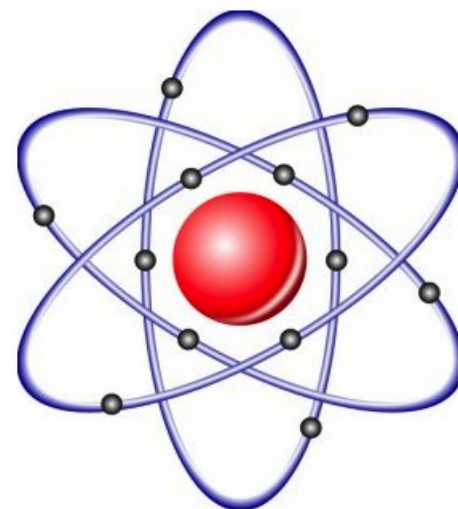


Nerostné zdroje světa

energetické suroviny – URAN

Uran

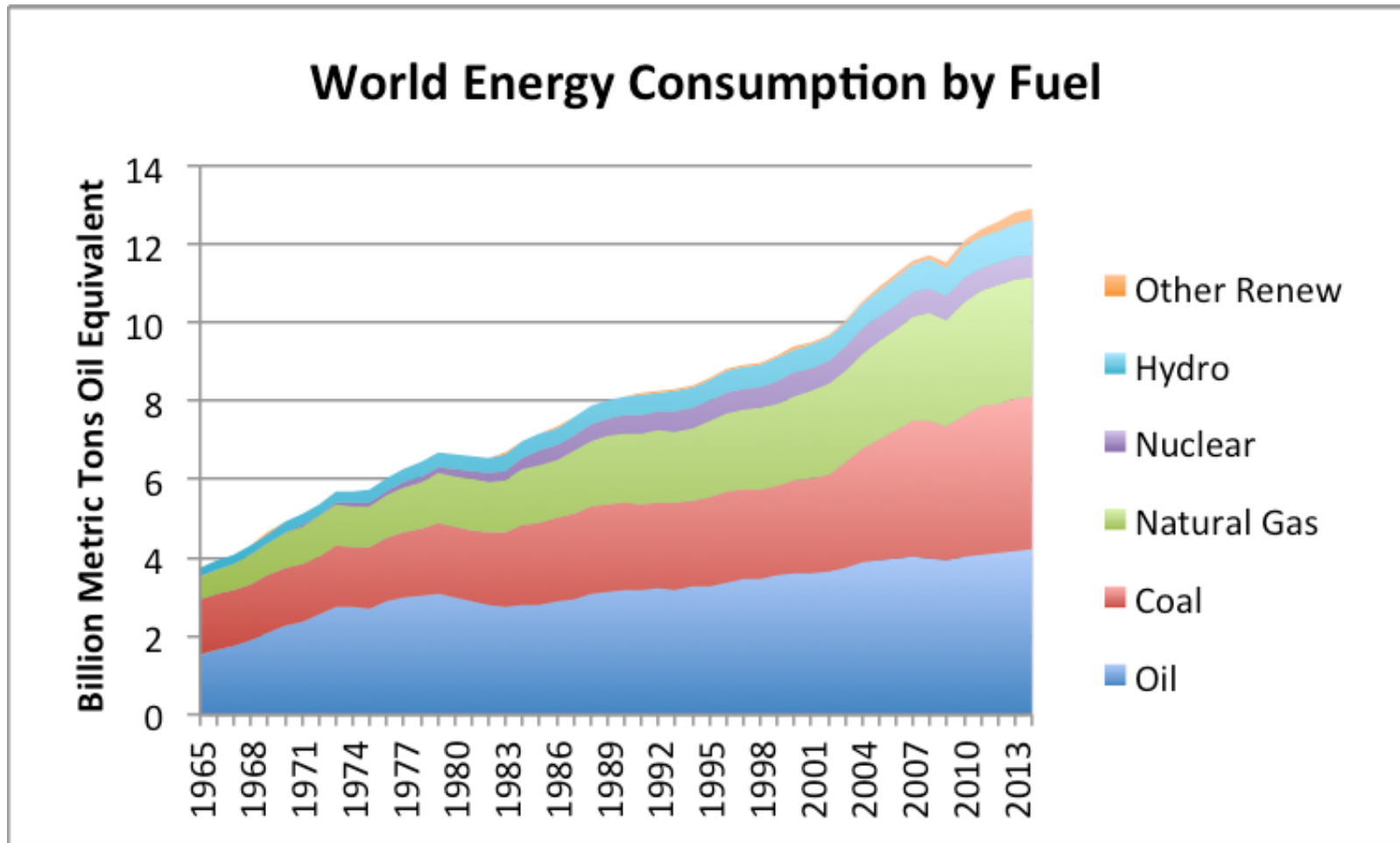


Energetické suroviny

- uhlí
- ropa, zemní plyn
- hydráty metanu
- **uran**

- geotermální energie

Energie – spotřeba/suroviny



Obr. 1: Světová spotřeba primární energie. [1]

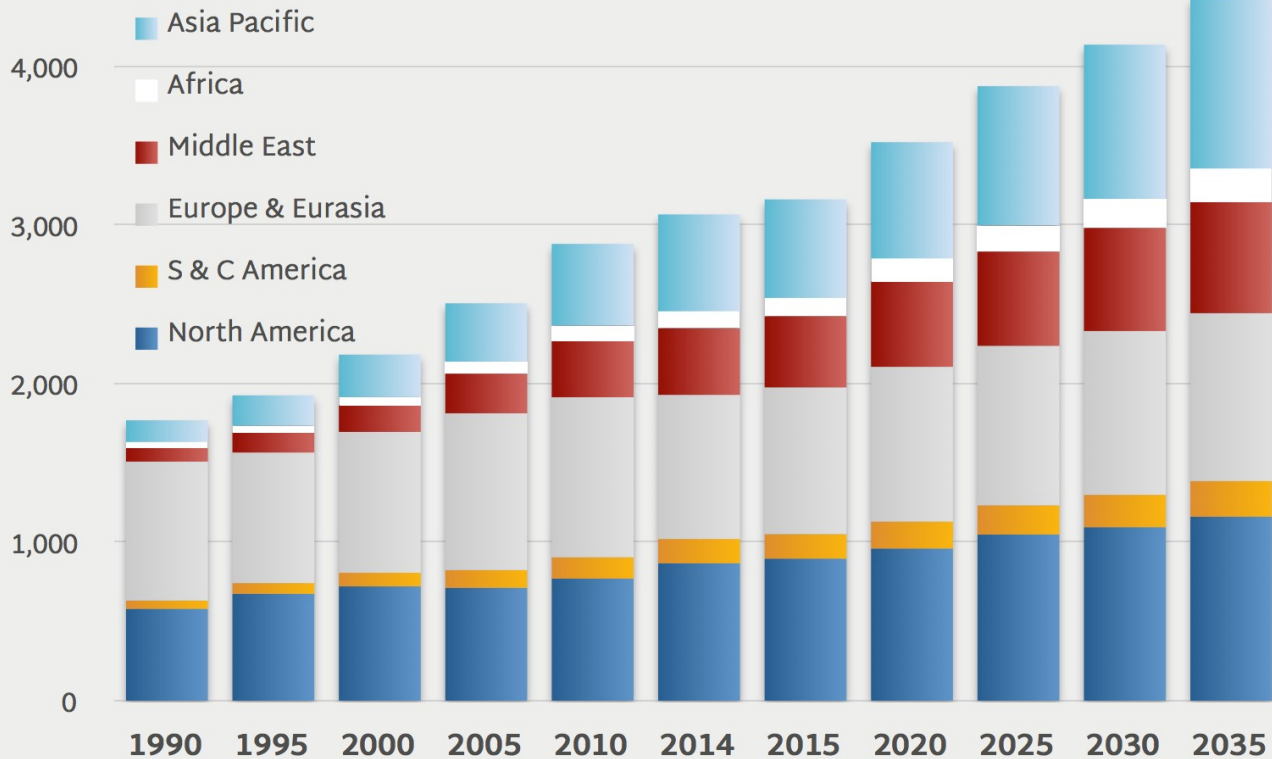
1 t oil of equivalent = 1,5 t hard coal, 3 t lignite (solid fuel); 12 MWh (electricity); 42 GJ (heat unit)

Energie – spotřeba/kontinenty

Natural Gas Consumption Outlook by Region

Consumption by fuel (million tonnes oil equivalent)

HelgiLibrary



Source: BP Energy Outlook 2016, Helgi Analytics

www.helgilibrary.com

Obr. 2: Regionální spotřeba primární energie. [1]

Uran v přírodě

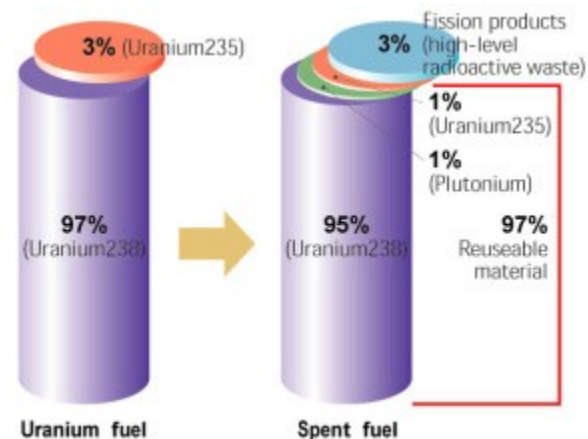
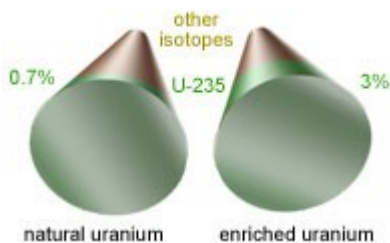
- nejtěžší prvek v přírodě
- průměrný obsah v litosféře a hydrosféře 2-4 ppm

- uran – průměrný obsah izotopů

^{238}U – 99,284 %

^{235}U – 0,711 %

^{234}U – 0,005 %



- pro štěpné reakce přímo využitelný jen izotop ^{235}U
=> **nutnost obohacování na 3-5 %**

Uranové/uranonosné minerály

- **oxidy a hydroxidy**
uraninit/smolinec (UO_2)
brannerit, davidit
- **silikáty**
coffinit $\text{U}(\text{SiO}_4)(\text{OH})_4$
thorit, uranofán
- **fosfáty, vanadáty, azrenáty**
torbernit $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}$, autunit $[\text{Ca}^{2+}]$
ningyoit $(\text{U}, \text{Ca}, \text{Ce})_2(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, brockit, monazit
carnotit $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{V}_2\text{O}_8)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, t'ujamunit $[\text{Ca}^{2+}]$

Uranové/uranonosné minerály

- **karbonáty**
schröckingerit, liebigit
- **sulfáty**
zippeit, uranopilit
- **organolity**
U-antraxolit

- počet U-minerálů v ČR – 113
- nejvíce zastoupeny fosfáty-vanadáty a oxidy-hydroxidy
- nejhojnější lokality Jáchymov, Zálesí, Příbram, Rožná

Uranové minerály



Obr. 3: uraninit
(Shinkolobwe mine/Katanga/D.R.C.). [2]



Obr. 4: varieta uraninitu/smolinec
(Jáchymov/ČR). [2]

Uranové minerály



**Obr. 5: fluorit (žlutá), malachit (zelená)
(Mashamba west mine/Katanga/D.R.C.). [2]**



**Obr. 6: torbernit (tmavá z.), autunit (světlá z.)
(Le Boucheron/Limousin reg./France). [2]**

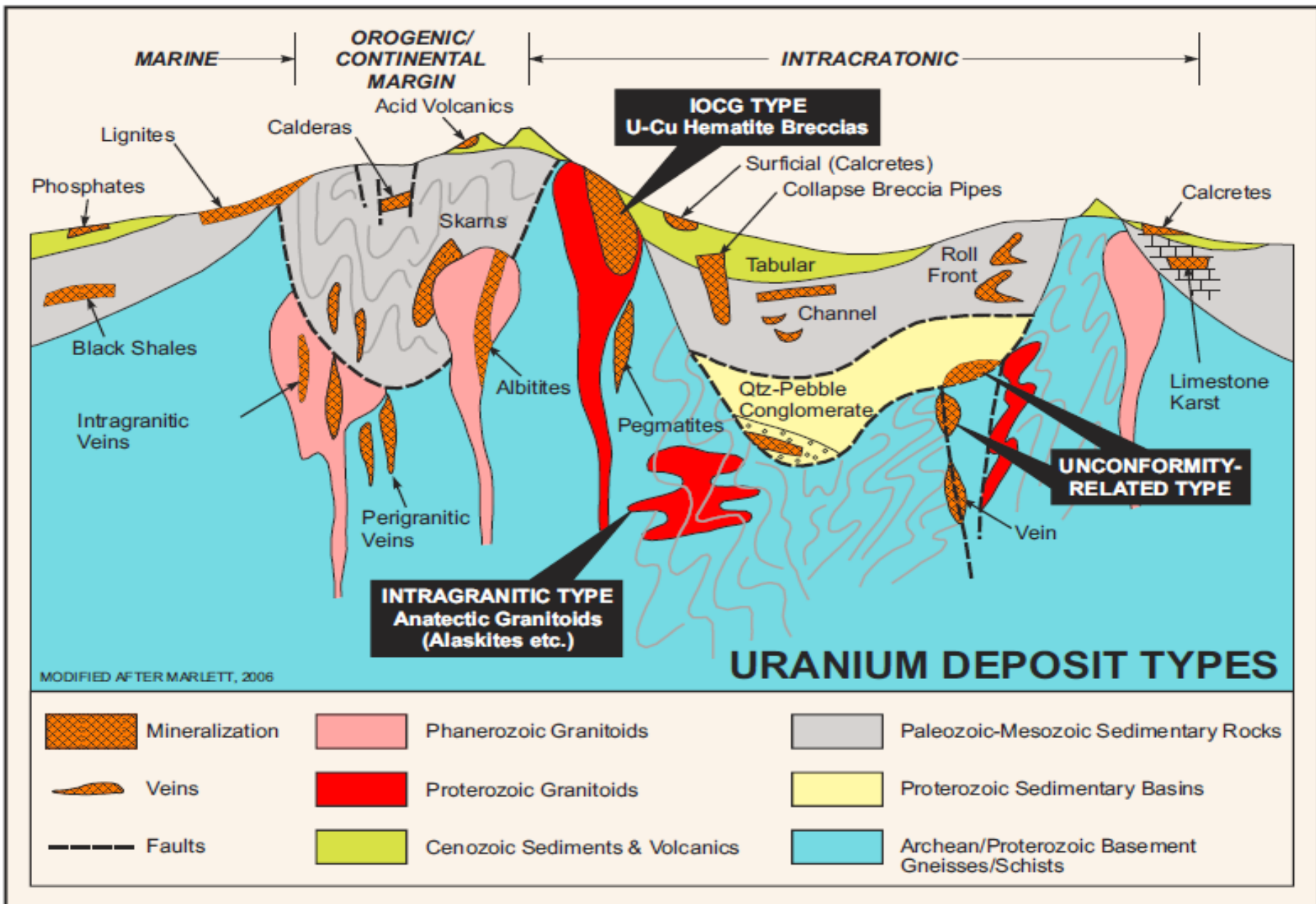
Klasifikace uranových ložisek

Série	Skupina	Typ	Formace	Podtyp	
Endogenní	pegmatitová	metasomatizované	U-Th		
	karbonatitová	akumulace v ultrabazikách	apatit-magnetitová		
		akumulace v karbonatitech	pyrochlorová		
	magmatogenní metasomatity	skarnová	U-skarny		
		albititová	U-Th		
	hydrotermální žilná	plutonická	porfyrových rud	uran-molybdenitová	
			křemen-uranová	U-Au-Mo	
U-karbonátová			uraninit-karbonátový uraninit-sulfidicko-karbonátový pětiprvkový (Ag-U-Bi-Co-Ni)		
		hematit-brekciová (IOCG-U)			
		unconformity			
	regionálně metamorfogenní	regionálně metamorfovaná	fosilní rýžoviska (Au-U)		
Exo-endogenní (přechodná)	infiltrační	uranonosné pískovce	U-Mo-Cu U-V-Cu U-FeS ₂ U-Zr-Ti-P		
		uhelné sloje a břidlice	U V,Ge		
		kaustobiolity živičné řady	U		
		uranonosné vápence	U		
Exogenní	sedimentární	klastická:			
		a) fosilní rýžoviska	Au-U konglomeráty		
		b) plážová rýžoviska	U-Th-Zr		
		chemogenní a biochemická	oxidy U,V		
		černé břidlice	U		
fosfority	U				

Tab. 1: Genetická klasifikace uranových ložisek (podle Havelky, 1981), upraveno [3]

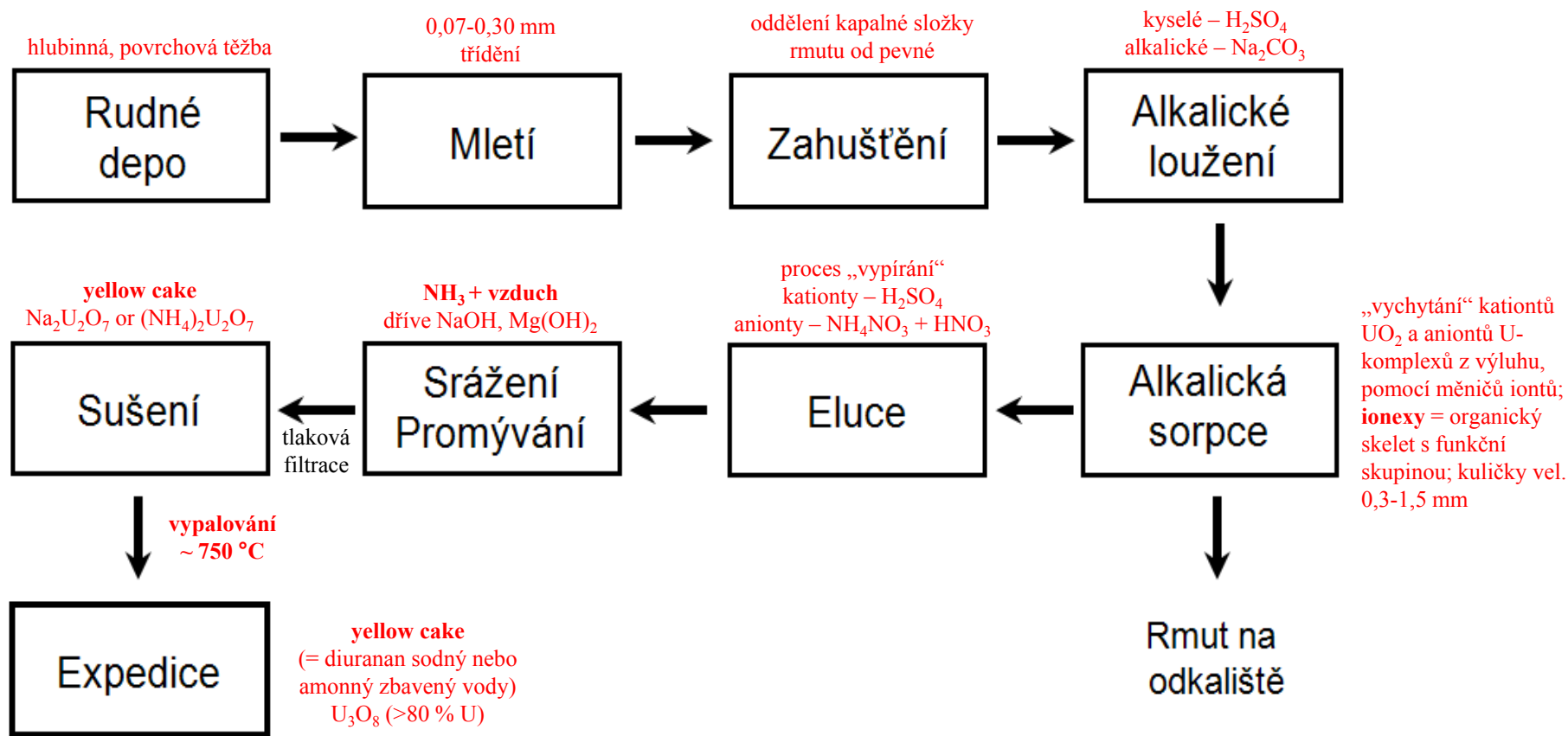
Klasifikace podle IAEA

- 14 ložiskových kategorií
(dle geologického uložení a ekonomického významu)
- **unconformity**
- **sandstone**
- **breccia complex**
- **vein**
- **volcanic**
- **intrusive**
- **metasomatite**
- **surficial**
- **quartz-pebble conglomerate**



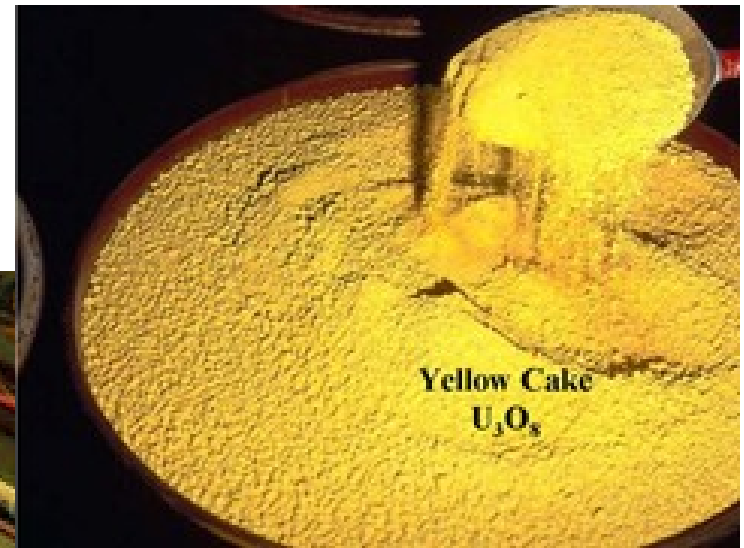
Obr. 7: Typy uranových ložisek, dle klasifikace IAEA. [4]

Úprava uranové rudy



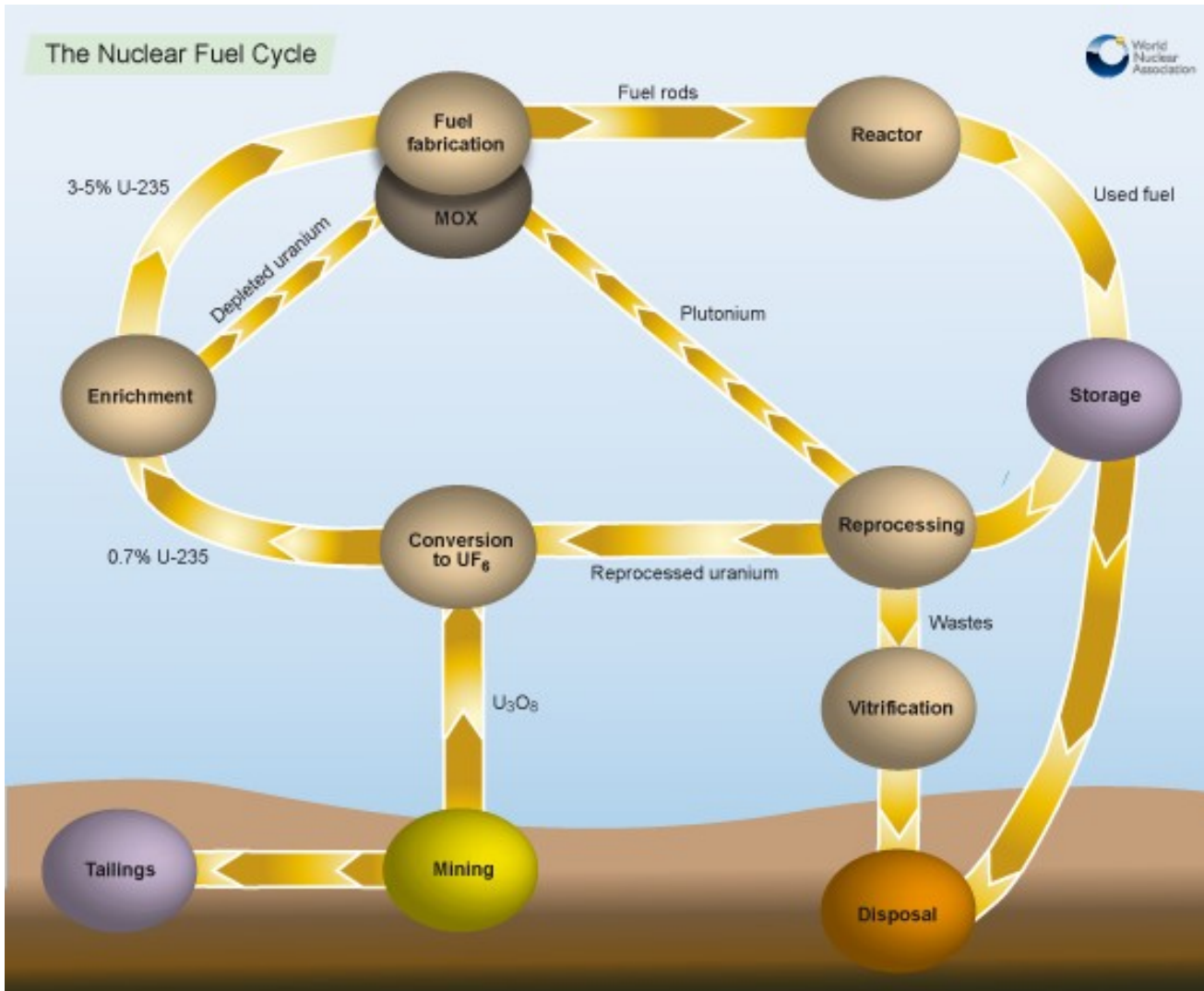
Obr. 8: Schéma úpravy uranové rudy. [5]

Yellow cake

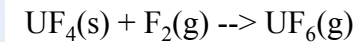
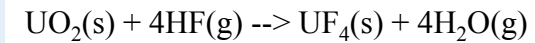


Obr. 9, 10: Zpracování uranové rudy na tzv. „žlutý koláč“ – výrobní linka a konečný poloprodukt. [6,7]

Palivový cyklus



konverze U_3O_8



obohacování ^{235}U

- plynná difúze
- centrifugace
- energeticky, časově a technologicky náročné
- obohacené palivo ve formě UO_2 se lisuje a slinuje do tablet

MO_x = mixed oxide fuel

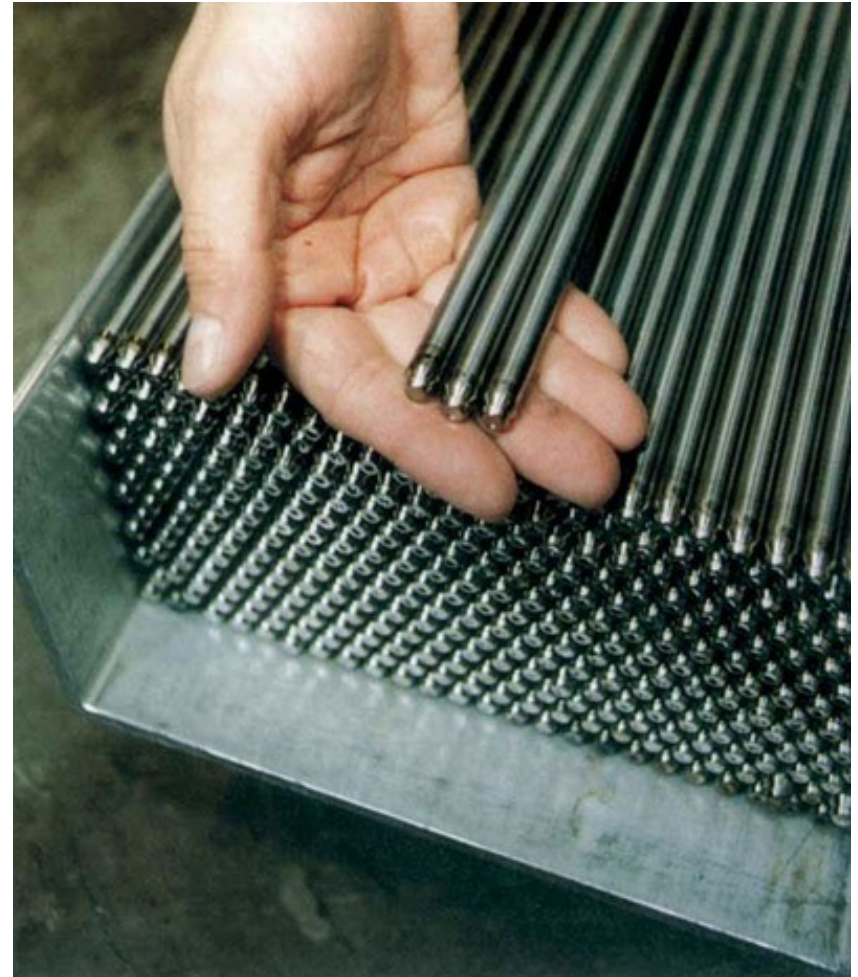
- palivo s více jak jedním oxidem štěpného materiálu
- obvykle UO_2 a PuO_2
- alternativní palivo pro LWR (light water reactor)

Obr. 11: Výroba jaderného paliva. [8]

Jaderné palivo

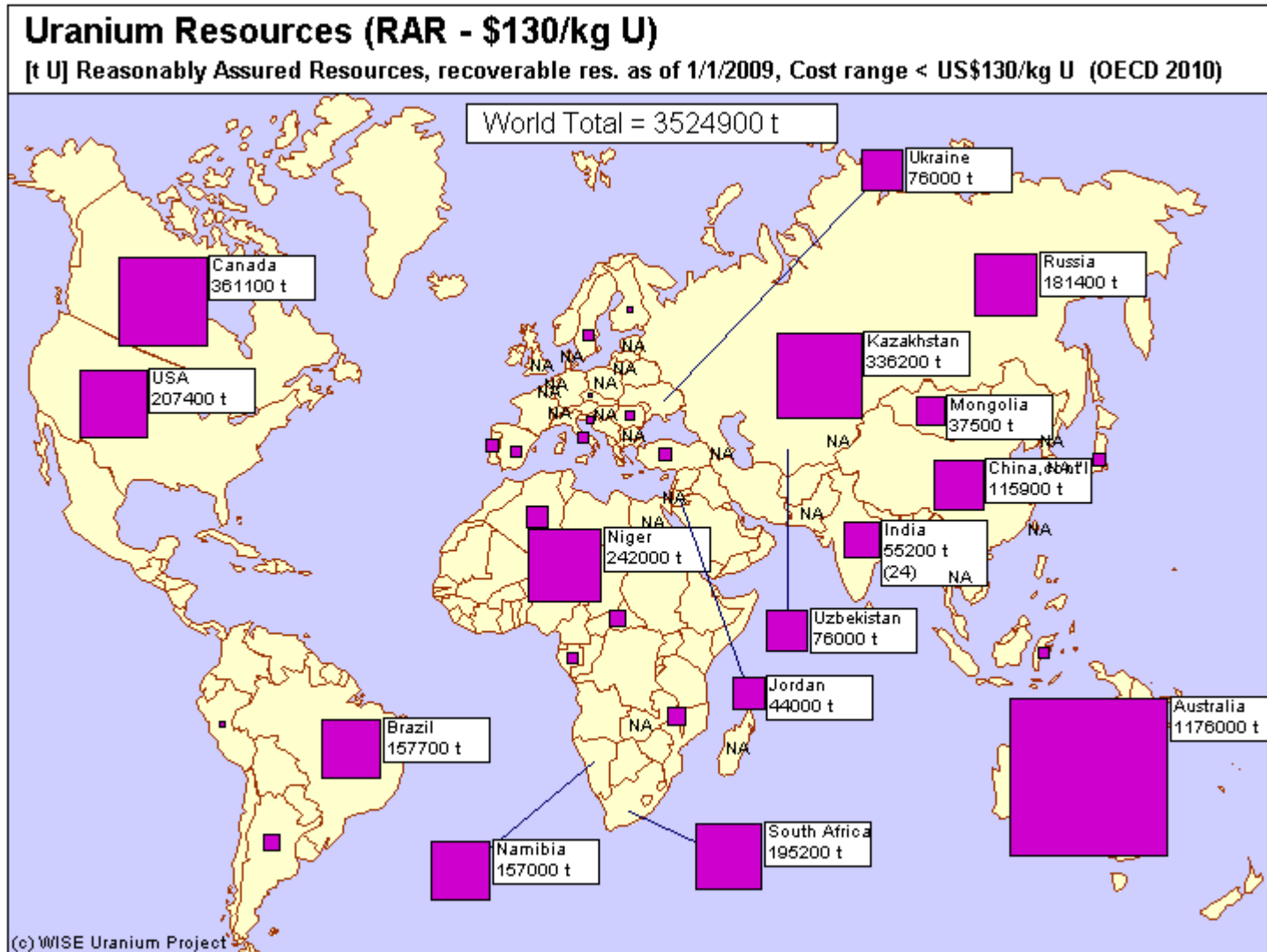


Obr. 12: Palivová peleta (cca 1x1 cm). [9]



Obr. 13: Palivové proutky. [10]

World uranium deposits



t = metric tonne · NA = Data not available

U – USA, Wyoming

infiltrační ložiska

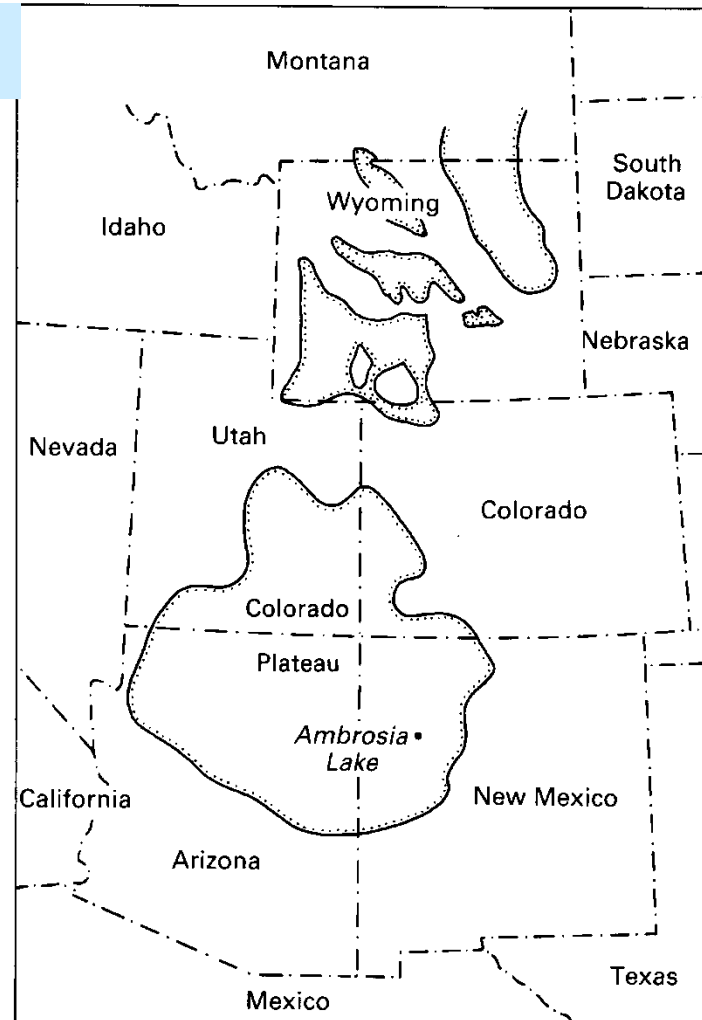
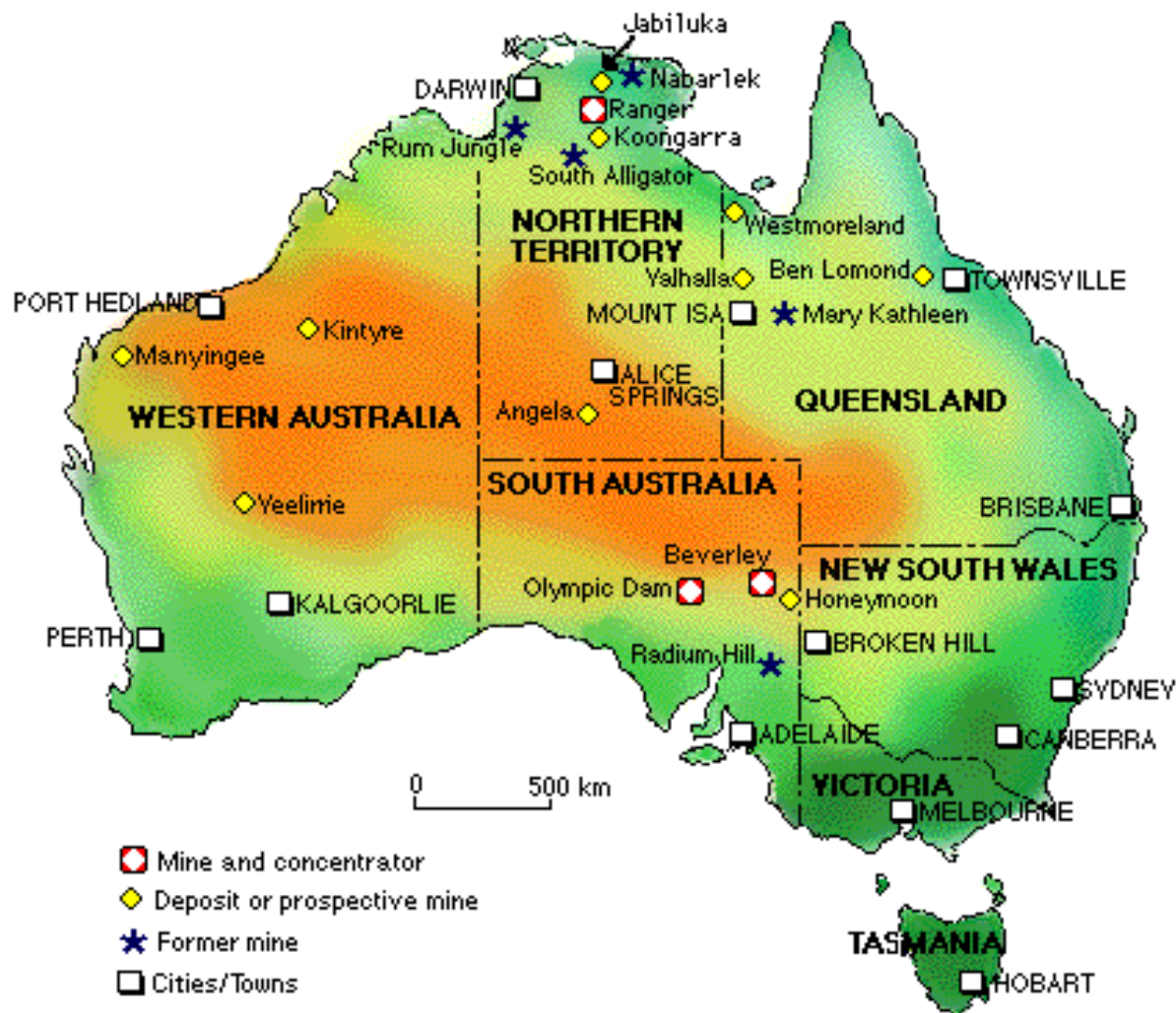


Fig. 18.3 Map showing the Colorado Plateau and Wyoming Basin.

U – Austrálie



- 4 činná ložiska
- a dalších 30 neaktivních
- infiltrační pískovce a vápence
- unconformity
- hematit-brekciová formace
- **celkové zásoby:** > 1,6 Mt U
- kovnatost nízká (< 0,3 % U_3O_8)
- těžba OP, UG, ISL
- **celková produkce:** 5983 t U
- **Olympic Dam**
- největší důl světa v kategorii polymetal. hydrotermálních lož.
- primární produkce – Cu, U
- v menší míře Ag, Au, REE
- zásoby ~ 300 kt U
- těžba – 2955 t U/ročně

Obr. 14: Uranová ložiska Austrálie. [11]

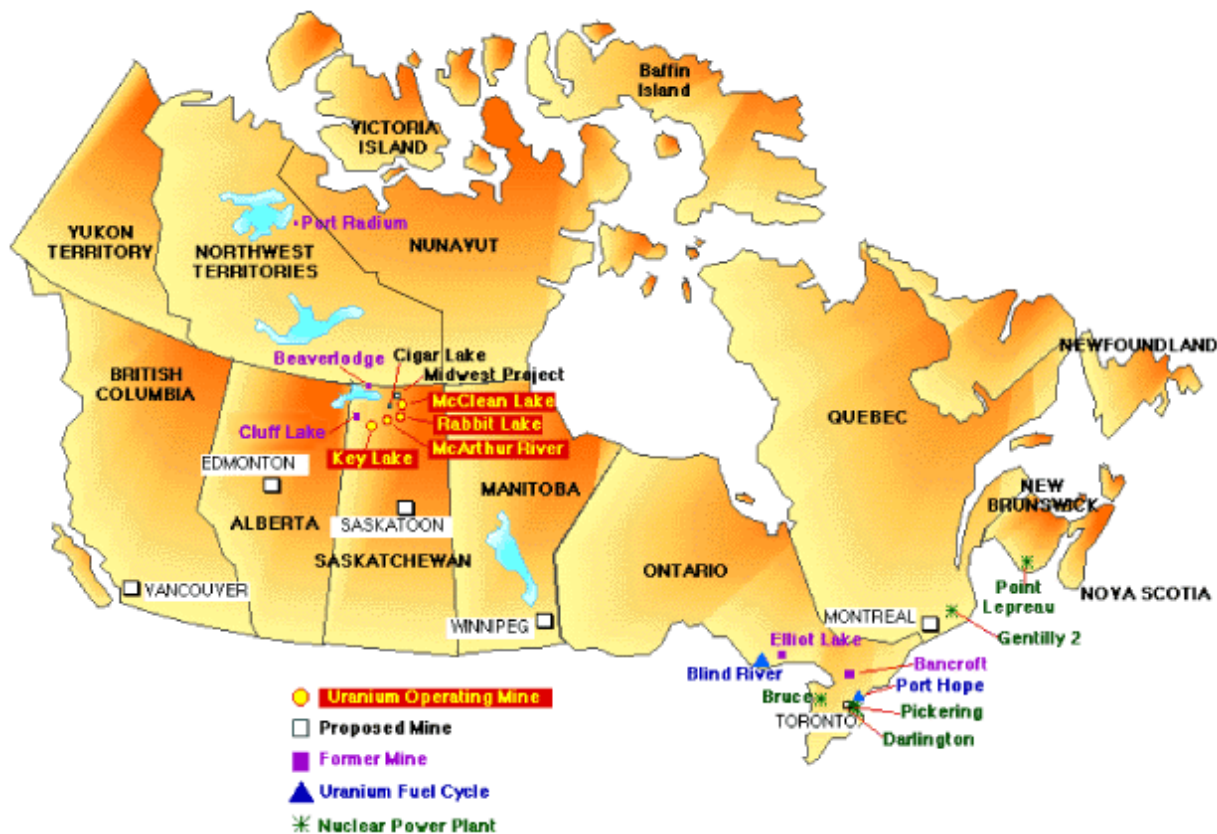
Olympic Dam



 Obr. 15, 16: BHP's Olympic Dam mine. [12, 13]

**rozměry dolu:
4,1 x 3,5 x 1 km**

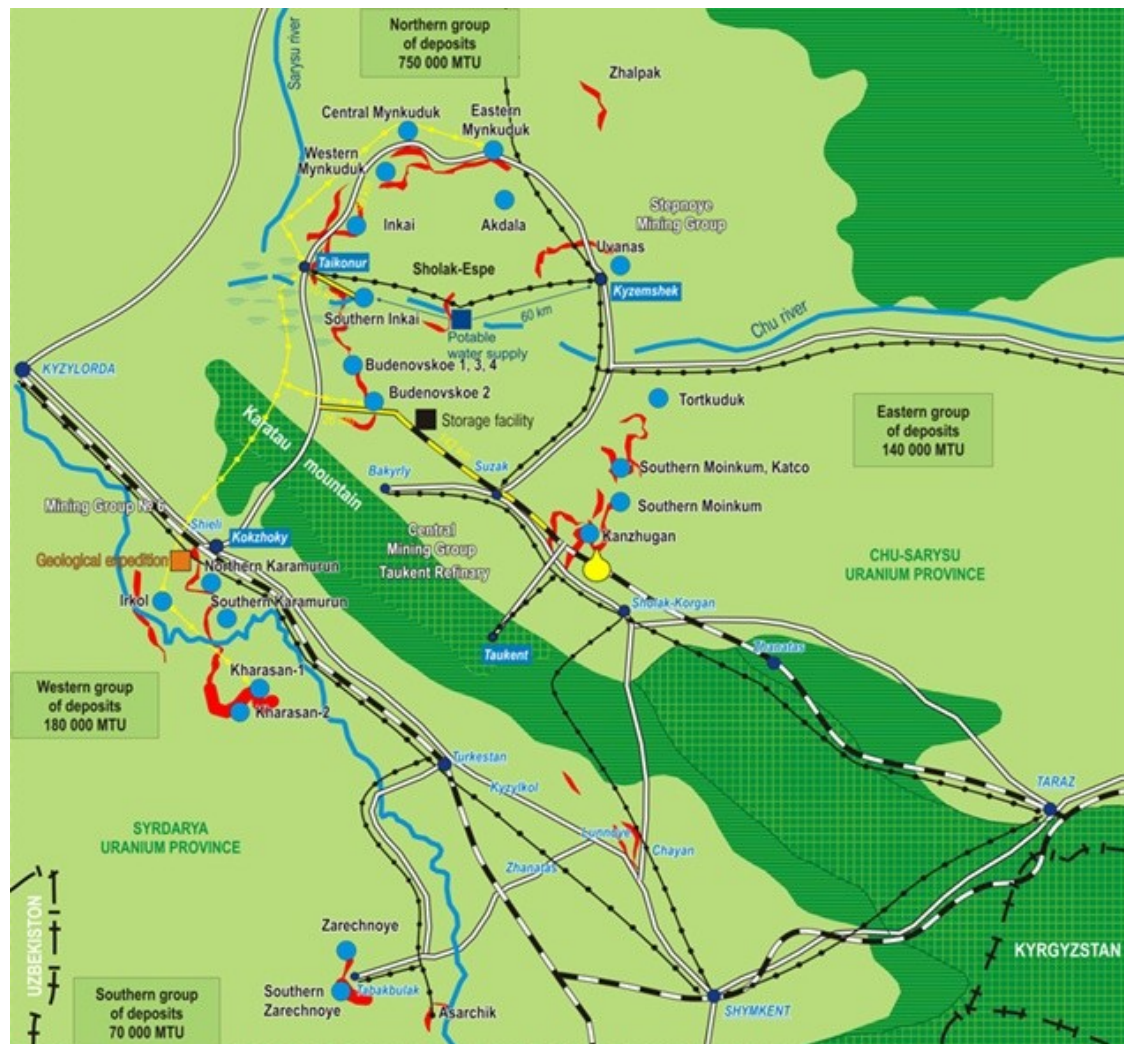
U – Kanada, Athabasca basin



- 2 činná ložiska
- 8 neaktivních
- unconformity
- hematit-brekciová formace
- **celkové zásoby:** > 500 kt U
- kovnatost vysoká (až 26 % U_3O_8)
- těžba OP, UG
- **celková produkce:** 9145 t U
- **McArthur River**
- nejproduktivnější důl světa – 7339 t U/rok (15 % svět. těžby)
- zásoby ~ 200 kt U
- kovnatost – prům. 13% U_3O_8

Obr. 17: Uranová ložiska Kanady. [14]

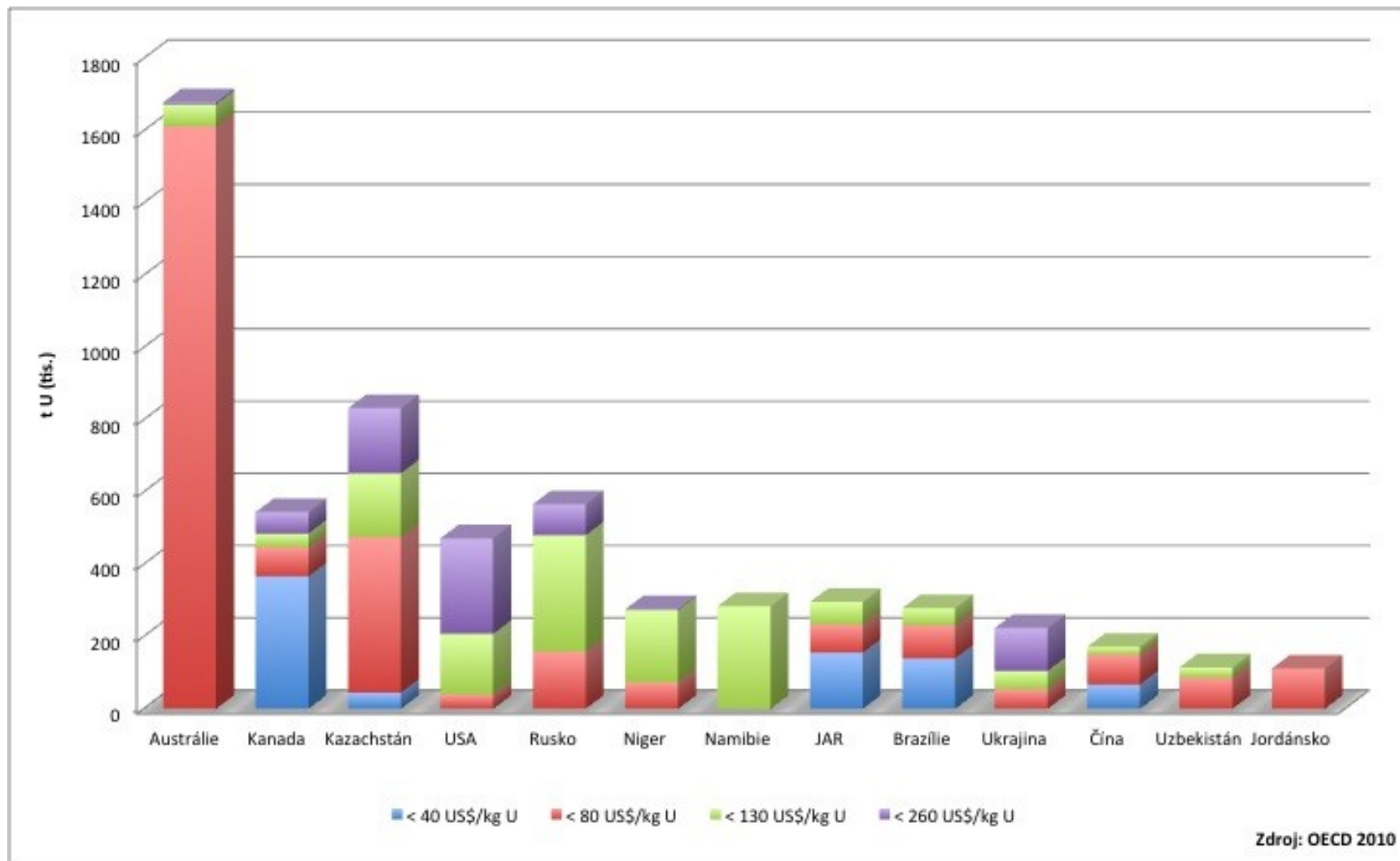
U – Kazachstán



- 6 uranových provincií
- 22 činných ložisek
- 37 neaktivních (prozkoumaných)
- infiltrační pískovce
- hydrotermální žilná (vein type)
- **celkové zásoby:** > 800 kt U
- kovatost nízká (< 0,2 % U_3O_8)
- těžba ISL
- **celková produkce:** 19451 t U
- největší producent U od r. 2009
- **36 % světové produkce**
- potenciální zdroje v různých lož. typech ~ 380 kt U
- produkce činných ložisek: 502-2600 t U/ročně
- **nejvýznamnější doly:** Trotkuduk, Inkai, Budenovskoye

Obr. 18: Uranová ložiska Kazachstánu. [16]

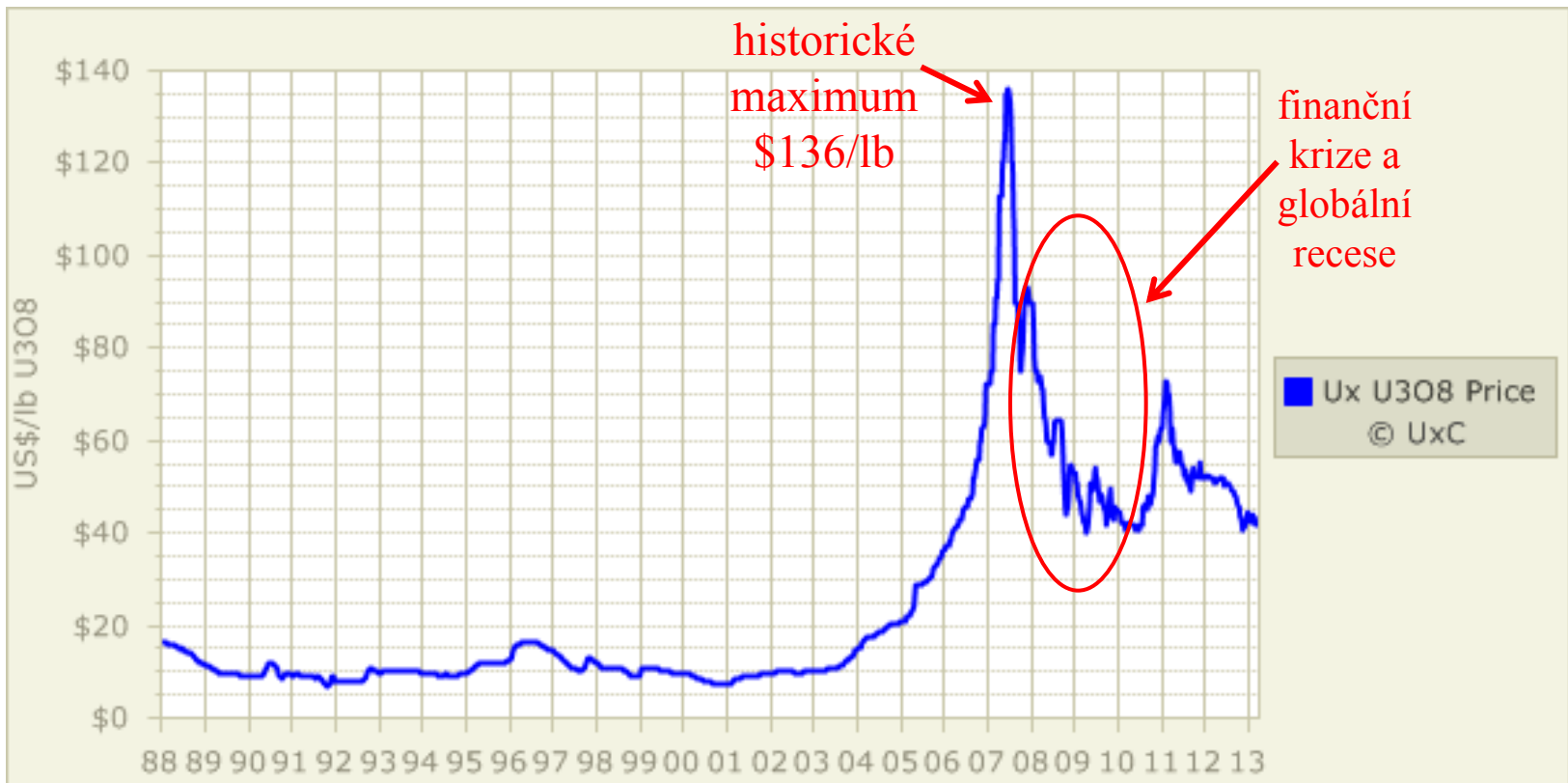
Zásoby uranu vs. náklady na těžbu



Obr. 19: Zásoby uranu (recoverable resources) ve vybraných zemích, rozdělené podle nákladů na těžbu. [17]

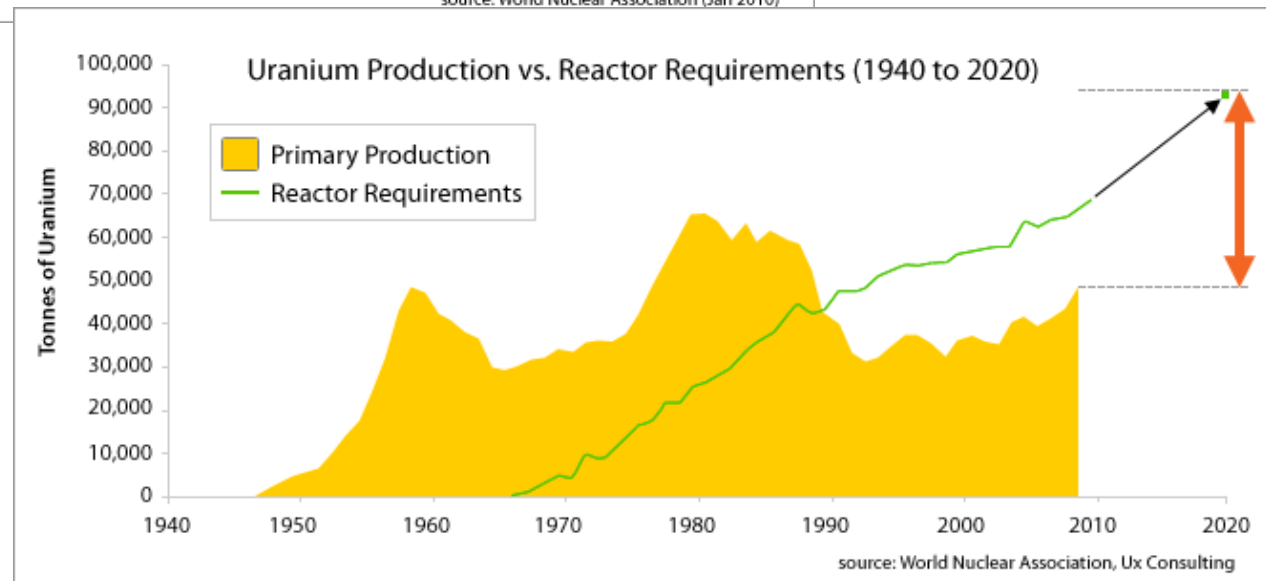
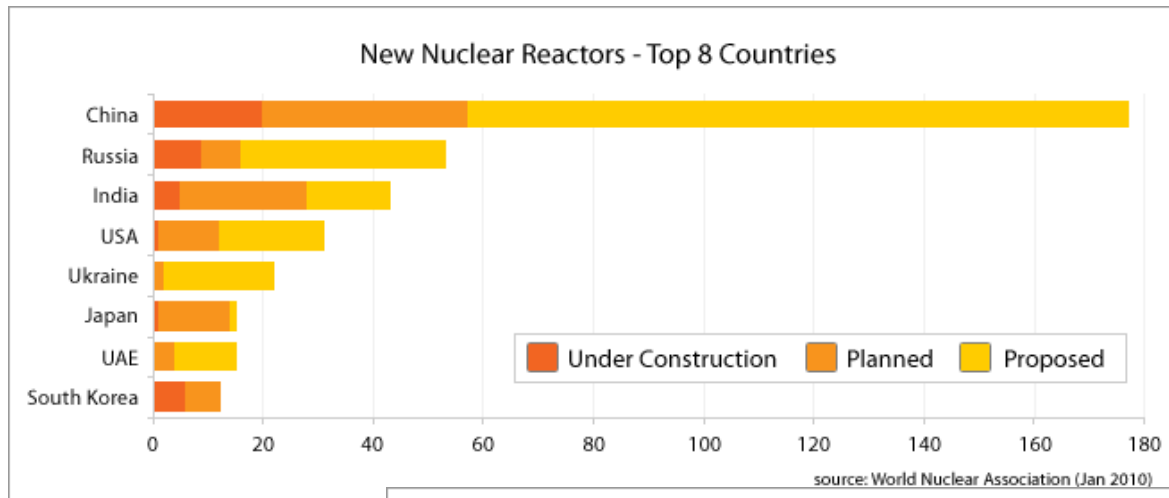
Cena uranu

- okamžité obchody/dlouhodobé, smluvní kontrakty
- nabídka přesáhne v následujících letech poptávku
- produkční, ekonomické problémy => zranitelnost trhu

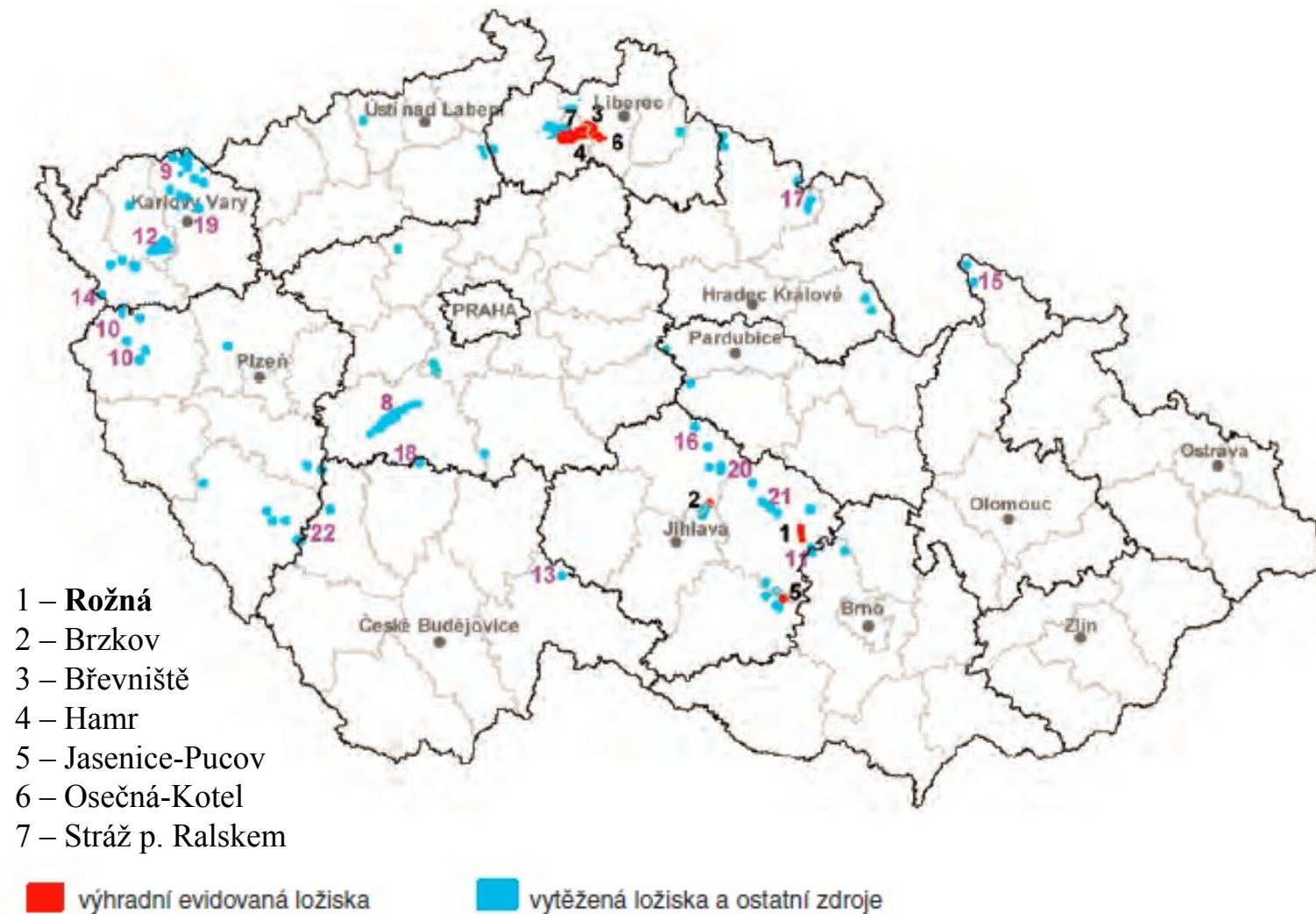


Obr. 20: Vývoj ceny uranového koncentrátu U₃O₈ v USD/lb. [18]

Reaktory a zásoby uranu



Uranová ložiska v ČR



Obr. 21: Hlavní těžební a úpravárenské kapacity uranového hornictví . [20]

Těžba uranu v ČR

- ložiska hydrotermálního a infiltračního typu
- prozkoumáno 164 ložisek, těženo 66
- celková produkce v období 1946-2000 činí 107080 t U
- **největší ložiska:** Příbram (8), Rožná, Stráž, Hamr, Jáchymov (9)
- jediná těžební společnost – Diamo

Rok	2007	2008	2009	2010	2011
Počet ložisek celkem	7	7	7	7	7
z toho těžených	1	1	1	1	1
Zásoby celkem, t U	135 729	135 553	135 425	135 361	135 276
bilanční prozkoumané	1 677	1 545	1 426	1 416	1 406
bilanční vyhledané	19 435	19 428	19 420	19 427	19 402
nebilanční	114 617	114 581	114 579	114 518	114 468
vytěžitelné	643	503	377	374	338
Těžba, t U	322	290	286	259	252
Produkce koncentráту, t U*	291	261	243	237	216

* odpovídá odbytové produkci (bez ztrát úpravou)

Tab. 2: Základní statistické údaje o uranových ložiskách v ČR. [20]

Jaderná energetika

- v současnosti v provozu **435 jaderných reaktorů** s celkovou kapacitou 374 GW
- ve výstavbě (65), objednaných (167), navržených (317)
- **jaderné velmoci:** USA, Rusko, Japonsko, J. Korea, EU
- nejběžnější typy reaktorů jsou lehkovodní (PWR, VVR) – tzv. 2. generace, budované v 70.-80. letech
- budoucností pak reaktory 3. a 4. generace (EPR, AP1000 nebo SFR, SCWR a další)

Několik čísel

V Evropě se uloží na skládky ročně kolem 50 miliónů tun popílku. Obsah uranu tu kolísá od **0,01% až do 0,03% U3O8**. WildHorse se domnívá, že vyloužení uranu z tohoto popílku může být levnou a rychlou cestou, jak získat uran pro jadernou energetiku.

Uhelná elektrárna o výkonu 1000 MW spotřebuje během ročního provozu 5 miliónů tun uhlí a také 440 tisíc tun vápence pro odsiřovací zařízení. Za stejnou dobu vyprodukuje 6,5 miliónu tun oxidu uhličitého, 750 tisíc tun popela, 7700 tun oxidu siřičitého, asi 4000 tun oxidů dusíku a 400 tun těžkých kovů (mimo jiné kadmia, olova, arzenu a rtuti). Severočeské uhlí obsahuje **4 až 9 gramů uranu na tunu**, což znamená, že v popelu z uhelného 1000 MW bloku bude za rok 20 až 40 tun uranu. Spotřeba přírodního uranu pro jeden rok provozu JE Temelín je cca 690 tun, Dukovany 330t/r. Uhelné elektrárny jako zdroj uranu pro jaderné zdroje?

Zdroj: WNA, Sparton Resources, Vesmír

Jaderná energetika – rizika a perspektivy

- **uložení a likvidace vyhořelého paliva**
- **havárie jaderné elektrárny**
- **výroba jaderných zbraní**
- **využívání vyhořelého radioaktivního paliva**
- **reaktory 3. – 4. generace**
- **minimální produkce skleníkových plynů**

Jaderná energetika vs. životní prostředí

- Uhelná elektrárna (o výkonu 1000MW) spotřebuje **2-6 mil. tun uhlí** a vyprodukuje **960t CO₂/GWh**
- plynová elektrárna spotřebuje ročně **2-3 mld. m³ plynu** a produkuje **480t CO₂/GWh**
- olejová elektrárna spotřebuje **1,5 mil. tun topného oleje** a vyprodukuje **730t CO₂/GWh**
- jaderná elektrárna spotřebuje ročně pouhých **35 t paliva** a vyprodukuje **47krát** méně „skleníkových plynů“ než elektrárna na zemní plyn a **97krát** méně než v případě uhelné elektrárny

Použitá literatura

- [1] BP Global. [online]. 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné na:
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/nuclear_energy_section_2012.pdf
- [2] Mineralogy Database. [online]. 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné na:
<http://www.mindat.org>
- [3] Havelka, J.: Prolémy zajišťování nerostných surovinových zdrojů. Praha, VŠB, Geoindustria 1981.
- [4] Freewest Resources. [online]. 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné na:
http://www.freewest.com/properties/quebec/george_river/
- [5] All for Power. [online]. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné na:
http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/frybort_jadernepalivo.pdf
- [6] Basiswissen-Kernenergie. [online]. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné na:
<http://www.kernenergie-wissen.de/uran2.html>
- [7] Atom Info. [online]. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné na:
<http://atominfo.cz/2011/10/iran-zacal-vyrabet-„zluty-kolac“-polotovar-pro-jaderne-palivo/>

Použitá literatura

- [8] Nuclear fuel fabrication. [online]. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné na: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Conversion-Enrichment-and-Fabrication/Fuel-Fabrication/#.UUnjvSrKB-Q>
- [9] Vesmír. [online]. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné na: <http://www.vesmir.cz/clanek/odpady-z-palivoveho-cyklu-jadernych-elektraren>
- [10] Energy web. [online]. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné na: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=3.6.7
- [11] WNA. [online]. 2013 [cit. 2013-03-20]. Dostupné na: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/Australia--Uranium/#.UUnD2yrKB-Q>
- [12] Adelaidenow. [online]. 2013 [cit. 2013-03-20]. Dostupné na: <http://www.adelaidenow.com.au/news/south-australia/not-dammed-sa-has-a-bright-future/story-e6frea83-1226459396215>
- [13] SBS. [online]. 2013 [cit. 2013-03-20]. Dostupné na: <http://www.sbs.com.au/news/article/1608781/SA-MPs-approve-Olympic-Dam-expansion>
- [14] WNA. [online]. 2013 [cit. 2013-03-20]. Dostupné na: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/Canada--Uranium/#.UUnD0yrKB-Q>

Použitá literatura

[15] WNA. [online]. 2013 [cit. 2013-03-20]. Dostupné na: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production/#.UUnSUCrKB-T>

[16] WNA. [online]. 2013 [cit. 2013-03-20]. Dostupné na: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Kazakhstan/#.UUnWyirKB-Q>

[17] World uranium resources. [online]. 2013 [cit. 2013-03-20]. Dostupné na: <http://www.wise-uranium.org/umaps.html?set=ures>.

[18] UxC. [online]. 2013 [cit. 2013-03-21]. Dostupné na: http://www.uxc.com/review/uxc_PriceChart.aspx?chart=spot-u3o8-full

[19] Investičníweb.cz. [online]. 2013 [cit. 2013-03-21]. Dostupné na: <http://www.investicniweb.cz/fx-komodity/komodity/2010/8/4/uran-trilety-medvedi-trh-konci/>

[20] ČGS. [online]. 2013 [cit. 2013-03-21]. Dostupné na: <http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/SUROVINOVE-ZDROJE-CESKE-REPUBLIKY-2012.pdf>

[21] WNA. [online]. 2013 [cit. 2013-03-21]. Dostupné na: <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-Nuclear-Power-Reactors-and-Uranium-Requirements/#.UUo5ASrKB-Q>