmětem dohadů, lze očekávat, že v první řadě budou zajištěny potřeby domácího průmyslu (tj. v roce 2015 více než 100 000 t REO) a exportované množství již nebude stačit k pokrytí rostoucí poptávky v ostatních zemích, jak ukazují tabulky 4. a 5. Čínské exportní kvóty roku 2010 byly pouze ve výši 30 300t (o 40% nižší než v roce 2009) a první kolo exportních kvót pro rok 2011 bylo fixováno ve výši 14 446 t, což reprezentuje meziroční pokles o 11,4 %. Předpoklady jsou takové, že v roce 2015 bude poptávka činit 190 000t – 210 000t REO, z čehož největší budoucí spotřeba bude v sektorech výroby magnetů a kovových slitin (50 000t – 55 000t) (*Walters et al. 2011*). Podle odhadů, v nejbližších letech poroste roční spotřeba REE ze zdrojů mimo Čínu až na 40 000 – 50 000 t REO. Vzhledem k výše uvedenému stavu se v současné době značně zvyšuje zájem vyspělých ekonomik o zajištění nových zdrojů REE mimo Čínu. Arafura Resources Ltd předpovídá, že v roce 2017 v důsledku nově vstupujících producentů na trh (USA, Austrálie a Malajsie) bude Čína představovat asi polovinu světové produkce.

V současné době jsou hlavní dovozci REE sloučenin a kovů Japonsko, USA, Německo, Francie, Rakousko (obr. č. 12. a 14.) a jsou následovány Estonskem, Čínou, Korejskou republikou, Brazílií a Ruskem. Čína je zároveň největší vývozce REE a vyváží téměř čtyřikrát větší množství REE sloučenin než druhý největší vývozce Rakousko, který však není primárním producentem REE. Dalšími vývozci jsou Japonsko, Rusko, USA, Estonsko, Francie, Kazachstán, Srí Lanka a Německo (obr.13. a 14.).





Obr. 12. Hlavní dovozci REE sloučenin a kovů v roce 2009 (podle Walters et al. 2011)



Obr. 13. Hlavní vývozci REE sloučenin a kovů v roce 2009 (podle Walters et al. 2011)

Oblast použití	Spotřeba REO (t)		Podíl na trhu (%)
	2008	2015 (odhady)	
Katalyzátory	25 000	30-34 000	16
Sklo	12 000	20-22 000	6,5
Leštění	15 000	50-55 000	11
Kovové slitiny	22 250	45-50 000	26
Magnety	26 250	39-43 000	23
Luminofory	9 000	12-14 000	6,5
Keramika	7 000	8-10 000	5
Ostatní	7 500	10-12 000	6
<b>Celkem</b>	<b>124 000</b>	<b>190-210 000</b>	<b>100</b>

Tab. 4. Globální poptávka po REE v roce 2008 a prognózy v roce 2015  
(podle Kingsorth 2010 in Walters et al. 2011)

Prvek	Poptávka		Nabídka/produkce		
	REO (t)	%	REO (t)	%	přebytek/deficit
Lanthan	51 050	28,4	54 092	26,5	3 042
Cer	65 750	36,5	79 156	38,9	13 406
Praseodym	7 950	4,4	9 909	4,9	1 959
Neodym	34 900	19,4	33 665	16,5	-1 235
Samarium	1 390	0,8	4 596	2,3	3 206
Europium	815	0,5	659	0,3	-156
Gadolinium	2 300	1,3	3 575	1,8	1 275
Terbium	565	0,3	512	0,2	-53
Dysprosium	2 040	1,1	1 830	0,9	-210
Erbium	940	0,5	1 181	0,6	241
Yttrium	12 100	6,7	12 735	6,3	635
Ho, Tm, Yb, Lu	200	0,1	1 592	0,8	1 392
<b>Celkem</b>	<b>180 000</b>	<b>100</b>	<b>203 502</b>	<b>100</b>	

Tab. 5. Předpokládaná nabídka/poptávka v roce 2014 ( $\pm 15\%$ )  
(podle IMCOA 2009 in Walters et al. 2011)

## Ceny vzácných zemin

Kovy REE a jejich oxidy jsou prodávány specializovanými REE-obchodními společnostmi (*Vulcan 2008 in Walters et al. 2011*). REO jsou běžně dodávány prostřednictvím dlouhotrvajících kontraktů a jejich ceny jsou stanoveny producenty. Rozdíly mezi cenami jednotlivých REE kovů a oxidů jsou poměrně značné. HREE jsou běžně dražší než LREE díky jejich menšímu zastoupení na většině světových ložisek. Náklady na relativně složitou úpravu mají též zásadní vliv na konečnou cenu. Ceny jednotlivých prvků bývají také ovlivněny poptávkou, která kolísá v čase a též stupněm čistoty produktu, který je ovlivněn podmínkami konečného použití (*Lynas 2012*).

REE	Cena (US\$/kg)	
	Kov	Oxid
Cer	52 - 57	24 – 27
Dysprosium	2 000 - 2 100	1 150 - 1 170
Europium	4 500 - 4 520	3 000 - 3 020
Gadolinium	160 - 165	100 – 105
Lanthan	50 - 52	24 – 28
Neodym	170 - 180	125 – 135
Praseodym	200 - 210	125 – 135
Samarium	137 - 140	67 – 70
Terbium	3 350 - 3 450	2 200 - 2 220
Yttrium	155 - 165	128 – 133

Tab. 6. Porovnání cen REO a kovů z 27. 3. 2012 (podle *Metal Pages 2012*)

Ceny jsou uvedeny pro min 99% ryzí prvky a jsou uvedeny v US \$/kg na základě FOB Číny

REO (min 99% ryzost)	cena (US\$/kg)							
	La	Ce	Nd	Pr	Sm	Dy	Eu	Tb
<b>2002</b>	2,3	2,3	4,4	3,9	3,0	20,0	240,0	170,0
<b>2003</b>	1,5	1,7	4,4	4,2	2,7	14,6	235,4	170,0
<b>2004</b>	1,6	16,0	5,8	8,0	2,7	30,3	310,5	398,0
<b>2005</b>	1,5	1,4	6,1	7,6	2,6	36,4	286,2	300,0
<b>2006</b>	2,2	1,7	11,1	10,7	2,4	70,4	240,0	434,0
<b>2007</b>	3,4	3,0	30,2	29,1	3,6	89,1	323,9	590,4
<b>2008</b>	8,7	4,6	31,9	29,5	5,2	118,5	481,9	720,8
<b>2009</b>	4,9	3,9	19,1	18,0	3,4	115,7	492,9	361,7
<b>2010</b>	22,4	21,6	49,5	48,0	14,4	231,6	559,8	557,8
<b>2011</b>	104,1	102,0	234,4	197,3	103,4	1449,8	2842,9	2334,2
<b>Q3 2011</b>	117,7	118,7	338,9	244,7	129,5	2262,3	4900,0	3761,5
<b>Q4 2011</b>	66,5	59,3	244,2	209,6	95,3	2032,3	3800,0	2973,9
<b>(26/03) 2012</b>	28,0	27,0	135,0	135,0	70,0	1170,0	3020,0	2220,0

Tab. 7. Vývoj cen některých REO v letech 2002–2012 (podle *Lynas Corp 2012; Metal Pages 2012*)

## 7. SVĚTOVÉ ZÁSoby VZÁCNÝCH ZEMIN

Níže uvedený přehled světových ložisek a výskytů REE má pouze informativní charakter; obsahuje jak těžená ložiska se známými parametry, tak prognózní zdroje a výskyt, jejichž ekonomický význam je zatím nejasný, případně i výskyt, které nejsou a pravděpodobně ani nebudou ekonomicky využitelné, ale mají význam pro historii těžby REE nebo pro pochopení geologických procesů, které vedly k nahromadění REE (obr. č. 15.). Současné světové zásoby REO a yttria jsou shrnuty v tabulkách č. 8.; 9. a na obr. 14.

### Čína

Čína má největší zásoby REE na světě. Na jejím území se vyskytují ložiska typu „pevných hornin“, rozsypů a „ion adsorption clay“. Bastnäsitové ložisko Bayan Obo je největší ložisko na světě a obsahuje zásoby 48 Mt při 6% REO (*Kanazawa et al. 2006*). Významné množství čínských zásob je také obsaženo v „ion adsorption clay“ ložiskách, které jsou převážně obohaceny o méně běžné HREE. Rozsypová ložiska se vyskytují hlavně u příbřežních oblastí západního Guangdong a ostrova Hainan (*Walters A. et al. 2011*).

### Volné společenství států

V zásobách REE volného společenství států dominují loparitová ložiska (*Kosykin et al., 1993 in Walters et al. 2011*). Rusko má značné zásoby v apatit nefelinické rudě na poloostrově Kola a dále v rozsáhlém ložisku Sakha na Sibiři (*Naumov 2008 in Walters A. et al. 2011*). Významné zásoby REE spojené s uranovou hlušinou mají také Kyrgyzstán a Kazachstán. Celkové zásoby volného společenství států činí 19Mt REO (*Cordier 2012*).

### USA

Spojené státy Americké mají významné zásoby REO odhadované na 13Mt. Největší ložisko Mountain Pass, které je znovu ve fázi obnovování těžby, obsahuje zásoby 1,2Mt REO (*Long et al. 2010*). Další důležité zásoby v Bear Lodge, jsou právě prozkoumávány Rare Element Resources Ltd. Potenciální akumulace LREE a HREE v asociaci uranovou mineralizací se vyskytují v Bokan Mountain na Aljašce, kde provádí průzkum Ucore rare metals (*Ucore Uranium 2010, in Walters A. et al. 2011*). Zásoby REE se na území USA také vyskytují v Utahu, Idaho, Montaně a Missouri (*Hedrick et al. 2008*).

### Austálie

Zvýšené koncentrace REE byly zjištěny na několika ložiscích těžkých plážových písků, karbonatitových intruzích, peralkalických vyvřelých horninách, fluoroapatitových žilách a pegmatitech. Nejvíce komerčně významné zásoby REE jsou vázány na karbonatitové a peralkalické horniny a na sekundární rozsypová ložiska (*Hoatson et al., 2011 in Walters et al. 2011*). Na ložisku Mount Weld v západní Austrálii jsou odhadované zásoby 1,9 Mt REO (*Lynas 2012*). Polymetalické ložisko Cu-U-Au-Ag-REE Olympic Dam v jižní Austrálii má odhadované zásoby na 45Mt REO. REE však nejsou na tomto ložisku extrahovány, neboť současné technologie a nízké obsahy REO (0,5%)

nenaskýtají ekonomické využití. Významné zásoby jsou také v rozsypových ložiskách obsahujících monazit. Netěží se však vzhledem k příměsi radioaktivního Th.

## **Grónsko**

Grónské zásoby REE by mohly potenciálně pokrýt 25% globální poptávky (*Lewis 2009 in Walters et al. 2011*). Na ložisku Kvanefjeld v intrusivním komplexu Llimaussaq jsou odhadovány zásoby na cca 5Mt REO. Na území Grónska probíhají v současnosti rozsáhlé geologické průzkumy.

## **Afrika**

Monazitové ložisko Steenkampskraal obsahuje zásoby 29 000t REO při průměrných obsazích 17% REO. Ložisko Kangakunde v Malawi má odhadované zásoby na 107 000t REO (*Curtis 2011 in Walters et al. 2011*). Mrima Hill v Keni je laterit obohacený monazitem a leží v nadloží karbonatitové intruze. Jeho zásoby činí 32Mt materiálu s průměrným obsahem 3,1% REO (*Pacific Wildcat Resources 2011 in Walters et al. 2011*). Další Africké zásoby zahrnují ložiska: Karonge v Burundi, Wigu Hill v Tanzánii a deltové monazitové rozsypy v Egyptě.

## **Evropa**

V Evropě se průzkumné práce provádějí především ve Skandinávii a v jižním centrálním Turecku. Tasman Metals má dva projekty ve Švédsku (Norra Karr a Bastnas) a jeden ve Finsku (Korsnas). V Norra Karr se nachází peralkalická nefelinitická syenitová intruze, obohacená o zirkonium a REE (*Tasman Metals 2012*).

## **Jižní a Východní Asie**

Indie má na svém území jak ložiska primární tak rozsypová. USGS odhaduje, že Indie má cca 3Mt zásob REO (*Cordier 2012*). Vietnam je znám svými ložisky těžkých plážových písků a karbonatitů. Ložisko Dong Pao obsahuje nejvýznamnější zásoby, které činí cca 7Mt s obsahem 5% REO (*Watanabe 2010 in Walters et al. 2011*). Ložiska těžkých plážových písků obsahující těžké minerály se také nacházejí v Thajsku, Indonésii a Malajsii.

## **Jižní Amerika**

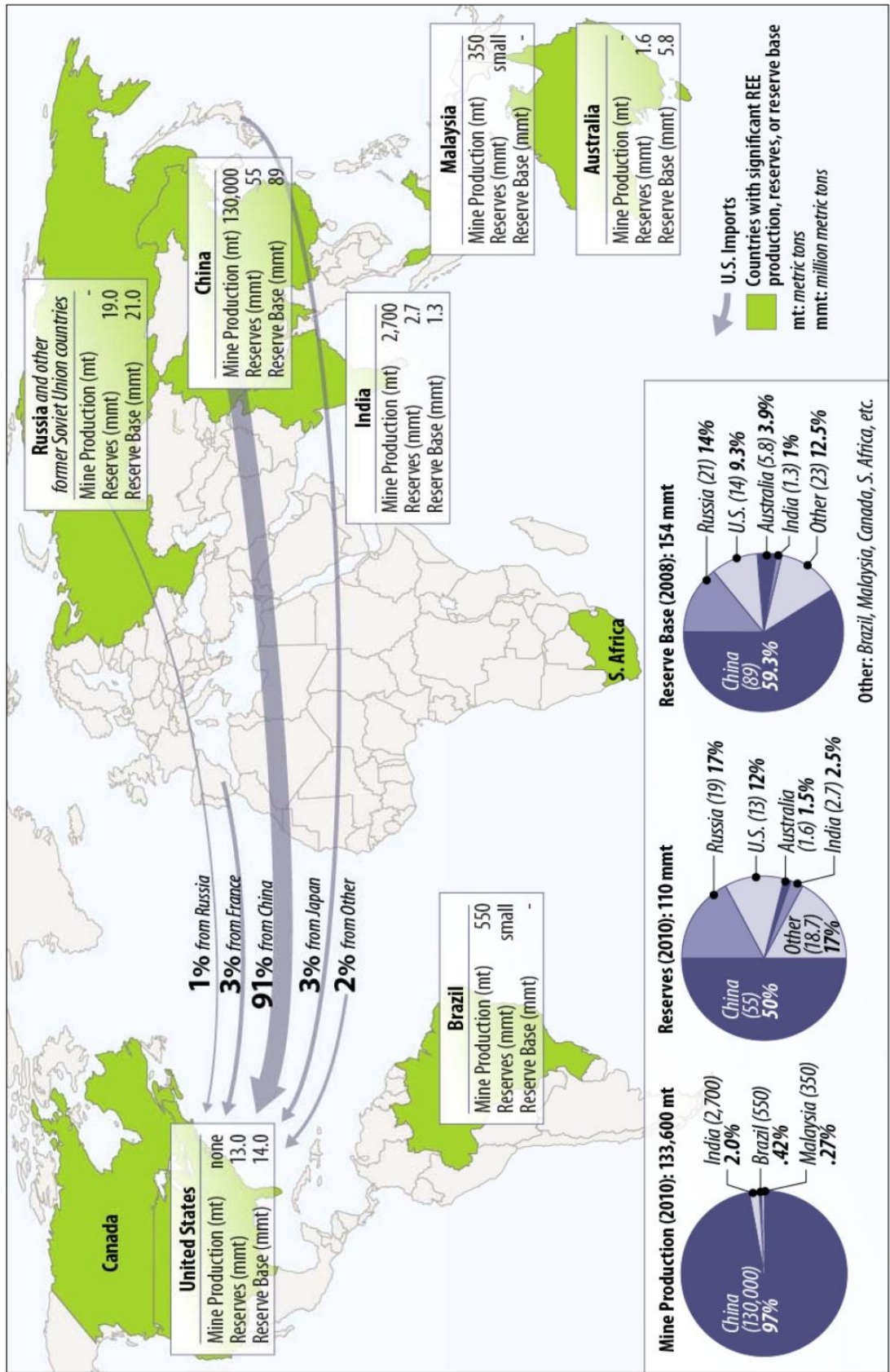
Brazílské zásoby jsou odhadovány na 48 000t REO (*Cordier 2011*). Tyto zásoby zahrnují ložiska primární a rozsypová. Komerčně nejvýznamější karbonatitový komplex Araxá v Brazílii obsahuje 800 000 tun sepergenně obohaceného lateritu s průměrným obsahem 13,5% REO (*Castor et al. 2006*). Další významné REE zdroje se také vyskytují v Argentině a Uruguay.

<b>Stát</b>	<b>Zásoby (t/ REO)</b>
Čína	55 000000
Volné společenství států	19 000000
USA	13 000000
Indie	3 100000
Brazílie	48 000
Malajsie	30 000
Austrálie	1 600000
Jiné státy	22 000000
<b>Celkem</b>	<b>113 778 000</b>

Tab. 8. Odhadované světové zásoby REO (t) v roce 2011 (podle Cordier 2012)

<b>Stát</b>	<b>Zásoby (t/ Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>
Čína	220 000
USA	120 000
Austrálie	100 000
Indie	72 000
Jiné státy	17 000
Malajsie	13 000
Brazílie	2 200
Srílanka	240
<b>Celkem</b>	<b>544 440</b>

Obr. 9. Odhadované světové zásoby Yttria (t) v roce (podle Cordier 2012)



Obr. 14. Světové zásoby, těžba a import do USA (převzato z Humphries 2011)

## SOUČASNÁ TĚŽBA VZÁCNÝCH ZEMIN

Jediné známé země, které v současné době těží REE, jsou Čína, Rusko, Indie, Austrálie, Brazílie a Malajsie. Pravděpodobná těžba REE minerálů probíhá též v Kazachstánu, Kyrgyzstánu a Vietnamu, ale spolehlivé informace o rozsáhlosti těžby v těchto zemích nejsou dostupné. Světová produkce se za posledních 20 let více než zdvojnásobila. Největší produkce byla zatím dosažena v roce 2006, kdy světová produkce byla přes 137000t REO (*Walters et al. 2011*). Světová produkce REE a yttria je shrnuta v tabulkách č. 11. a 12.

Čínská produkce se neustále zvyšovala do roku 2006, kdy tamní těžba činila 133 000t. V roce 2007 produkce mírně klesla na 125 000t, v roce 2008 produkce činila 128 000t a v roce 2009 cca 129 000t. Produkce znovu mírně klesla v roce 2010, s odhadovaným množstvím 119 000t, které zahrnovalo více než 97% světové produkce. Čínská produkce pochází především z ložiska Bayan Obo, ale také z ložiska Sichuan a z jižní Číny (*Long et al. 2010*).

Na území Ruska probíhá těžba na poloostrově Kola, kde se těží především REE-nosný minerál loparit. V roce 2010 činila Ruská produkce 2500t REO (*Walters et al. 2011*).

V Brazílii jsou REE získávány z písků obsahujících těžké minerály. Odhadovaná produkce v roce 2011 byla 550t REO (*Cordier 2012*).

Malajsie v současné době získává monazit jako vedlejší produkt při těžbě cínu. Produkce však výrazně kolísá. V roce 2009 byla produkce 380t REO, přičemž v roce 2010 produkce činila pouhých 30t REO (*Cordier 2012*).

V Indii se extrahuje monazit jako vedlejší produkt z plážových písků, které se primárně těží pro obsahy uranu a thoria. V roce 2011 byla tamní produkce 3 000 t REO (*Cordier 2012*).

Od uzavření ložiska Mountain Pass v roce 2002 se v USA REE rudy téměř netěžily. V roce 2008 společnost Molycorp získala ložisko od Chevron Minig a produkuje každoročně z hald okolo 2000t REO. Těžba na tomto ložisku znovu začala v roce 2010 a procesy drcení a úpravy suroviny budou pokračovat od roku 2012 (*Long et al. 2010*).

Kyrgyzstán byl v 80-tých letech jedním z hlavních producentů bývalého sovětského svazu a vyvážel mimo jiné do Japonska, Jižní Koreji a Německa. V dnešní době již samotná těžba na tomto území neprobíhá, avšak REE se zde stále získávají z hald (*Bogdetsky et al. 2005 in Walters et al. 2011*).



Společnost	Ložisko	Plánovaná těžba REO (t)	
		2013	2015
Lynas Corp	Mount Weld, Western Australia	22 000	22 000
Molycorp Minerals	Mountain Pass, California	19 050	40 000
Alkane Resources	Dubbo, New South Wels, Australia	3 250	6 500
Arafura Resources	Nolans Bore, severní teritorium, Austrálie	0	20 000
Great Western Minerals Group	Steenkampskraal, jižní Afrika	5 000	5 000
Toyot Tsushu Corp/Sojitz, Vietnamská vláda	Dong Pao, Vietnam	2 000 - 3 000	5 000
Sumitomo/Katomprom	Uranová hlušina, Kazachstán	3 000	15 000
Frontier Rare Earths	Zandkopsdrift, jižní Afrika	0	10 000
AMR Resources	Canakli, Turecko	2 000	5 500

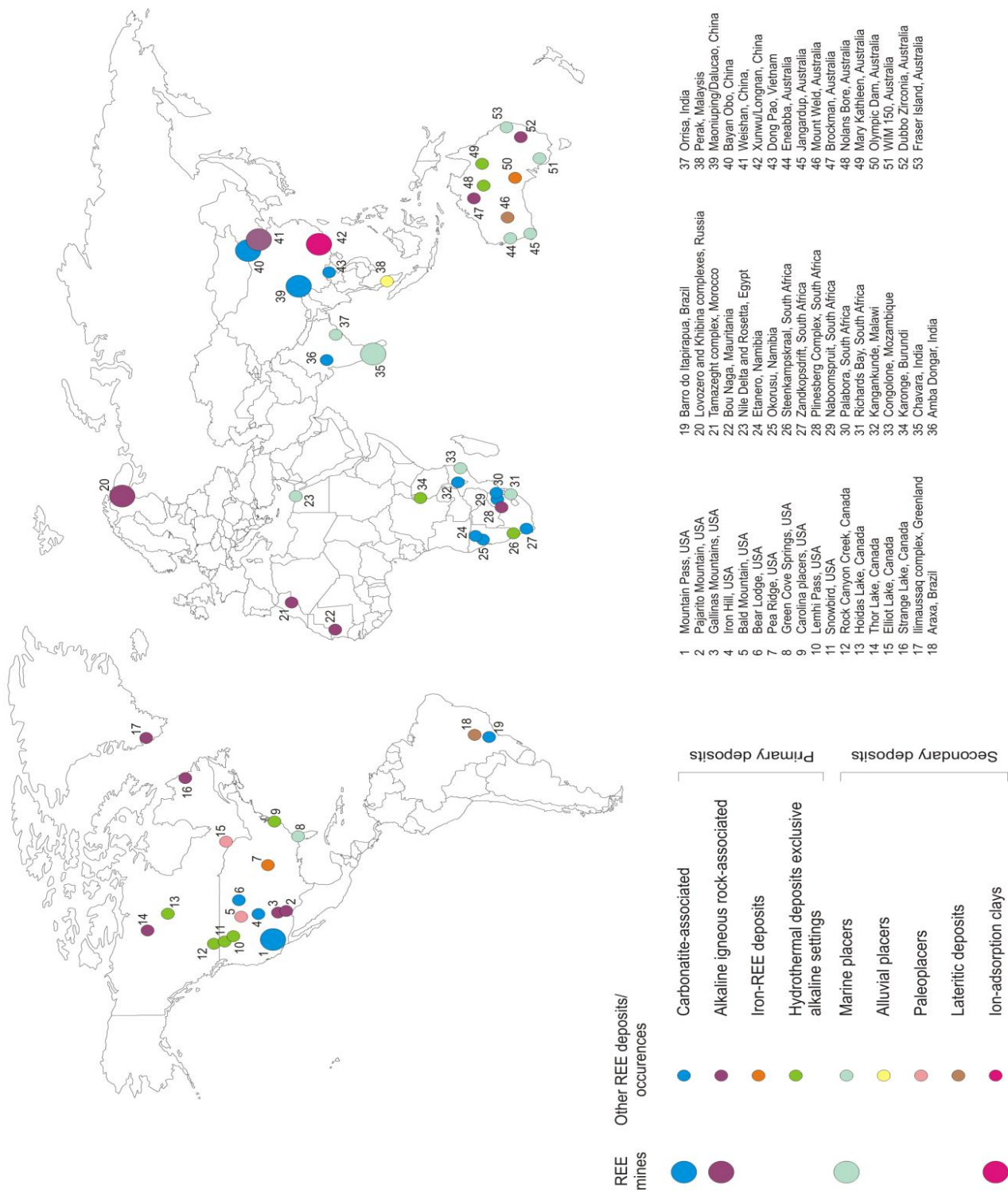
Tab. 10. Potenciální nové zdroje REO mimo Čínu (podle *Walters et al. 2011*)  
Odhadovaná produkce je stanovena na základě zpráv jednotlivých těžebních společností.

Stát	Produkce (t/REO)			
	2008	2009	2010	2011
USA	--	--	--	--
Austrálie	--	--	--	--
Brazílie	650	650	550	550
Čína	120 000	120 000	130 000	130 000
Volné společenství států	NA	NA	NA	NA
Indie	2 700	2 700	2 800	3 000
Malajsie	380	380	30	30
Ostatní státy	NA	NA	NA	NA
<b>Celkem</b>	<b>123730</b>	<b>123730</b>	<b>133380</b>	<b>133580</b>

Tab. 11. Světová produkce REE za posledních několik let (podle *Cordier 2012; 2010*)  
Data zahrnují lathanidy bez yttria a skandia

Stát	Produkce (t/ Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )			
	2008	2009	2010	2011
USA	--	--	--	--
Austrálie	--	--	--	--
Brazílie	15	15	15	15
Čína	8 800	8 800	8 800	8 800
Indie	55	55	55	55
Malajsie	4	4	4	4
Srílanka	--	--	--	--
Ostatní státy	--	--	--	--
<b>Celkem</b>	<b>8874</b>	<b>8874</b>	<b>8874</b>	<b>8874</b>

Tab. 12. Světová produkce yttria za posledních několik let (podle *Cordier 2012; 2010*)



Obr. 15. Přehled světových ložisek REE

(převzato z [http://www.bgs.ac.uk/research/highlights/documents/Global\\_REE\\_Deposits.pdf](http://www.bgs.ac.uk/research/highlights/documents/Global_REE_Deposits.pdf))

<b>Ložisko</b>	<b>Společnost</b>	<b>Zásoby REO (Mt)</b>	<b>Zásoby rudy (Mt)</b>	<b>Kovnatost REO (%)</b>	<b>Plánovaný začátek těžby a velikost produkce</b>
Mountain Pass, USA	Molycorp Minerals	1,12	13,59	8,24	2012; produkce 19050 t/rok
Mount Weld, Austrálie	Lynas Corp	1,42	17,49	8,1	2011; produkce 11 000 t/rok
Nolans Bore, Austrálie	Arafura Resources	0,85	30,3	2,8	2013; produkce 20 000 t/rok
Steenkampskraal, jižní Afrika	Great Western Minerals Group	0,03	0,25	17	2013; produkce 2 700 t/rok
Dong Pao, Vietnam	Toyot Tsushu Corp/Sojitz, Vietnamese	0,4	7,5	5,33	2012; produkce 2 000-3 000 t/rok
Uranové haldy, Kazachstán	Sumitomo/Katomprom				2011; produkce 3000 t/rok
Conakli, Turecko	AMR Resources	0,7			2012; produkce 2000 t/rok
Zandkopsdrift, jižní Afrika	Frontier Rare Earths	0,53	22,92	2,32	2015; produkce 20 000 t/rok
Hoidas Lake, Kanada	Great Western Minerals Group	0,057	2,85	2	2015
Strange Lake, Kanada	Quest Rare Minerals	0,42	36,53	1,16	2016
Bear Lodge, USA	Rare Element Resources	0,18	4,9	3,77	neznámý
Kvanefjeld, Grónsko	Greenland Minerals and Energy	4,91	457	1,07	neznámý
Kutessay II, Kyrgyzstán	Stans Energy Corp	0,043	16,27	0,264	neznámý
Nechalacho, Kanada	Avalon Rare Metals	0,9	57,49	1,56	neznámý
Zeus (Kipawa), Kanada	Metamec Explorations	0,06	12,47	0,51	neznámý

Tab. 13. REE projekty mimo Čínu (převzato z *Walters et al. 2011*)

## 8. ZÁVĚR

Význam REE je v současné době obrovský. Neobejde se bez nich výroba automobilových katalyzátorů, skla, luminoforů, permanentních magnetů. Nacházejí však také uplatnění jako legující příměsi v hutnictví. Obzvláště jsou pak na dostupnosti REE závislá moderní odvětví („high-technology“ a elektrotechnologie). Celosvětově spotřeba REE rychle roste. V roce 2011 byla jejich produkce 133 000 tun a předpokládá se, že v následujících čtyřech letech vzroste až na 210 000 tun. Přestože velké zásoby REE-nosných rud mají i Spojené státy, Austrálie, Malajsie, Afrika nebo Dánsko (v Grónsku), jediným producentem vzácných zemin v současné době je Čína. V roce 1980 byl hlavním producentem důl v Mountain Pass (USA), který produkoval přes 70% světové spotřeby těchto surovin. Avšak po roce 1990, kdy začala Čína s extrakcí vzácných zemin v dole na železnou rudu v Bayan Obo, záhy odrovnala veškerou konkurenci nízkou cenou. Příčinou nízkých čínských cen je jak ignorování dopadů těžby na životní prostředí, tak zejména to, že REE tvoří vedlejší produkt při těžbě a zpracování železné rudy. Vysoká poptávka v posledních letech po REE jak v Číně, tak i ve světě a možná snad i politický důvod vedl k tomu, že v roce 2010 čínské ministerstvo obchodu oznámilo 70% snížení kvót pro export této komodity (ve srovnání s první polovinou roku 2010). Toto oznámení vyvolalo dramatický růst cen REE na světovém trhu. V současné době proto roste zájem vyspělých ekonomik o zajištění nových zdrojů REE mimo Čínu a s tím souvisí i probíhající rozsáhlé geologické průzkumy po celém světě.

## CITACE

- Arafura Resources Limited. <http://www.arafuraresources.com.au/rare-earths/market.html>, 27. 3. 2012
- Avalon Rare Metals. <http://avalonraremetals.com/resources/REE101-2012efile.pdf>, 28.3. 2012
- British Geological Survey.  
[http://www.bgs.ac.uk/research/highlights/documents/Global\\_REE\\_Deposits.pdf](http://www.bgs.ac.uk/research/highlights/documents/Global_REE_Deposits.pdf), 15.3. 2012
- Castor, S. B. and Hedrick, J. B., Rare Earth Elements *in* Kogel, J. E. et al. eds., 2006, Industrial Minerals & Rocks, Commodities, Markets, and uses. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. 769-792 str.
- Cordier D. J. 2010, 2012, Mineral Commodity Summaries. Geological Survey, 198 str.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., 1992, An introduction to rock forming minerals. Prentice Hall, 696 str.
- Geology.com, 25. 3. 2012
- Goonan, T.G., 2011, Rare earth elements—End use and recyclability: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011–5094, 15 str.
- Goliáš V., 2002, Thoriová mineralizace Českého Masívu, MS Dokt.práce, PŘF UK, Praha, 101 str.
- Hermann, J., 2002, Allanite: thorium and light rare earth element carrier in subducted crust, Chemical Geology 192, 289– 306 str.
- Humphries M., 2011, Rare Earth Elements: The Global Supply Chain. Congressional Research Service, 26 str.
- Leichmann J., 2004, Naloučány: alkali feldspar syenite with enigmatic origin *in* International workshop on petrogenesis of granulites and related rocks, 21-29 str.
- Industrial Minerals. <http://www.indmin.com>, 27. 3. 2012
- Jones P.A., Wall F., Williams T.C., 1996, Rare Earth Minerals: Chemistry, origin and ore deposits. Chapman and Hall, 372 str.
- Kadlec T., 2010, Allanit-(Ce) a minerály prvků vzácných zemin vzniklé jeho alterací ve Vlastějovicích. Minerál (2010) 415-418 str.
- Korbel, P. a Novák, M. 2004, Komplettní encyklopedie minerálů. Vydavatelství Rebo Productions, Dobřejovice, 296 str.
- Kul, M. Topkaya Y., Karakaya, I., 2007, Rare earth double sulfates from pre-concentrated bastnasite, Hydrometallurgy 93, 129–135 str.
- Kynický, J., 2010, REE mineralizace ložiska Bayan Obo ve vnitřním Mongolsku. Minerál (2010), č.5., 422-435 str.
- Long, K.R., Van Gosen, B.S., Foley, N.K., and Cordier, Daniel, 2010, The principal rare earth elements deposits of the United States—A summary of domestic deposits and a global perspective: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5220, 96 str.

- Lynas Corporation LTD. <http://www.lynascorp.com>, 27. 3. 2012
- Metal Pages. <https://www.metal-pages.com>, 27. 3. 2012
- Molycopr Inc.  
<http://www.molycorp.com/GreenElements/RareEarthsManyUses/AdvancedVehicles.aspx> , 19. 3. 2012
- Orris, J.G., Grauch, I.R., 2002, Rare Earth Element Mines, Deposits, and Occurrences, Open-File Report 02-189
- Papp, J.F., Bray, E.L., Edelstein, D.L., Fenton, M.D., Guberman, D.E., Hedrick, J.B., Jorgenson, J.D., Kuck, P.H., Shedd, K.B., and Tolcin, A.C., 2008, Factors that influence the price of Al, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Rare Earth Elements, and Zn: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1356, 61 str.
- Pichler H., Schmitt-Riegraf C. 1997, Rock forming minerals in thin section. Chapman and Hall, 220 str.
- Rare Earths Global limited. <http://www.rareearthsglobal.com/content/products/uses.asp>, 19. 3. 2012
- Starý J., Kavina P., Vančček M., Sitenský I., Kotková J., Hodková T., 2010, Surovinové zdroje České republiky. Nerostné suroviny 2010, 489 str.
- Škoda R., Novák M., 2006, Y,REE,Nb,Ta,Ti-oxide ( $AB_2O_6$ ) minerals from REL–REE euxenite-subtype pegmatites of the Třebíč Pluton, Czech Republic; substitutions and fractionation trends. Lithos 95, 43–57 str.
- Škoda, R.: Prvky vzácných zemin: vlastnosti, použití, historie. Minerál (2010), č. 5., 388-396.
- Tasman Metals. <http://www.tasmanmetals.com/s/Projects.asp>, 22. 3. 2012
- Verplanck, P.L., Van Gosen, B.S., 2011, Carbonatite and alkaline intrusion-related rare earth element deposits—A deposit model: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011–1256, 6 str.
- Walters, A., Lusty, P., Hill, A., 2011, Rare Earth Elements, British Geological Survey, 53 str.
- Webmineral. [http://webmineral.com/data/Loparite-\(Ce\).shtml](http://webmineral.com/data/Loparite-(Ce).shtml) 19.3. 2012