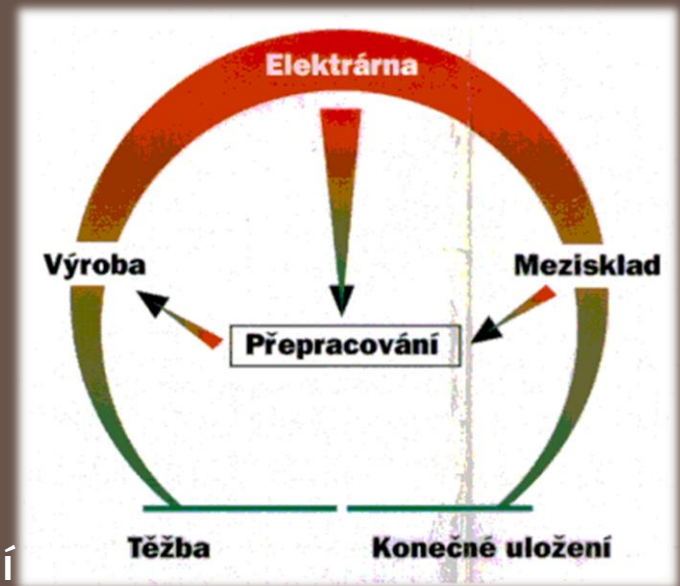


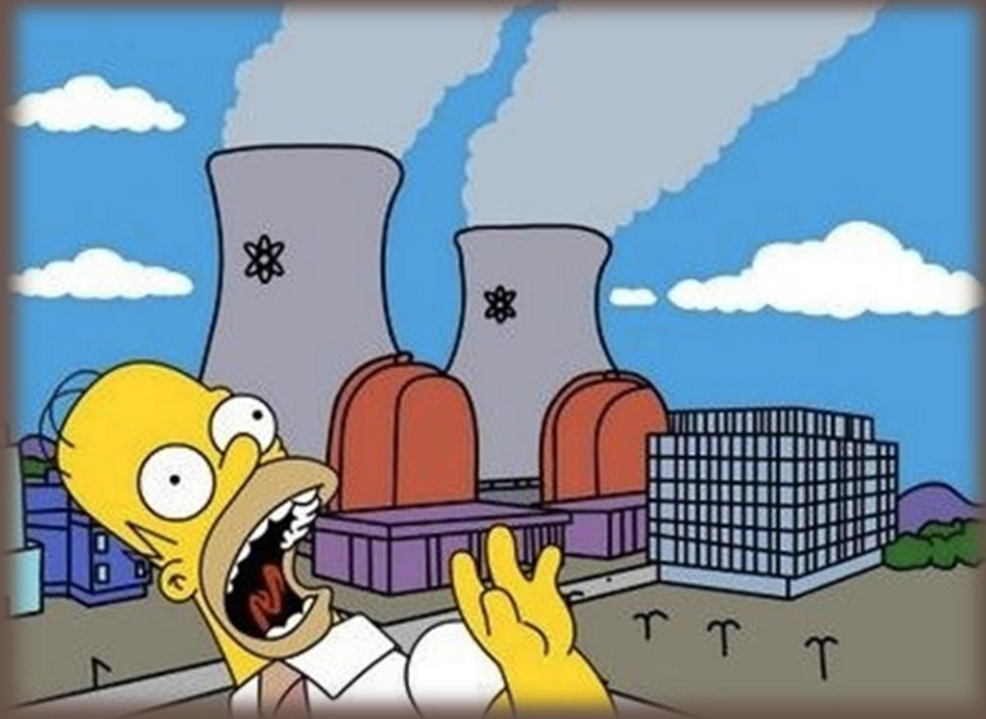
# JADERNÝ PALIVOVÝ CYKLUS V ČESKÉ REPUBLICE

PhDr. Tomáš Vlček, Ph.D.

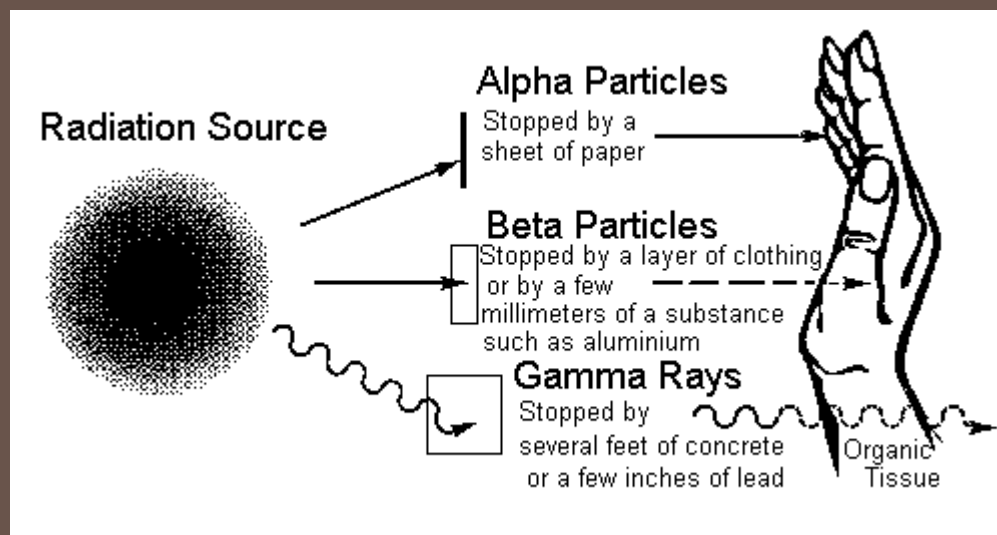
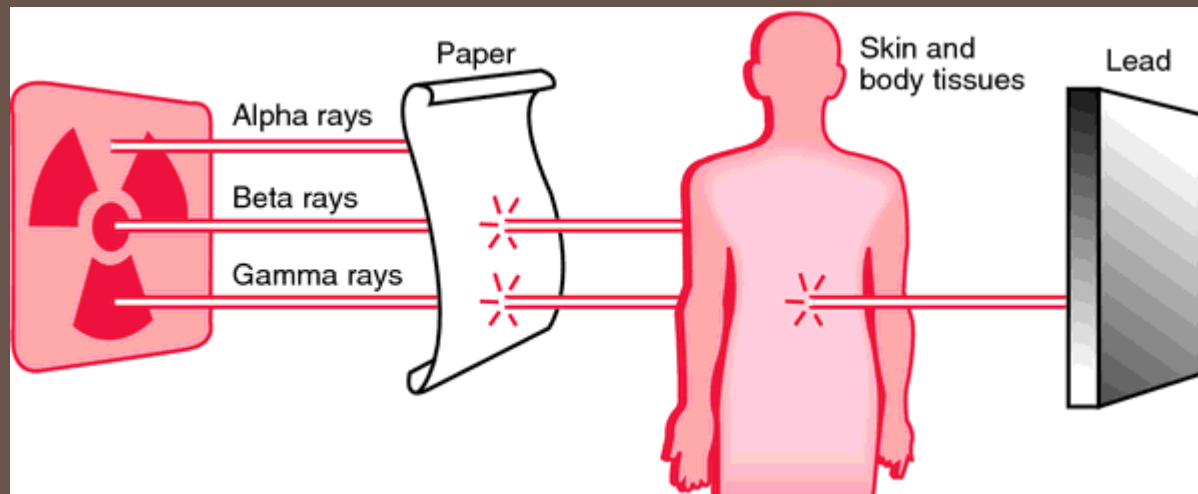
Mezinárodní vztahy a energetická bezpečnost  
Katedra mezinárodních vztahů a evropských studií

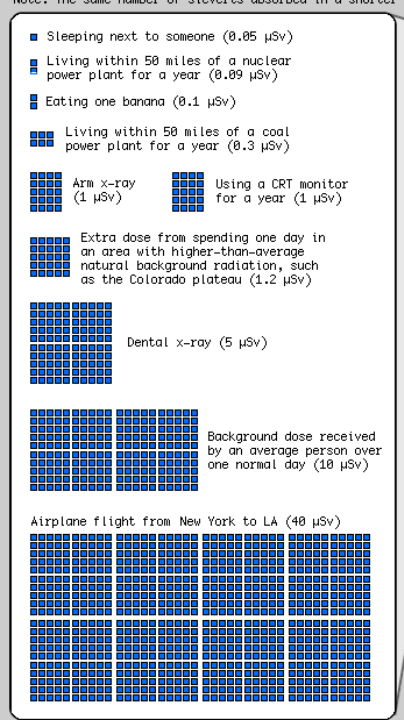


- Ionizující záření
- Štěpná řetězová reakce



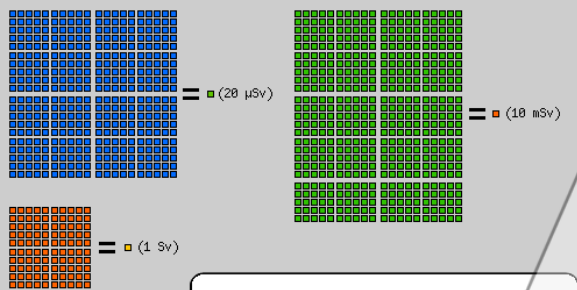
# Ionizující záření





■ Using a cell phone (0 μSv)—a cell phone's transmitter does not produce ionizing radiation\* and does not cause cancer.  
\* Unless it's a bananaphone.

■ = (0.05 μSv)



Sources:

<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/>

[www.nema.ne.gov/technological/dose-limits.html](http://www.nema.ne.gov/technological/dose-limits.html)

[http://www.deq.idaho.gov/inl\\_oversight/radiation/dose-calculator.cfm](http://www.deq.idaho.gov/inl_oversight/radiation/dose-calculator.cfm)

[http://www.deq.idaho.gov/inl\\_oversight/radiation/radiation\\_guide.cfm](http://www.deq.idaho.gov/inl_oversight/radiation/radiation_guide.cfm)

<http://mitnse.com/>

[http://www.bnl.gov/bnlweb/DOE/03EBB/Chapter\\_8.pdf](http://www.bnl.gov/bnlweb/DOE/03EBB/Chapter_8.pdf)

[http://deis-01a.nsl.nsl.gov/deis/rpt\\_briefs/rev1\\_fmnl.pdf](http://deis-01a.nsl.nsl.gov/deis/rpt_briefs/rev1_fmnl.pdf)

<http://people.reed.edu/~emchanis/radiation.html>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Severt>

<http://blog.vornaskotti.com/2010/07/15/into-the-zone-chernobyl-prigat/>

<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/tritium-radiation-fs.html>

[http://www.next.gov.jp/component/a\\_menu/other/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2011/03/18/1303727\\_1716.pdf](http://www.next.gov.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2011/03/18/1303727_1716.pdf)

<http://radiology.rsna.org/content/248/1/254>

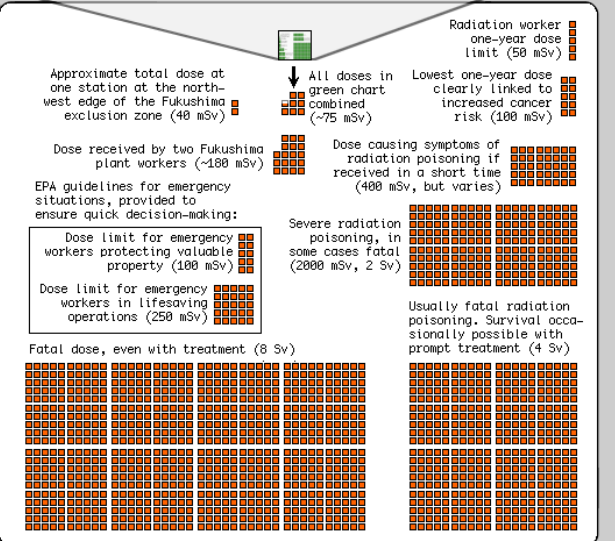
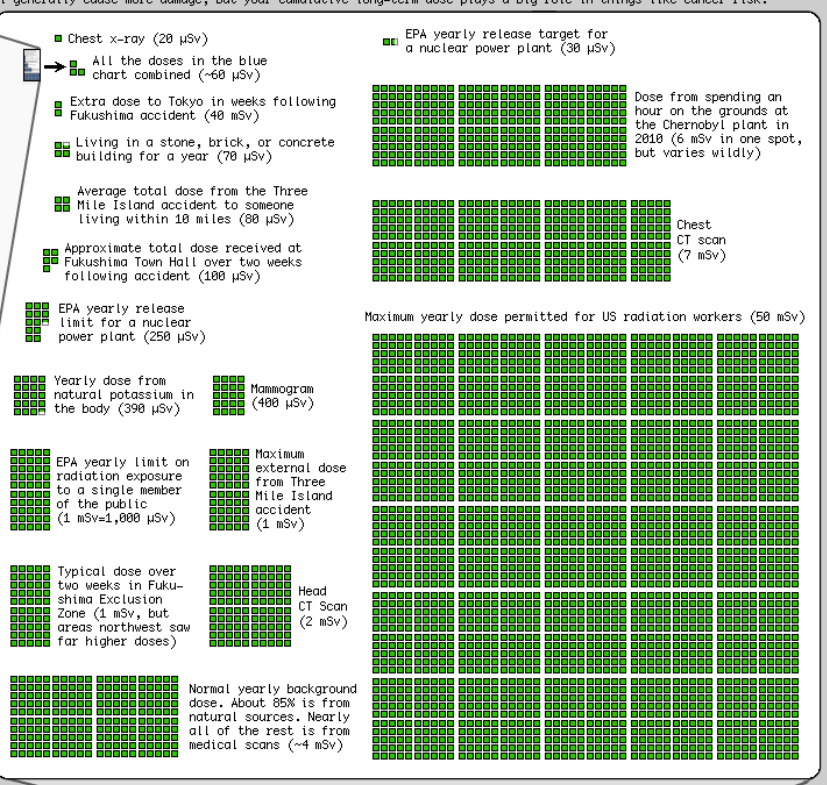


Chart by Randall Munroe, with help from Ellen, Senior Reactor Operator at the Reed Research Reactor, who suggested the idea and provided a lot of the sources. I'm sure I've added in lots of mistakes; it's for general education only. If you're basing radiation safety procedures on an internet PNG image and things go wrong, you have no one to blame but yourself.



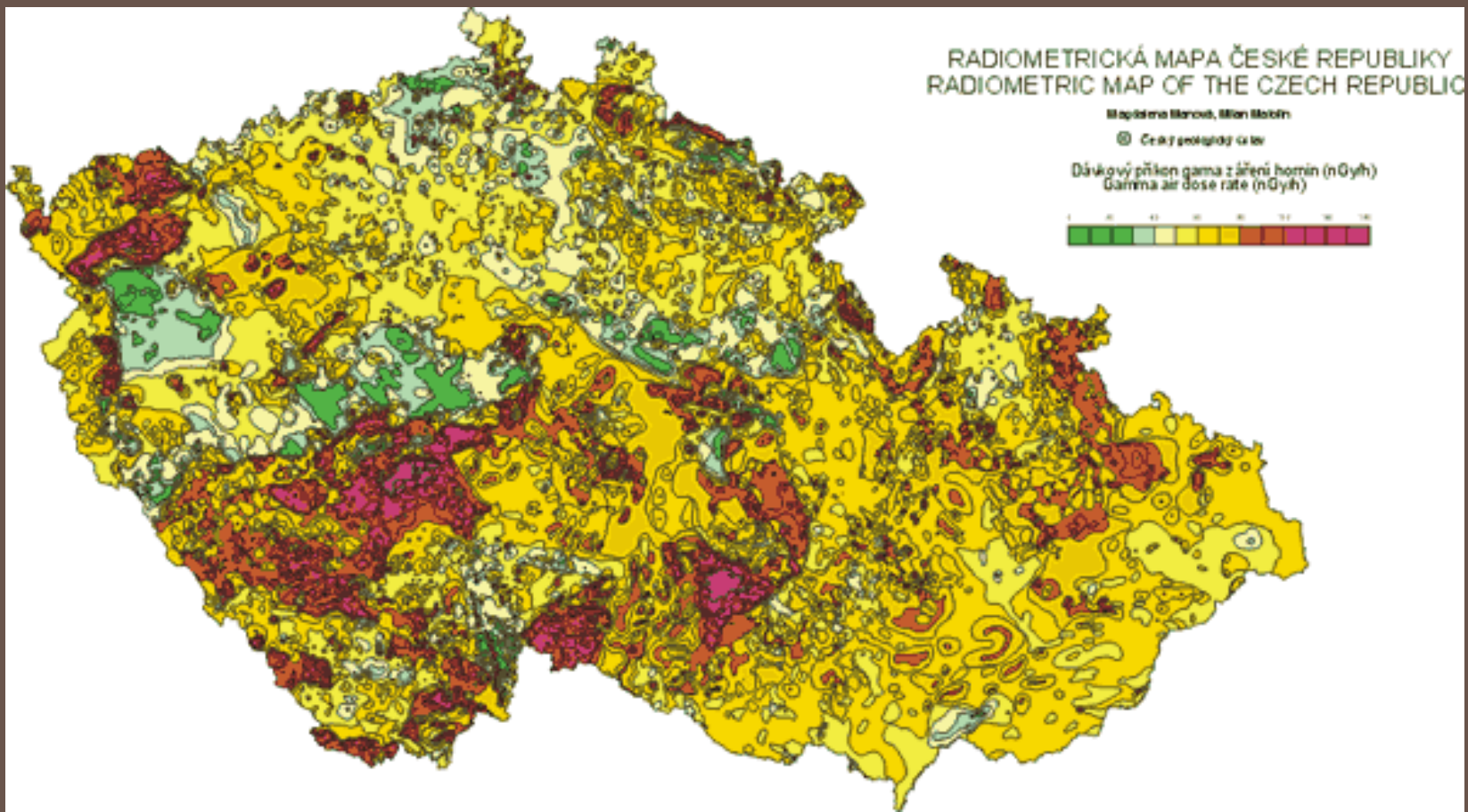
Type of Radiation (dose in mSv) <sup>†</sup>	Equivalent Period of Natural Background Radiation <sup>‡</sup>	Estimated Lifetime Risk of dying from cancer that results from a <u>single exposure</u> <sup>§</sup>
Airport Security x-ray scanner <sup>23</sup> (~0.0001mSv)	less than one hour	Almost 0 (less than 1 in 100,000,000)
7 hour airplane flight <sup>9</sup> (~0.03 mSv)	a few days	Almost 0 (1 in 1,000,000 – 100,000)
Chest x-ray <sup>6</sup> (~0.1 mSv)	~ one week	Almost 0 (1 in 1,000,000 – 100,000)
Mammogram <sup>27</sup> (~0.4 mSv)	a few months (~2 months)	1 in 100,000 to 10,000
CT of chest <sup>27</sup> (~7 mSv)	a few years (~2.3 years)	1 in 10,000 to 1,000
Fluoroscopy: colon (barium enema) <sup>27</sup> (~8 mSv)	a few years (~2.7 years)	1 in 10,000 to 1,000
CT of heart (angiography) <sup>27</sup> (~16 mSv)	a few years (~5.3 years)	1 in 10,000 to 1,000
PET scan, whole body <sup>5</sup> (~14 mSv)	a few years (~4.6 years)	1 in 10,000 to 1,000
Fluoroscopy: kidneys, ureters and bladder <sup>5</sup> (~15 mSv)	a few years (~5 years)	1 in 10,000 to 1,000
Whole-body CT scan <sup>5</sup> (~22.5 mSv)	several years (~7.5 years)	1 in 1,000
Nuclear Medicine: Cardiac stress- rest test (thallium) <sup>27</sup> (~40.7 mSv)	many years (~13.6 years)	~2 in 1,000
Transjugular intrahepatic portosystemic shunt placement <sup>27</sup> (~70 mSv)	many years (~23.3 years)	1 in 100 – 1,000
Lifetime risk of cancer death NOT caused by radiation <sup>§§</sup>		1 in 5

Dálkové lety v letové hladině 10 km  
= ca. 4  $\mu$ Sv/hod

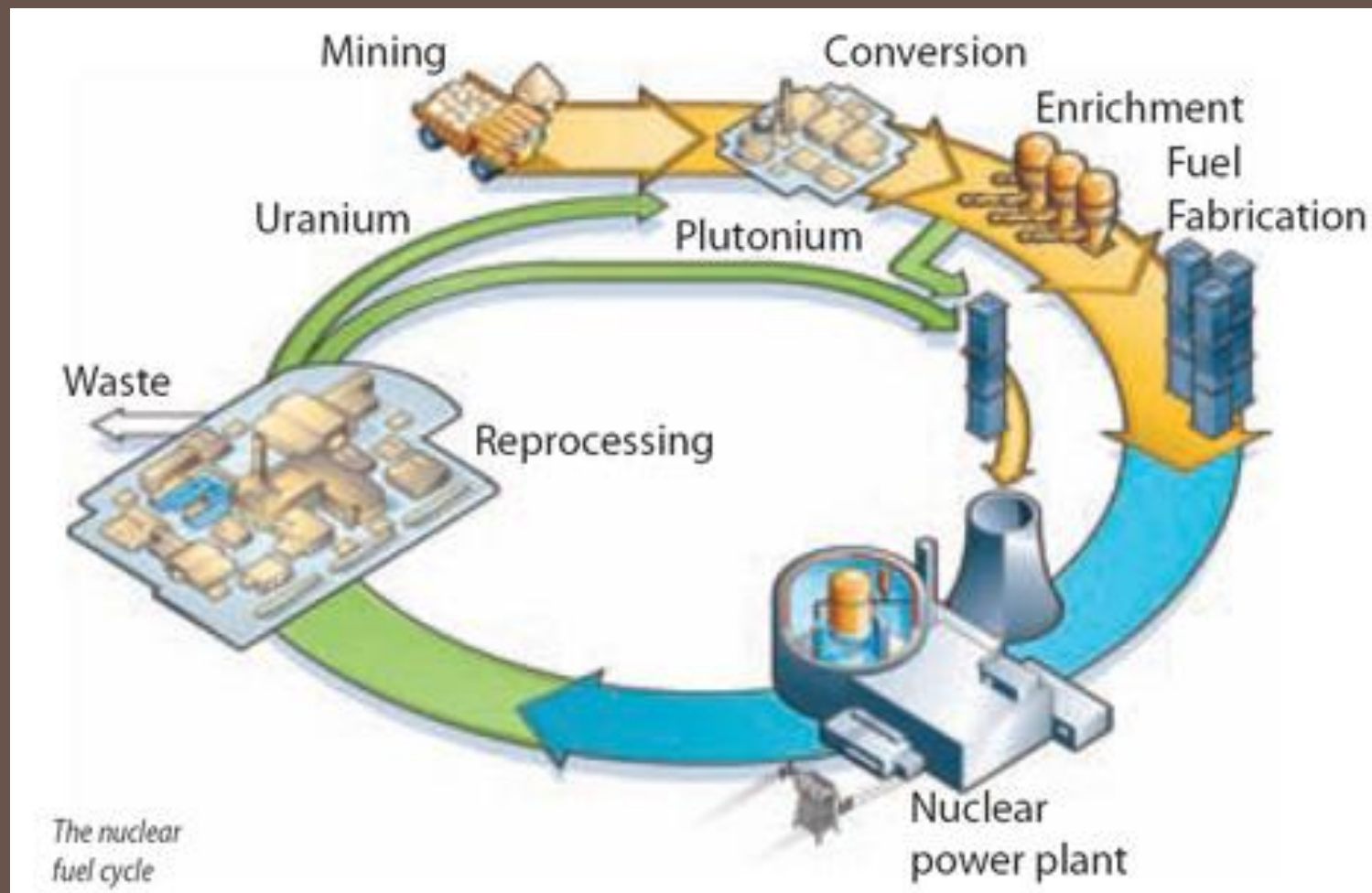


# Přírodní pozadí ve světě

- Czech Republic - cca 3 mSv/year
- Iran (Ramsar) - up to 400 mSv/year
- India (Kerala) - up to 17 mSv/year
- Brazil (Guarapari) - up to 175 mSv/year



# Jaderný palivový cyklus



<http://www.youtube.com/watch?v=jRdj6lsup2E>

**URANIUM ORE**

IT'S FULL OF ELECTRICITY WHICH COMES FROM THE RADIOACTIVITY!

**RUBBISH!**

THEY JUST GET HEAT FROM IT -

INSTEAD OF BURNING STUFF LIKE COAL AND OIL -

IT BOILS THE WATER -

TO MAKE THE STEAM -

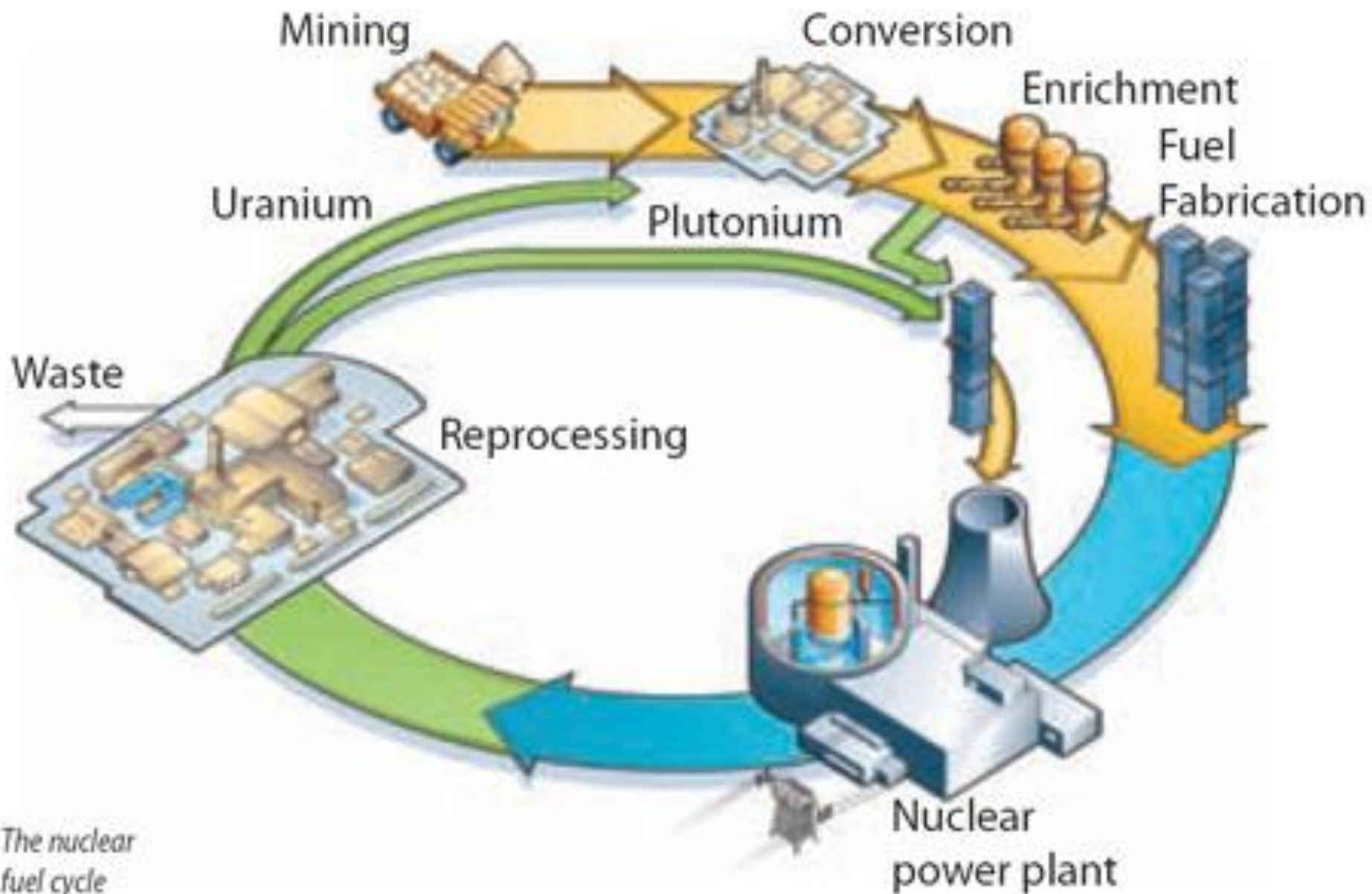
TO DRIVE THE GENERATOR -

TO MAKE THE ELECTRICITY!





# Jaderný palivový cyklus



# Jaderný palivový cyklus - těžba

- ČR je v současnosti jedinou evropskou zemí, která uran ještě těží
- V uranovém hornictví se angažuje jediná společnost, a to státní podnik DIAMO (odštěpný závod GEAM) v dole Rožná v Dolní Rožínce

## Ložiska, zásoby a těžba uranu k 31. 12. 2011

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Počet ložisek celkem	7	7	7	7	7	7
- z toho těžených	1	1	1	1	1	1
Zásoby celkem	135 990	135 812	135 729	135 553	135 425	135 361
- z toho bilanční prozkoumané	1655	1671	1677	1545	1426	1 416
- z toho bilanční vyhledané	19 411	19 476	19 435	19 428	19 420	19 427
- z toho nebilanční	114 924	114 665	114 617	114 581	114 579	114 518
- z toho vytěžitelné	596	677	643	503	377	374
Těžba	420	383	322	290	286	259
Produkce koncentráту*	409	358	291	261	243	237

Poznámka: hodnoty zásob, těžby a produkce uranového koncentráту v tunách, produkce uranového koncentráту ze sanačních prací není do hodnot započítána

\* Odpovídá odbytové produkci (bez ztrát úpravou).

Zdroj: Ministerstvo životního prostředí / Česká geologická služba – Geofond, 2011, s. 88.



























**KONTROLOVANÉ PÁSMO**  
SE ZDROJÍ IONIZUJÍCÍHO ŽÁŘENÍ  
VSTUP NEPOVOLANÝM OSOBÁM ZAKÁZÁN













OSTAVNE  
MÍSTO  
ŽERABU













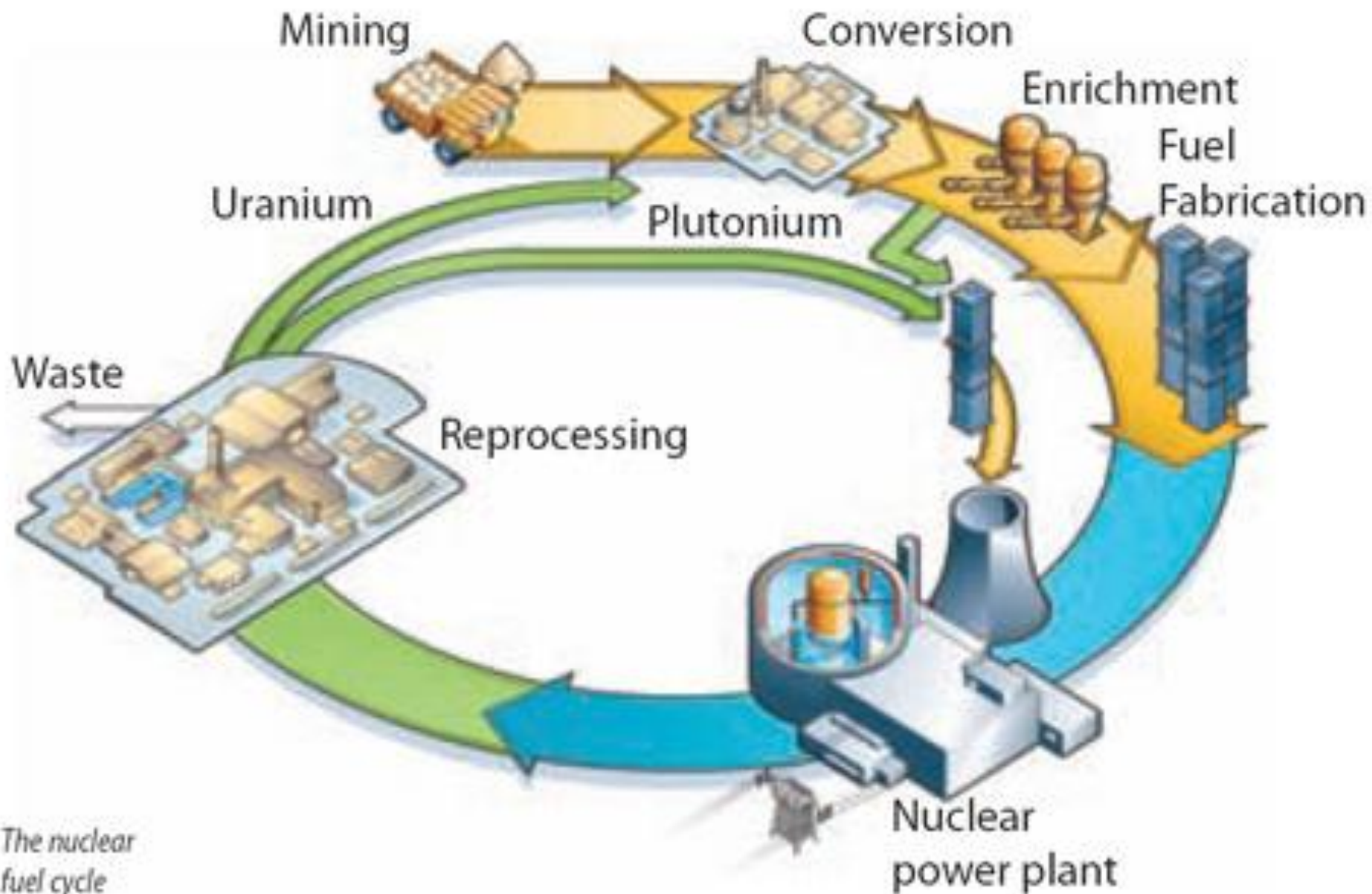
KOMATSU

HM350

KOMATSU

KOMATSU

# Jaderný palivový cyklus





# Jaderný palivový cyklus - konverze

- Dnes je v České republice čistý uran průměrně pouze 0,16 % uranové rudy (v polovině 19. století to bylo až 65 %)
- Musí být nejdříve očištěn od tzv. hlušiny
- Očištěná ruda je poté rozemleta a po chemické úpravě kyselinou sírovou přepracována do tzv. uranového koncentrátu – oxidu uranito-uraničitého  $U_3O_8$  (též žlutý koláč z anglického yellow cake)
- Tento meziprodukt od s. p. DIAMO odebírá převážně jeden zákazník, a to společnost ČEZ, a.s. (Dalšími zákazníky jsou Francie, Německo, Kanada a Rusko.) V roce 2009 jí bylo prodáno celkem 270,4 tun koncentrátu.
- Domácí výroba však není pro potřeby ČEZ, a.s. dostačující, neboť spotřeba koncentrátu v jaderných elektrárnách Dukovany a Temelín se pohybuje v rozsahu 650-700 tun ročně.

# Jaderný palivový cyklus - konverze

Země	Společnost	Název/lokalita	kapacita (t/rok)
Brazílie	IPEN	Sao Paulo	90
Čína	CNNC	Lanzhou	400
Francie	COMURHEX (100 % Areva NC)	Pierrelate	14 000
	Areva NC	Pierrelate TU5	350
Írán	AEOI	Isfahan	193
Kanada	Cameco	Port Hope, Ontario	10 500
Rusko	Rosatom	Jekatěrinburg	4 000
		Angarsk	20 000
USA	Converdyn (50 % Honeywell Int. Inc., 50 % General Atomics)	Metropolis, Illinois	17 600
Velká Británie	British Nuclear Fuels	Springfields	6 000
<b>Celkem</b>			<b>73 133</b>



# Jaderný palivový cyklus - konverze

Zbytek tedy ČEZ, a.s. buď dokoupí na světovém trhu anebo nakoupí přímo obohacené palivo.

Od konce roku 2009, kdy začala ruská společnost OAO TVEL dodávat palivo jak pro JE Dukovany, tak pro JE Temelín, ČEZ, a.s. nakupuje pouze finální produkt, tedy obohacené palivo a domácí těžba s. p. DIAMO je prodávána na trhu.

SPOTová cena uranového koncentrátu $U_3O_8$ na světovém trhu											
2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012*
24,7	25,69	34,71	53,3	92,37	173,0	238,6	141,2	115,5	157,6	115,0	108,5
					1	6	5	3	3	4	8

Poznámka: Nuexco Exchange Spot. Hodnoty vždy k prosinci daného roku. Údaje v amerických dolarech (USD) za kilogram. Údaj pro rok 2012 je k srpnu.

Zdroj: *Index Mundi*; přepočít T. Vlček.





















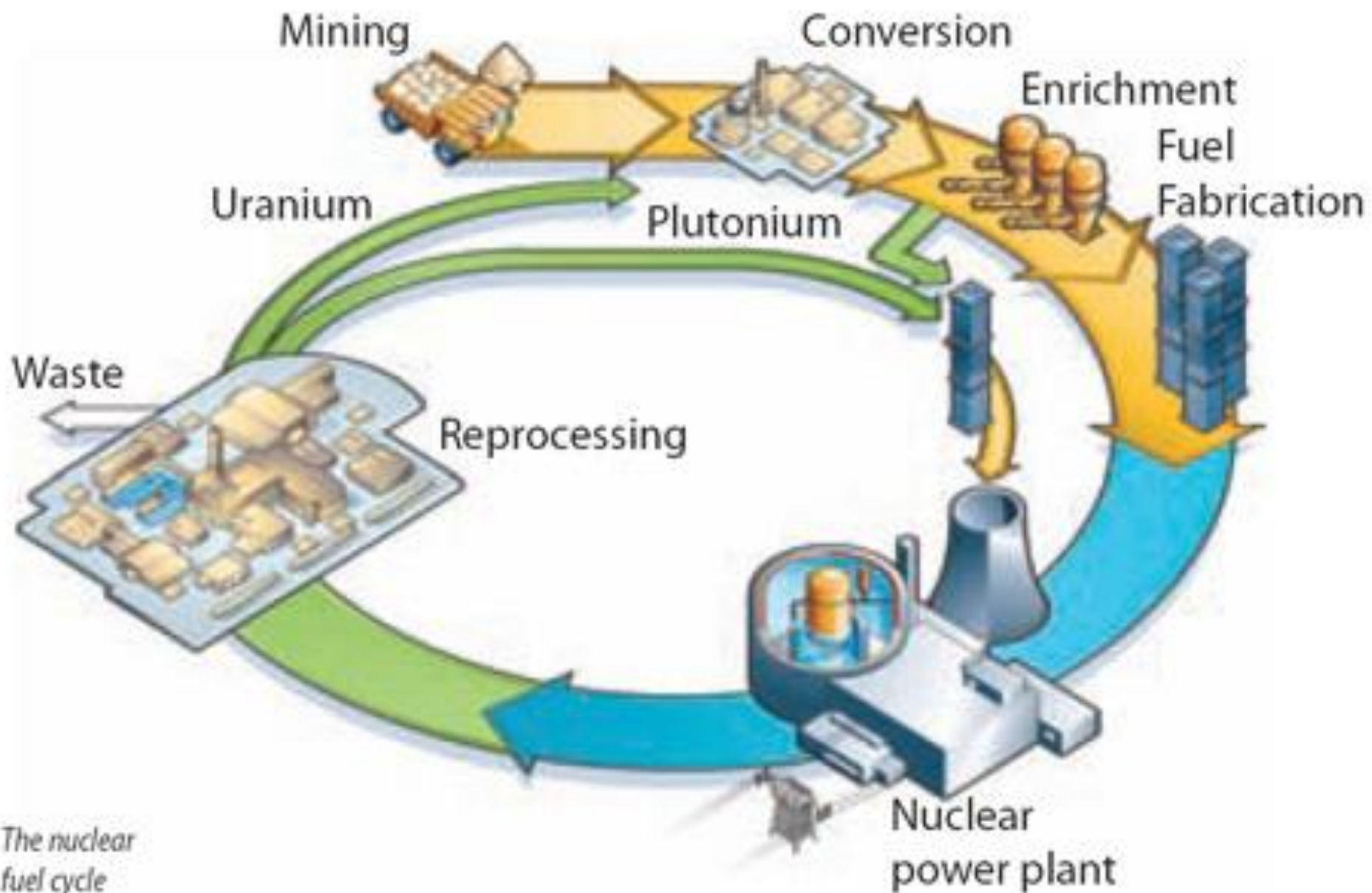








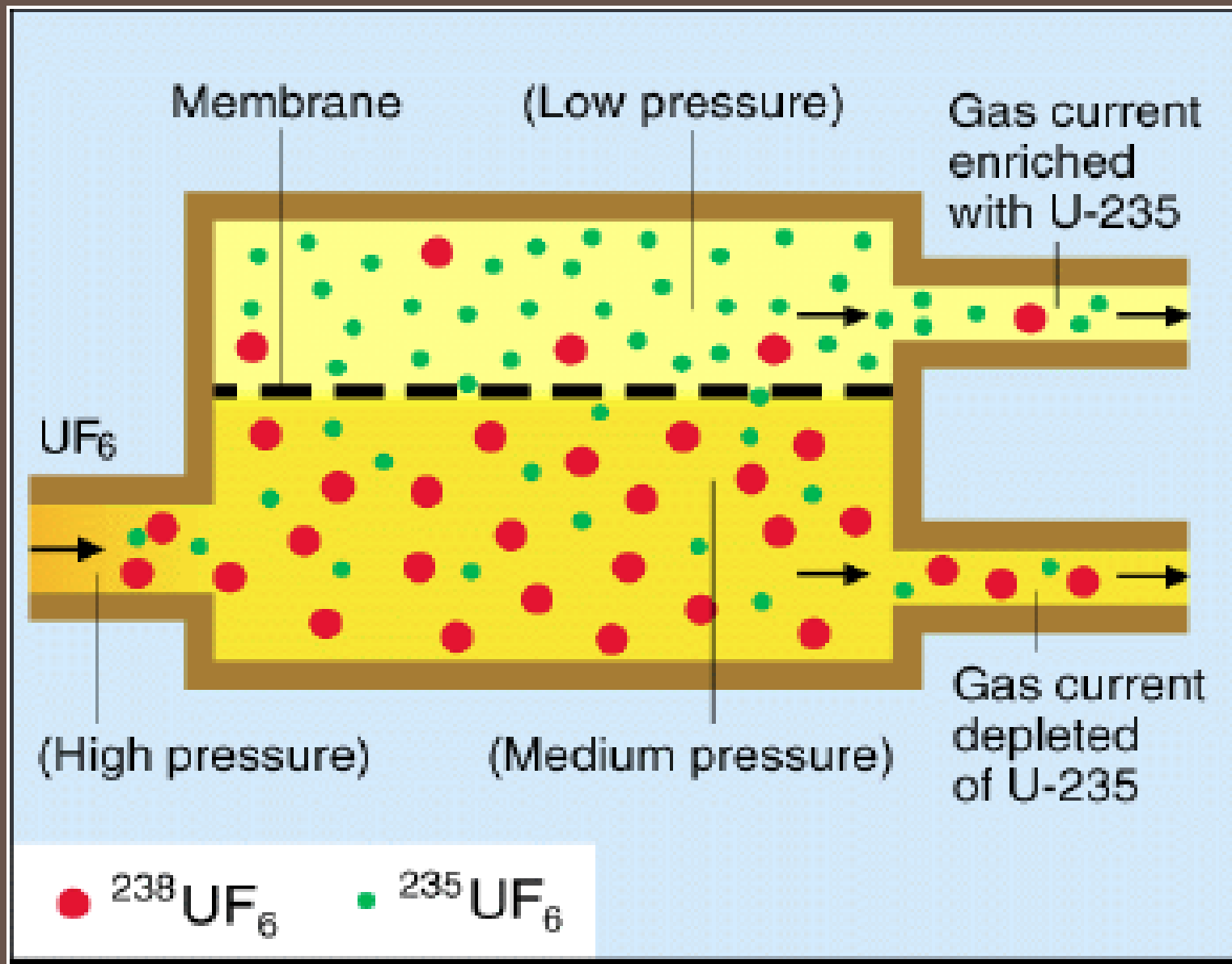
# Jaderný palivový cyklus



# Jaderný palivový cyklus - obohacení

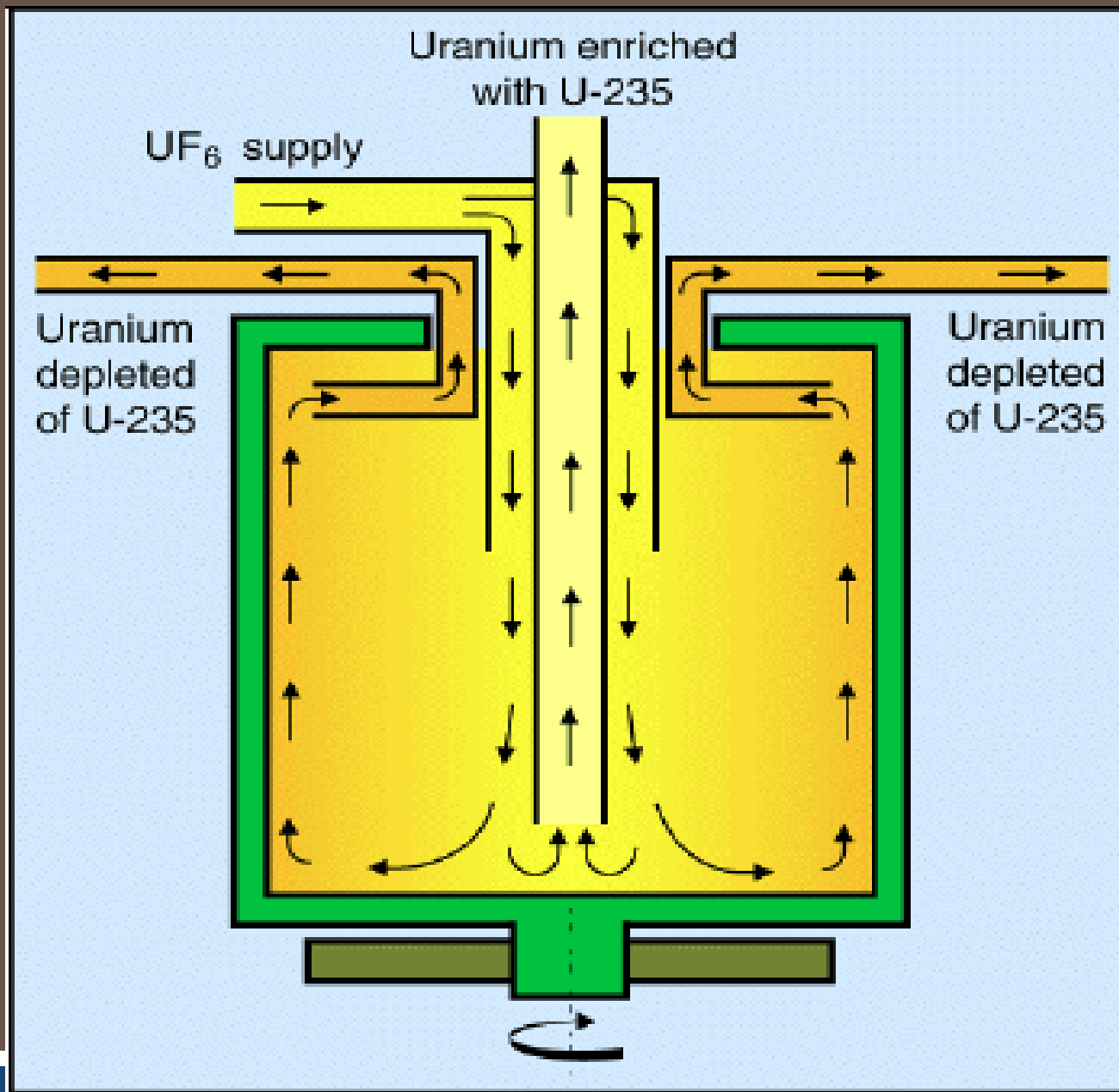
- V případě, že ČEZ, a.s. použije zvlášť nakoupený koncentrát, musí na světové burze poptávat tzv. separační jednotky, tj. obohacovací služby.
- Ty lze nakoupit pouze u sedmi zemí na světě: Rusko, USA, Francie, Kanada, Spojené království, Čína a Brazílie, ČEZ, a.s. je nakupoval ve Francii
- Uran má stálý poměr izotopů: obsahuje 99,284 %  $^{238}\text{U}$ , 0,711 %  $^{235}\text{U}$  a 0,005 %  $^{234}\text{U}$ .
- Pro štěpné reakce a využití v současné jaderné energetice je však dosud použitelný téměř výhradně izotop  $^{235}\text{U}$ .
- Pro účely českých jaderných elektráren je třeba obohacení na 3,6 až 4,4 %  $^{235}\text{U}$  dle reaktoru.
- Z těžného materiálu je pro prvotní úpravu využitelných jen 0,16 % obsahu, během obohacovacího procesu na cca 4 %  $^{235}\text{U}$  sníží hmotu objem 8 až 8,5 krát (z 650-680 tun koncentrátu se získá pro české jaderné elektrárny přibližně 80 tun paliva  $\text{UO}_2$ ).
- I tak jde ale v případě uranu o obrovskou energetickou hustotu, z 1 kg jaderného paliva se průměrně získá 2100 GJ energie, v případě uhlí jde pouze o 0,033 GJ.





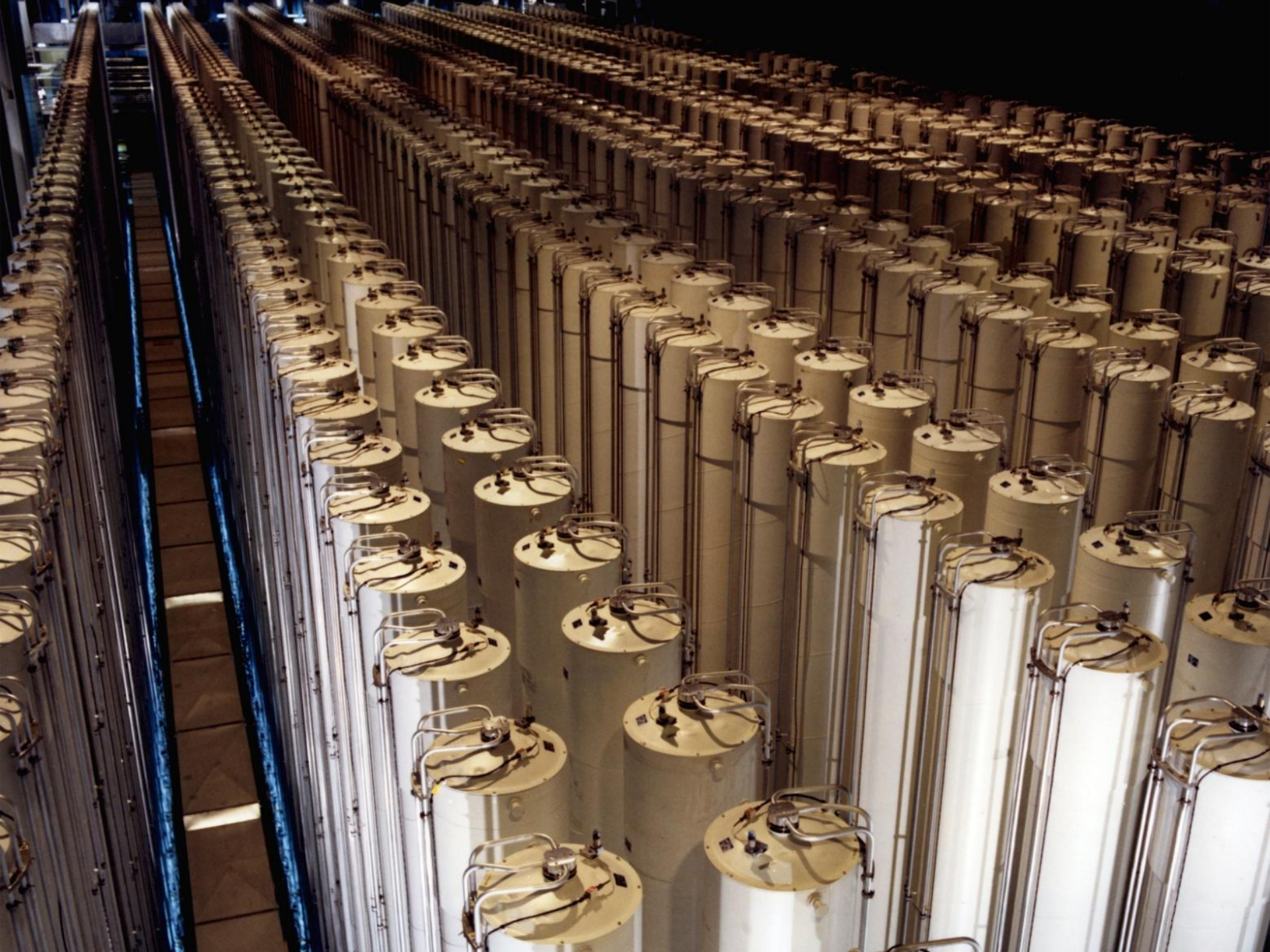
Country	Company	Location	Capacity (1000 SWU/year)
Porous membrane enrichment			
Argentina	CNEA	Pilcaniyeu	20
Čína	CNNC	Lanzhou	900
Francie	EURODIF	Tricastin	10 800
USA	U. S. Enrichment Corp.	Paducah, Kentucky	11 300
Porous membrane enrichment total			23 020





Centrifuge enrichment			
Brazil	INB	Resende	?
China	CNNC	Hanzhong	500
		Lanzhou	500
France	EURODIF	Gerges Besse II, Tricastin	Under Construction
India	DAE Nuclear Fuel Complex	Ratnahalli	4,5
Iran	AEOI	Nazanz	?
		Qom	?
Japan	JNC	Ningyo Toge	200
	Japan Nuclear Fuel Limited	Rokkasho-mura	1 050
North Korea		Yongbyon	8
Germany	Urenco Deutschland GmbH	Gronau	2 750
Netherlands	Urenco Nederland BV	Almelo	4 400
Pakistan	Pakistan Atomic Energy Commission	Kahuta	5
Russia	Rosatom	UEIE Jekatĕrinburg	7 000
		SKhK Seversk	4 000
		ECP Zelenogorsk	3 000
		AEKhK Angarsk	2 600
USA	Urenco USA	National Enrichment Facility, Lea County, NM	Under Construction
Great Britain	Urenco UK Ltd.	Capenhurst	5 050
Total centrifuge enrichment			31 067,5



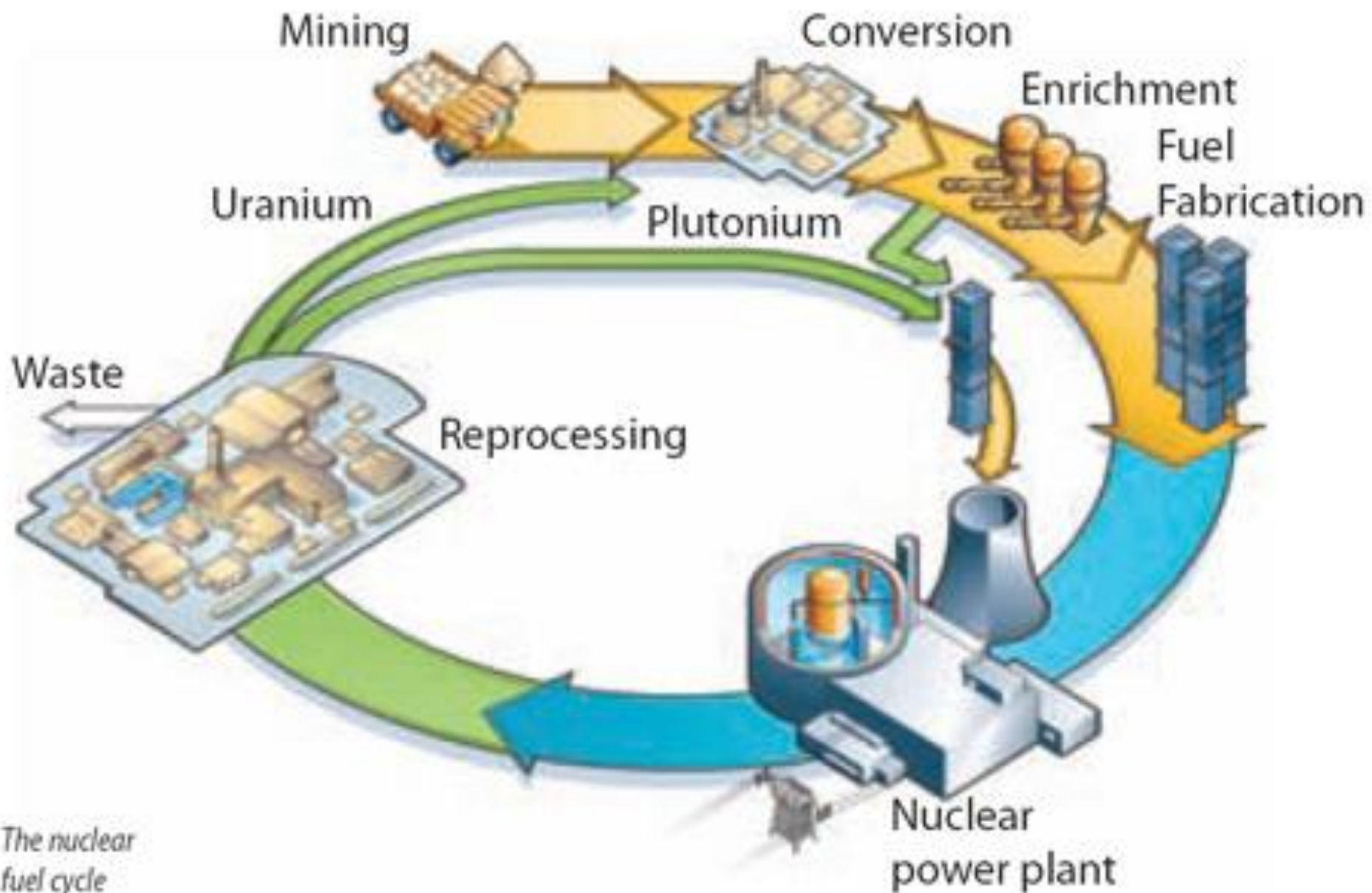








# Jaderný palivový cyklus



*The nuclear fuel cycle*

# Jaderný palivový cyklus - fabrikace

- Palivo se přefabriquje do tzv. pelet (o průměru a výšce 1 cm), které se sestaví do tzv. palivových tyčí (proutků), a ty se sestavují do tzv. palivové kazety (článku, souboru).
- V JE Dukovany je v aktivní zóně každého reaktoru 312 palivových kazet o jednotlivé hmotnosti 215 kg s obsahem 137 kg  $UO_2$  ve 126 palivových tyčích.
- V JE Temelín je v každém reaktoru 163 palivových kazet o jednotlivé hmotnosti 766 kg s obsahem 563 kg  $UO_2$  v 312 palivových proutcích (v každém proutku je přibližně 370 pelet).
- V JE Dukovany je tedy v aktivní zóně 42,7 tun paliva  $UO_2$ , v JE Temelín pak 91,8 tun.
- Takto připravené palivo je dodáno zákazníkovi, tedy společnosti ČEZ, a.s.
- V roce 2010 bylo ukončeno výběrové řízení na nového dodavatele paliva, ve kterém zvítězila ruská OAO TVEL finančně neporazitelnou nabídkou. Až do roku 2020 bude OAO TVEL výhradním dodavatelem paliva do obou českých jaderných elektráren.
- V současnosti se veškeré palivo dopravuje letecky z Ruské federace a následně nákladními vozy do příslušných elektráren.































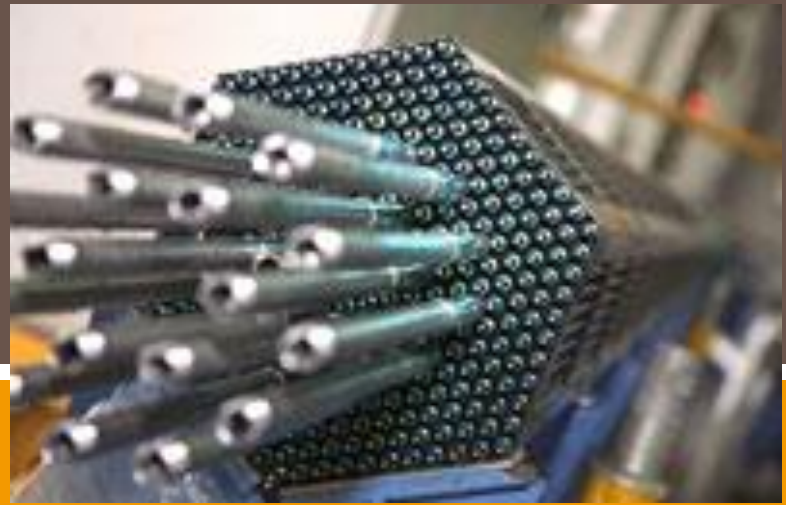






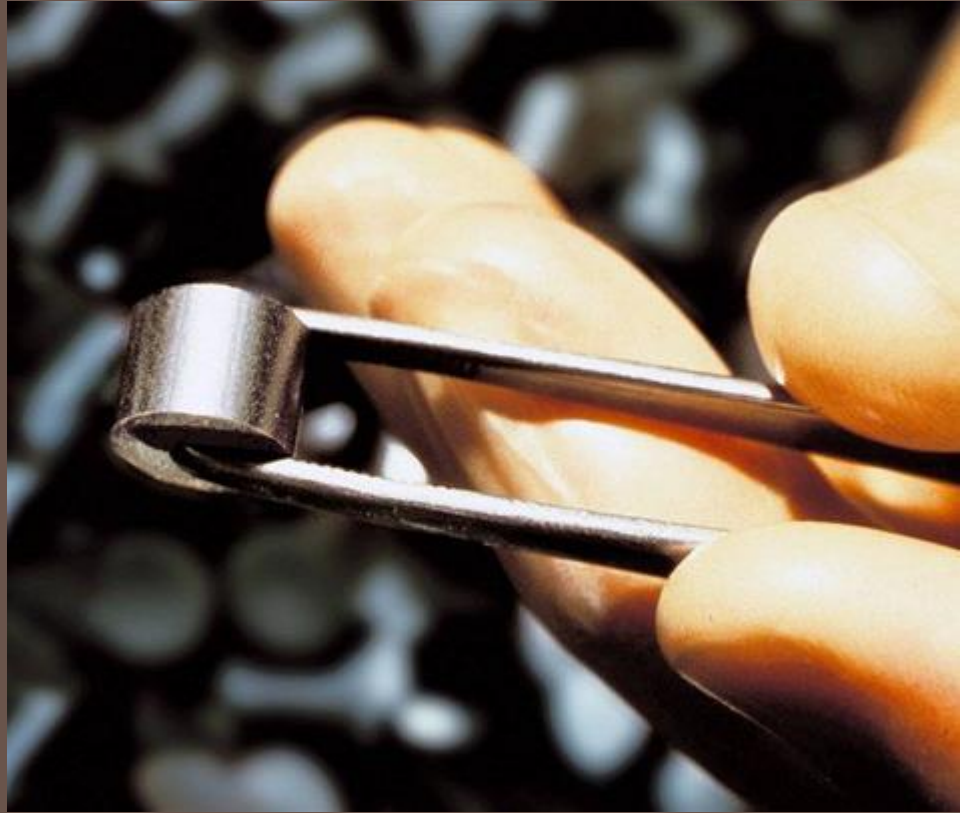


Techniker



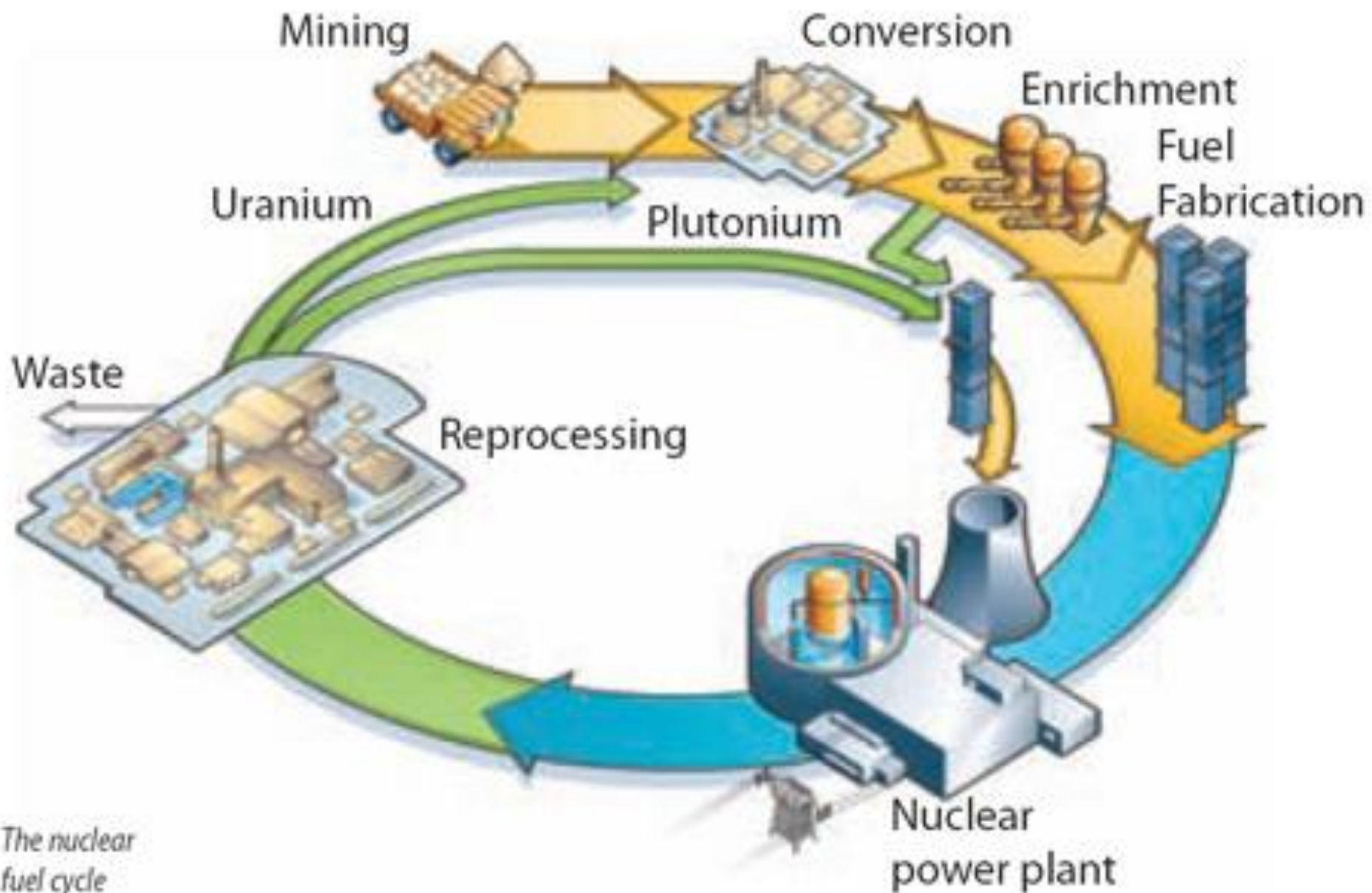








# Jaderný palivový cyklus

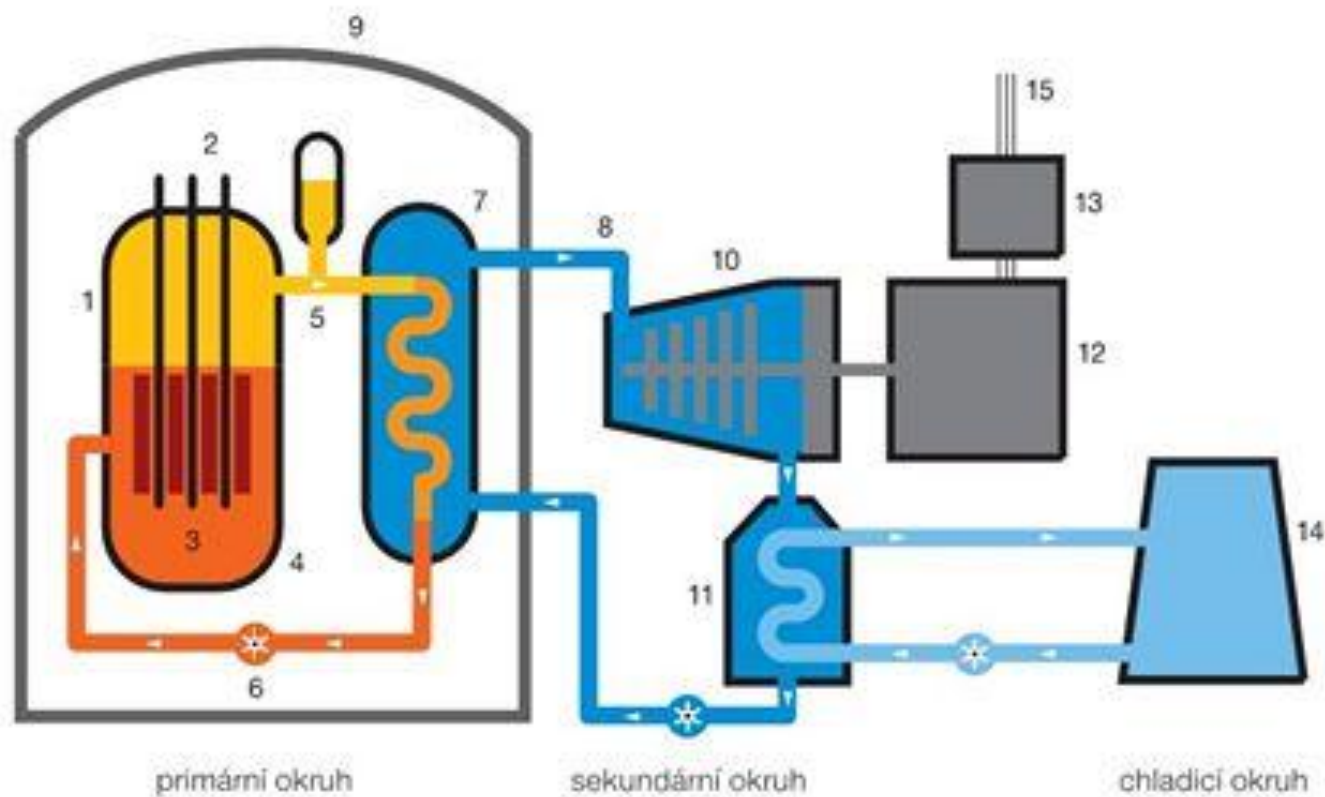


*The nuclear fuel cycle*

# Jaderný palivový cyklus - využití







1. Reaktor
2. Regulační tyče
3. Aktivní zóna – palivové soubory
4. Ocelová tlaková nádoba
5. Voda pod tlakem
6. Čerpadlo
7. Parogenerátor
8. Pára
9. Kontejnment
10. Parní turbína
11. Kondenzátor
12. Elektrický generátor
13. Transformátor
14. Chladicí věže
15. Rozvod elektrické energie

■ Princip uspořádání jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem



БАЛТКРАН

180220032-220+6.3т

БАЛТКРАН

15т

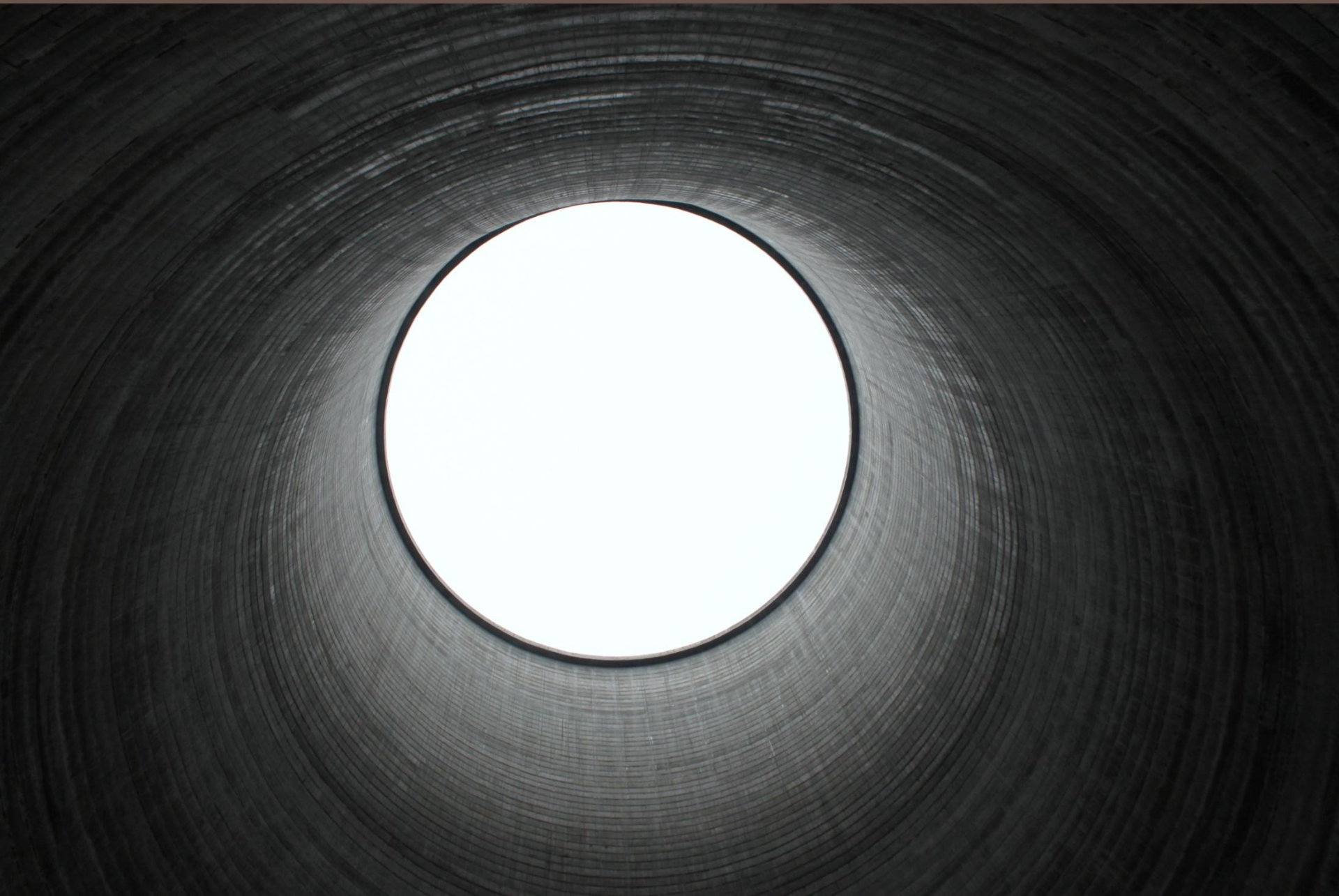












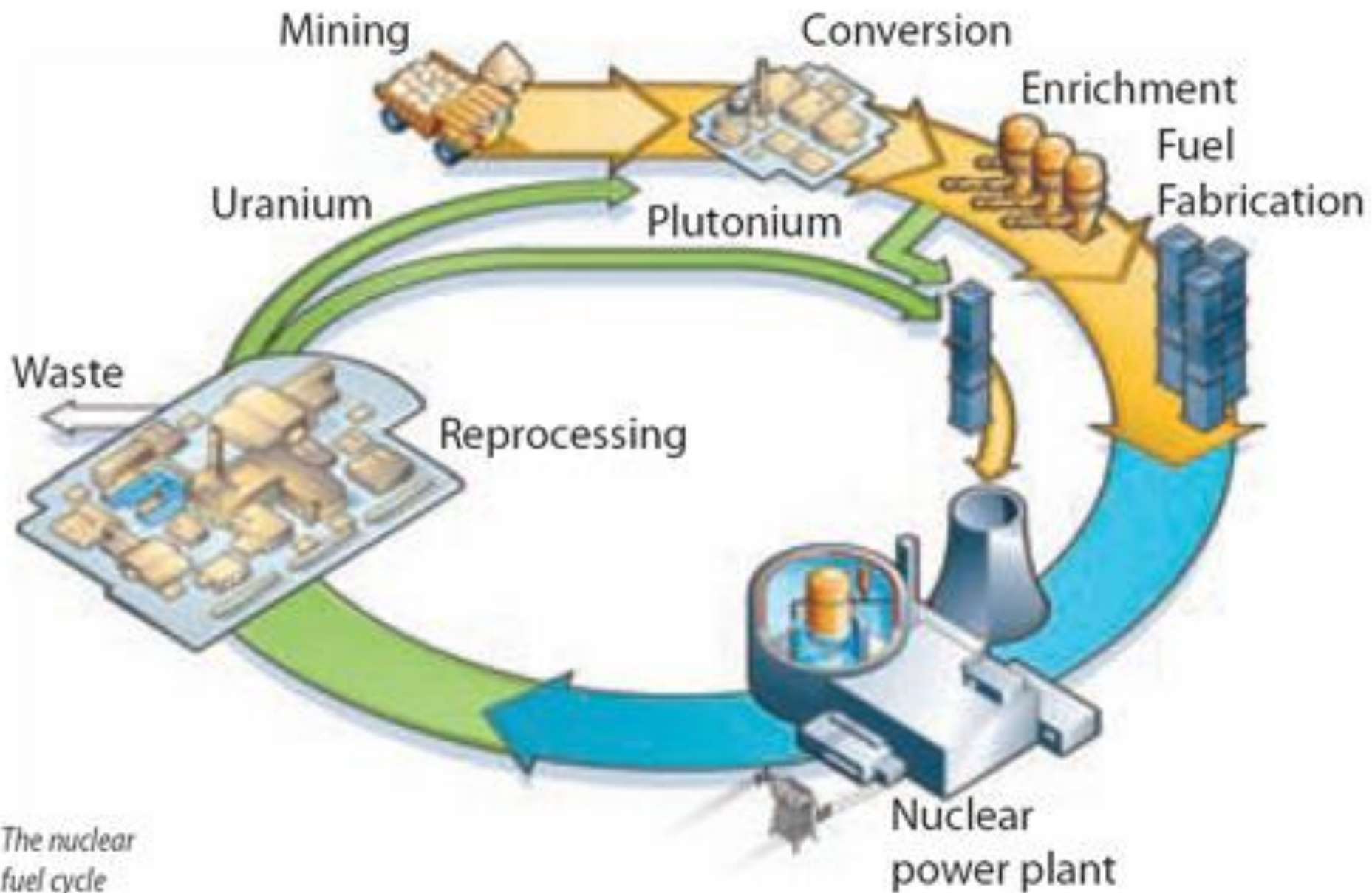




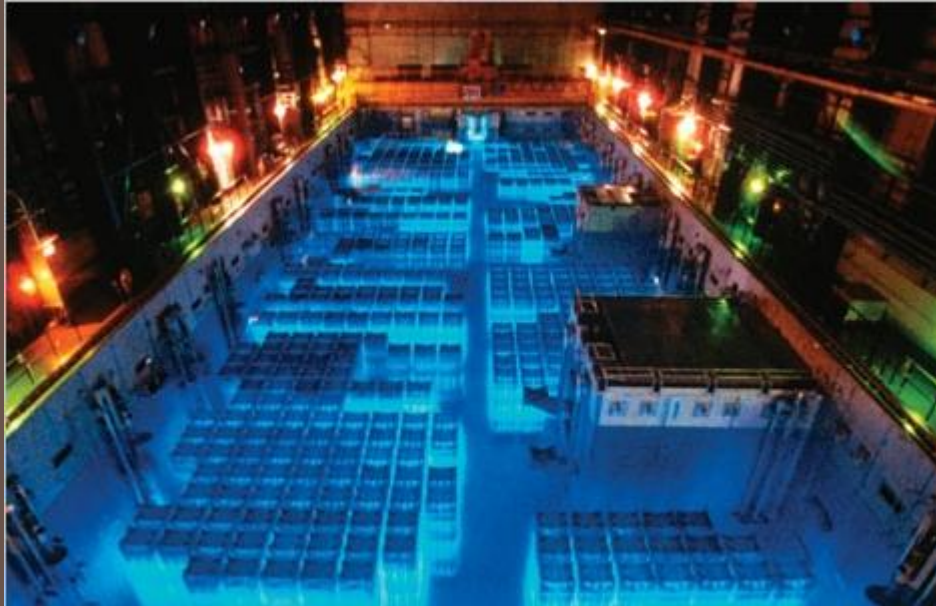
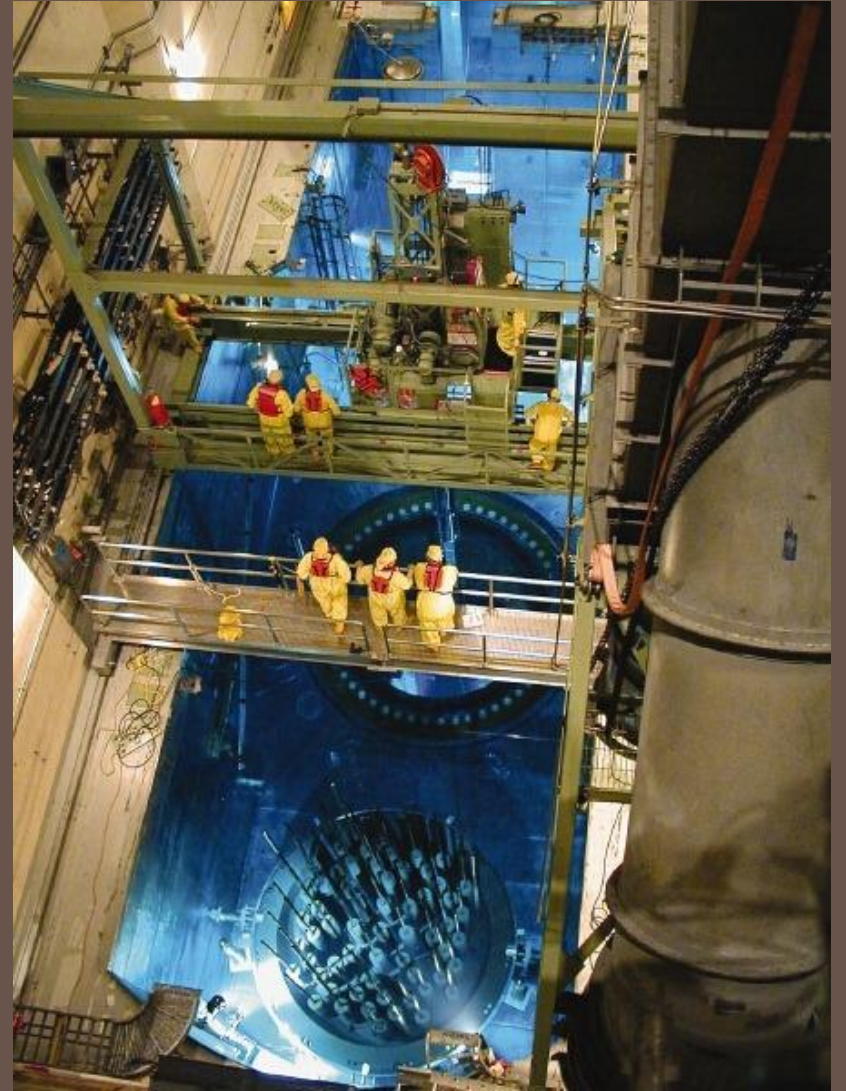
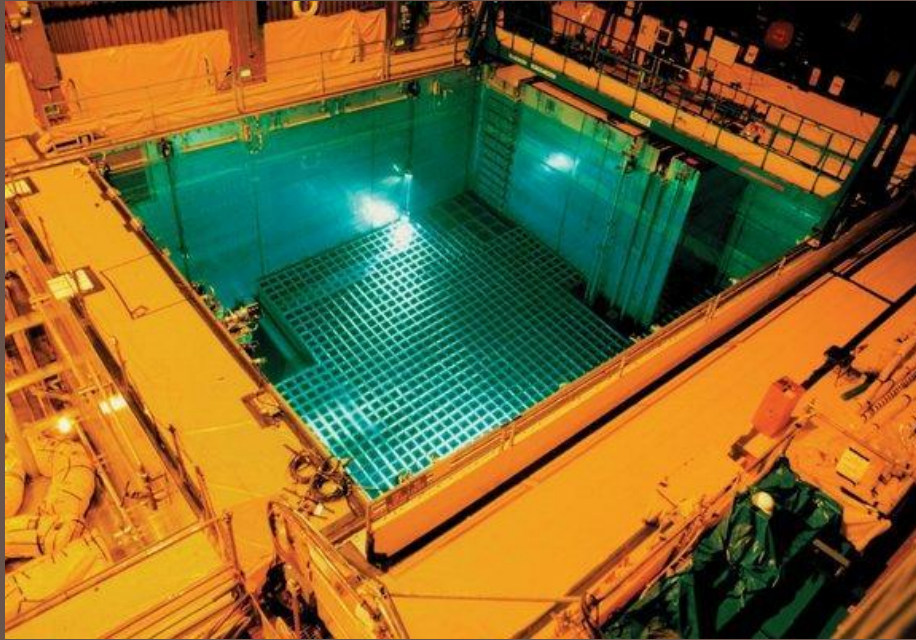
# Jaderný palivový cyklus - využití

- Štěpnou řetězovou reakcí se spotřebovává výhradně uran s izotopem  $^{235}\text{U}$ .
- Použité palivo obsahuje přibližně čtvrtinu původní hodnoty tohoto izotopu, zůstává tedy stále obohaceno na cca 1 %  $^{235}\text{U}$ .
- Použité palivo se skládá z více než 96 % oxidu uraničitého ( $\text{UO}_2$ ) a nově vzniklých příměsí oxidu plutoničitého ( $\text{PuO}_2$ ) v množství cca 1 % a dalších sloučenin (3 %), přičemž většina štěpných produktů jsou radioaktivní izotopy.
- Aktivní zóna JE Dukovany obsahuje 360 souborů. EDU je v současné době na pětiletém cyklu, tj. každý rok se vyměňuje pouze 1/5 použitého paliva z celkové vsázky, tj. 72 kazet.
- V JE Temelín obsahuje aktivní zóna 163 palivových souborů a provoz elektrárny je nastaven na čtyřletý palivový cyklus, každým rokem se tedy vyměňuje 1/4 použitého paliva, což činí 41 – 42 palivových kazet.

# Jaderný palivový cyklus



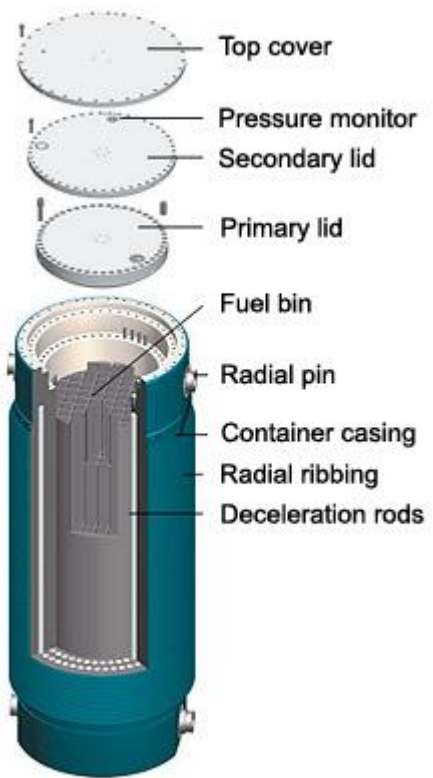




# Jaderný palivový cyklus - uložení

- Po vyjmutí paliva z reaktoru přicházejí tři fáze:
- V **první fázi** se palivové kazety nejdříve aktivně chladí v bazénu vedle reaktoru. Po pěti letech jsou přeloženy do suchých kontejnerů (CASTOR) a dále jsou pasivně chlazeny v meziskladech.
- JE Dukovany ročně vyprodukuje necelý jeden kontejner použitého paliva. Hmotnost prázdného kontejneru je 93,7 tun, naplněného 116,1 tun. JE Temelín vyprodukuje ročně dva plné kontejnery použitého paliva a 3 až 4 tyče ve třetím kontejneru. Jsou vysoké 5,5 metru a naplněný váží každý přibližně 116 tun.
- **Druhá fáze**, tedy transportní, je v současné době zajišťována železnicí, přičemž podléhá velmi přísné kontrole Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB). ČR se zatím netýká.
- V suchém meziskladu se palivo ukládá na dobu přibližně 80 let. Proto se finální hlubinné úložiště (**třetí fáze**) v České republice plánuje až na rok 2065.









# Jaderný palivový cyklus - uložení

## Přípovrchová úložiště radioaktivních odpadů v České republice

Úložiště	Lokalita	Typ úložiště	Ukládané odpady
Richard	Litoměřice	Bývalý vápencový důl	Radioaktivní institucionální odpady, které vznikají ve zdravotnictví, průmyslu, zemědělství či výzkumu.
Bratrství	Jáchymov	Bývalý uranový důl	Pouze odpady, které obsahují přirozené radionuklidy, které se běžně vyskytují v přírodě (např. $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{87}\text{Rb}$ , $^{147}\text{Sm}$ , $^{176}\text{Lu}$ aj.).
Dukovany	Dukovany	Účelová stavba v areálu JE Dukovany	Odpady z provozu jaderných elektráren. Vznikají dva typy nízkoaktivních odpadů – pevné odpady (například kontaminované ochranné pomůcky, čisticí textilie, balicí materiály, papír, fólie, elektroinstalační materiál, stavební suť a podobně) a odpadní vody.
Hostim	Beroun	Bývalý vápencový důl	V provozu bylo v letech 1959 až 1964, dnes je úložiště uzavřeno. Dominantními nuklidy inventáře odpadů jsou radionuklidy tritium $^3\text{H}$ a uhlík $^{14}\text{C}$ . V průběhu času (přibližně od roku 2030) bude díky radioaktivní přeměně převládat radionuklid $^{14}\text{C}$ .

Poznámka: radionuklidy jsou atomy s nestabilním jádrem se stejným protonovým i nukleonovým číslem v rámci jednoho prvku; radionuklid v rámci jednoho prvku se označuje jako izotop.

Zdroj: *Správa úložišť radioaktivních odpadů*; úprava T. Vlček.

# Jaderný palivový cyklus - uložení

- <http://www.youtube.com/watch?v=X2jUZ9y2OqE>
- Lokality pro vybudování hlubinného úložiště radioaktivních odpadů:
  - Březový potok u Pačejova
  - Čertovka u Lubence
  - Horka u Budišova
  - Hrádek u Rohozné
  - Čihadlo u Lodhéřova
  - Magdaléna u Božejovic
  - Kraví hora u Moravských Pavlovic
  
- Od roku 2010 probíhá v těchto lokalitách geologický průzkum, přičemž má tři fáze:
  - první vyhledávací fázi do roku 2015
  - druhou průzkumnou fázi v letech 2015 až 2025
  - třetí fázi podrobného průzkumu v letech 2025 až 2050.
- Po získání dostatečného souboru dat k prokázání bezpečnosti lokality bude požádáno o povolení k výstavbě hlubinného úložiště, která by měla probíhat v letech 2050 až 2065.
- Po uplynutí této doby se také rozhodne, zda bude použité palivo z jaderných elektráren přepracováno a využito jako energetická surovina pro výrobu paliva nového, nebo se jako odpad natrvalo uloží do hlubinného úložiště.





# Jaderný palivový cyklus - uložení

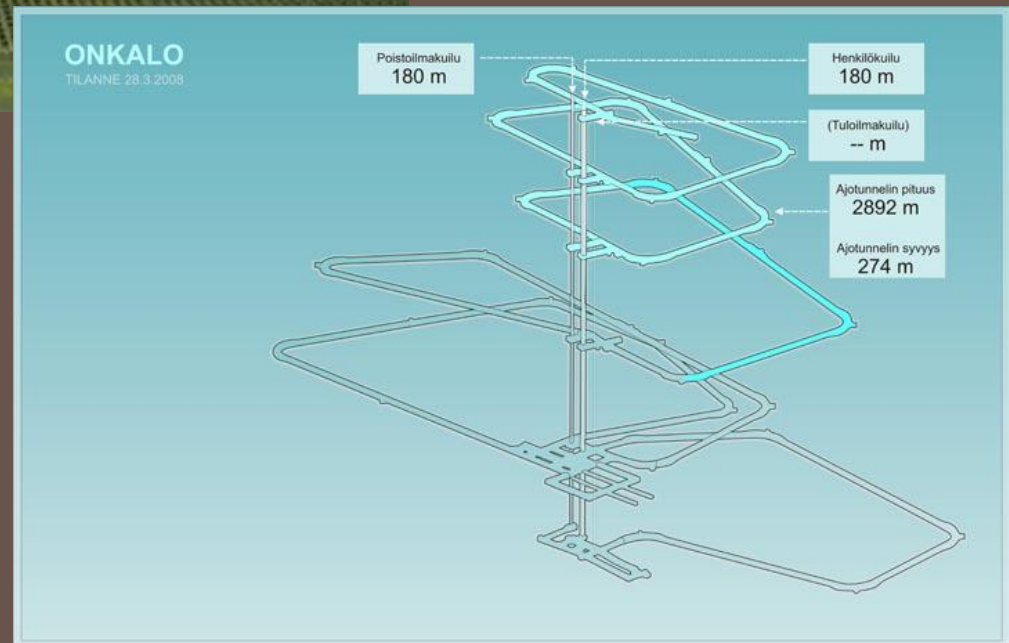
- Vlastníkem použitého jaderného paliva je v České republice společnost ČEZ, a.s. Ta je odpovědná pouze za skladování, za konečné uložení odpovídá stát. K tomu účelu byla zřízena Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO), která podle atomového zákona odpovídá za úpravu vyhořelého nebo ozářeného paliva do formy vhodné buď pro uložení, nebo pro jeho další využití.
- Rozhodnutí, kdy vyhořelé jaderné palivo bude předáno státu, však spočívá pouze na ČEZ, a.s. Do této doby nejde o radioaktivní odpad, ale o potenciálně využitelnou surovinu.

## Schéma konce jaderného palivového cyklu v České republice

<b>Doba setrvání použitého paliva</b>	cca 5-13 let	cca 80 let	trvale, příp. do přepracování
<b>Místo</b>	bazény vyhořelého paliva v JE Dukovany a JE Temelín	sklady JE Dukovany a JE Temelín, záložní úložiště Skalka	hlubinné úložiště
<b>Zodpovídá</b>	ČEZ, a.s.		SÚRAO
<b>Dozor vykonává</b>	Státní úřad pro jadernou bezpečnost		
<b>Finanční prostředky</b>	příslušný rozpočet ČEZ, a.s.		jaderný účet (odvody ČEZ, a.s.)
<b>Zdroj:</b> Otčenášek, 2005, s. 540; úprava T. Vlček.			











**Děkuji za pozornost**



# VYUŽITÍ JADERNÉ ELEKTRÁRNY

PhDr. Tomáš Vlček, Ph.D.

Mezinárodní vztahy a energetická bezpečnost  
Katedra mezinárodních vztahů a evropských studií

MVZ216 Uran v MVZ a ČR

# Přenosy elektrické energie

- Elektrizční soustava je dynamický, permanentně aktivní a z vteřiny na vteřinu se měnící systém.
  - V současné době je většina výrobních zařízení a spotřebičů optimalizována na frekvenci 50 Hz.
  - V síti tato frekvence znamená, že vyráběný činný výkon (který je roven součtu všech činných výkonů vyrábějících generátorů v celé soustavě) se právě rovná odebíranému výkonu (součtu příkonů všech spotřebičů a ztrát v sítích).
  - Stav vyrovnané dodávky elektřiny a jejího odběru je v síti stavem optimálním a pro stabilitu elektrizační soustavy stavem žádaným.
- 
- Negativní projevy: zhoršení kvality elektřiny (snížení frekvence), přepětí sítě, podpětí sítě, brownout, blackout, ostrovní provoz
  - Důvody pro vznik uvedených stavů jsou různé, od plánovaných a neplánovaných odstávek výrobních bloků, přes nečekaná poškození transformátorů, sítí či rozvodů, důsledky aktuálního počasí (např. sněhové kalamity, prudké poklesy venkovních teplot apod.) až po prudké změny ve výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů (tj. z větrných a solárních elektráren).
  - Těmto stavům je nutno předcházet, k tomu slouží regulační zálohy

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# Přenosy elektrické energie

## VYTVÁŘENÍ REGIONÁLNÍCH TYPOVÝCH DIAGRAMŮ

