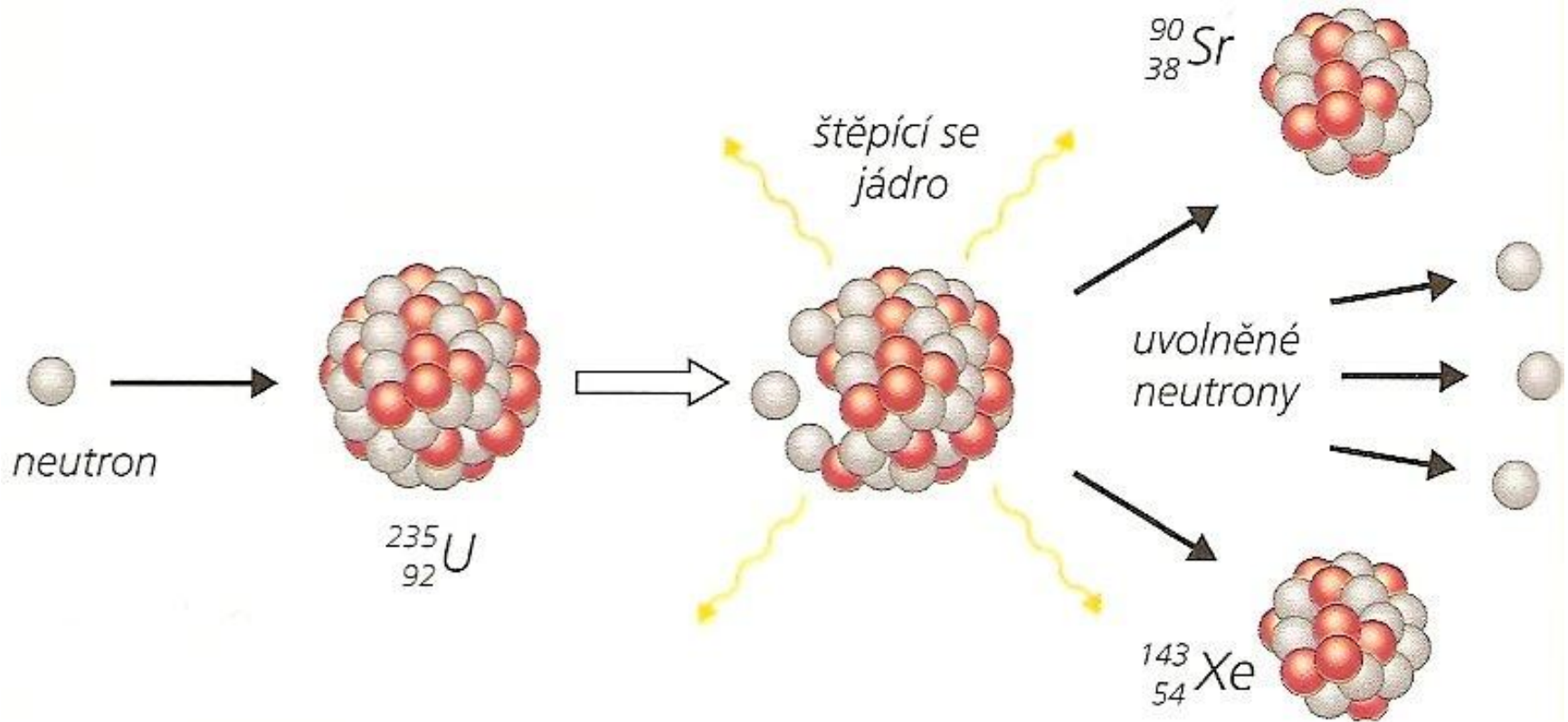


Jaderná elektrárna

Princip funkce - Štěpení jader



Štěpení jader

Štěpení těžkých se nejspíše vyvolá neutronem. Přestože štěpení jader je vždy exotermická reakce, musí mít dopadající neutron určitou energii. Jádro se totiž před štěpením musí dostat do zvláštního tvaru.

Jen jeden nuklid vyskytující se v přírodě lze rozštěpit libovolně pomalým neutronem - izotop uranu ${}_{92}^{235}\text{U}$.

Je zajímavé, že se štěpí tím snáze, čím má neutron menší energii.

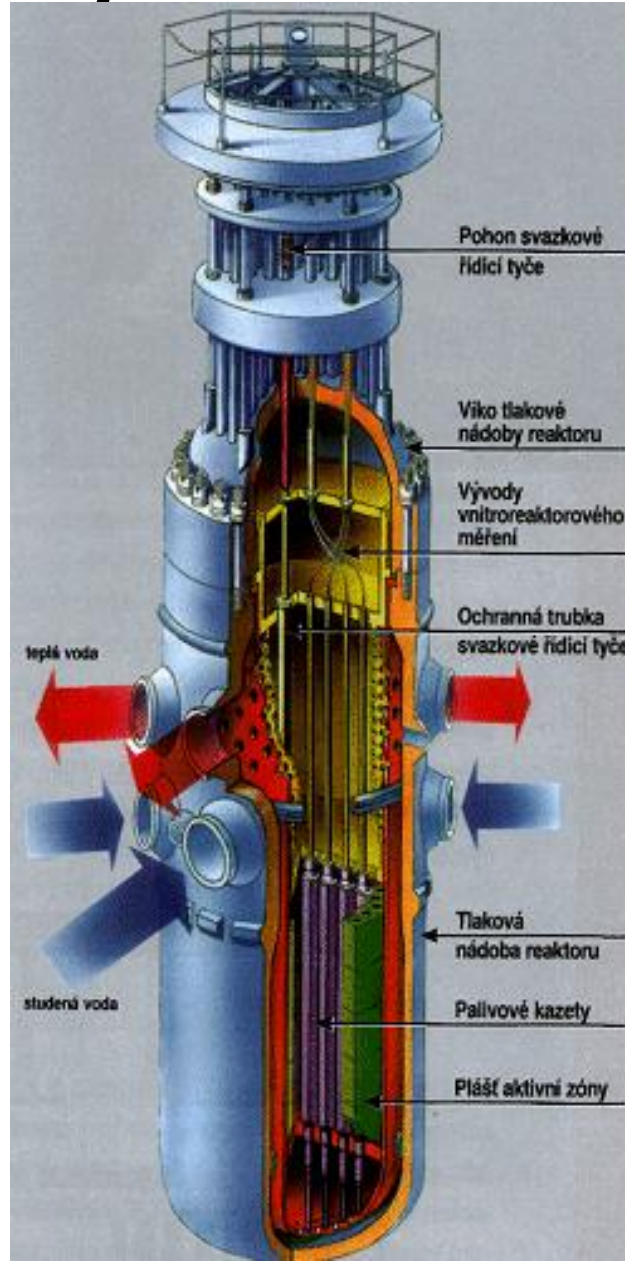
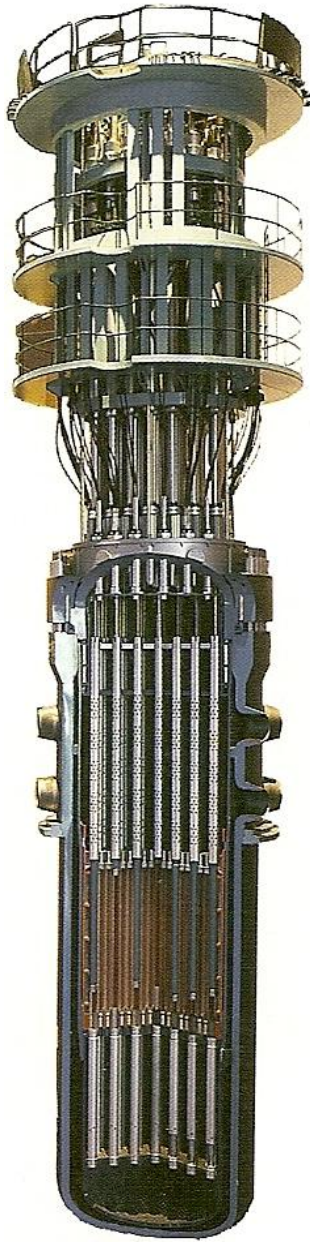
Řetězová reakce

- Pravděpodobnost toho, že nové neutrony vyvolají opět štěpení je malá:
 - neutrony mohou být pohlceny jinými látkami
 - mohou být pohlceny uranem, aniž by vyvolaly štěpení
 - Mohou ze soustavy uniknout
- Samovolně se udržující štěpné reakce lze dosáhnout v soustavě, ve které:
 - je obsah $^{235}_{92}\text{U}$ uměle zvýšen nad 80%
 - se neutrony zpomalují, aby se zvýšila pravděpodobnost nového štěpení

Řetězová reakce

- Při způsobu zpomalování neutronů se používá **moderátor** (= látka dobře zpomalující neutrony). Obvykle je to voda nebo grafit.
- Snížení pravděpodobnosti, že neutron unikne ze soustavy, se dá dosáhnout velikostí soustavy a jejím tvarem. Při zvoleném uspořádání se velikosti, při které lze dosáhnout řetězové reakce, říká **kritická velikost**.

Jaderný reaktor

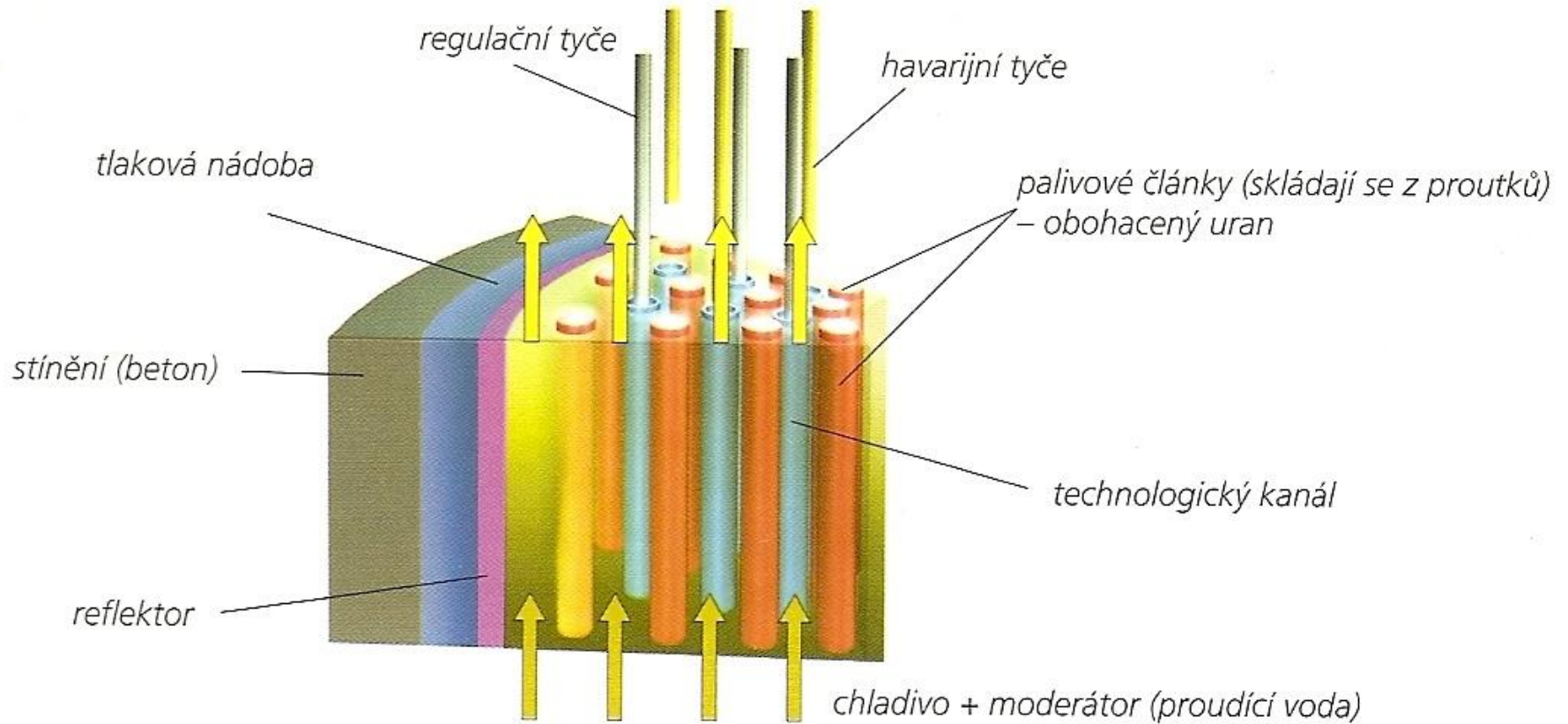


Jaderný reaktor

= soustava, ve které může probíhat řízená řetězová reakce. Podmínkou je, aby kombinace jaderného paliva a ostatních látek dosáhla kritické velikosti.

Nejdůležitější součástí reaktoru je **aktivní zóna**, nejčastěji tvaru válce, ve které dochází k uvolňování energie řetězovou reakcí.

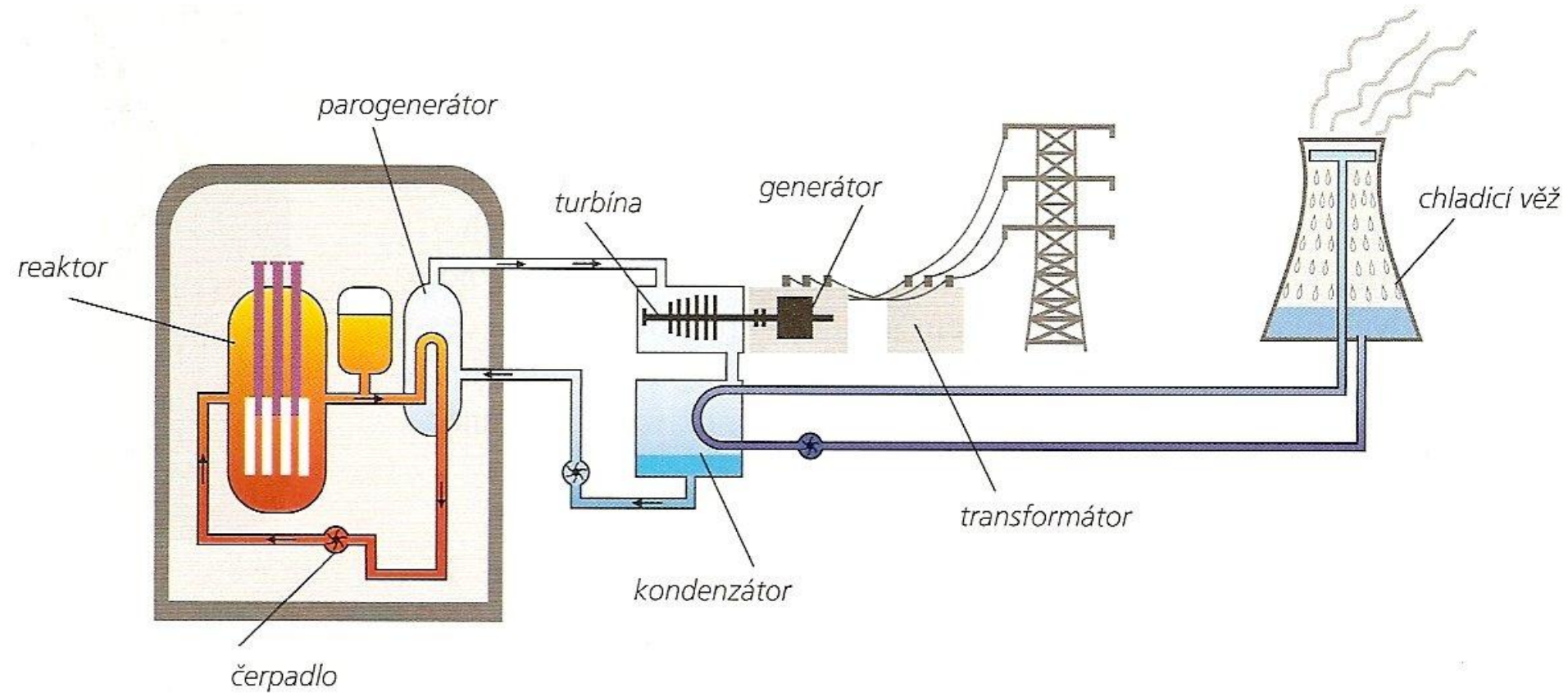
Aktivní zóna



Aktivní zóna

- Jejím základem jsou palivové články. V aktivní zóně jich bývá i několik set. Každý palivový článek obsahuje velké množství tenkých proutků, ve kterých je vlastní palivo: uran obohacený na několik procent ${}_{92}^{235}\text{U}$. (Palivo je v tenkých proutcích proto, aby se neutrony dostaly co nejdříve do moderátoru.)
- Energie z jednoho štěpení je asi 200MeV ($1\text{eV}=1.6\cdot 10^{-19}\text{J}$). Nejvíce této energie je předáno nově vzniklým jádrům (fragmentům), které se zastaví již v palivu. Jejich energie se přemění v teplo. Palivový článek se zahřívá a uvolněné teplo se odvádí chladičem. Voda má velký přetlak (přes 10MPa), proto může být v kapalném stavu i při teplotách dosahujících na výstupu z reaktoru přes 300°C.

Jaderná elektrárna



Druhy reaktorů

PWR, VVER

BWR

CANDU

AGR

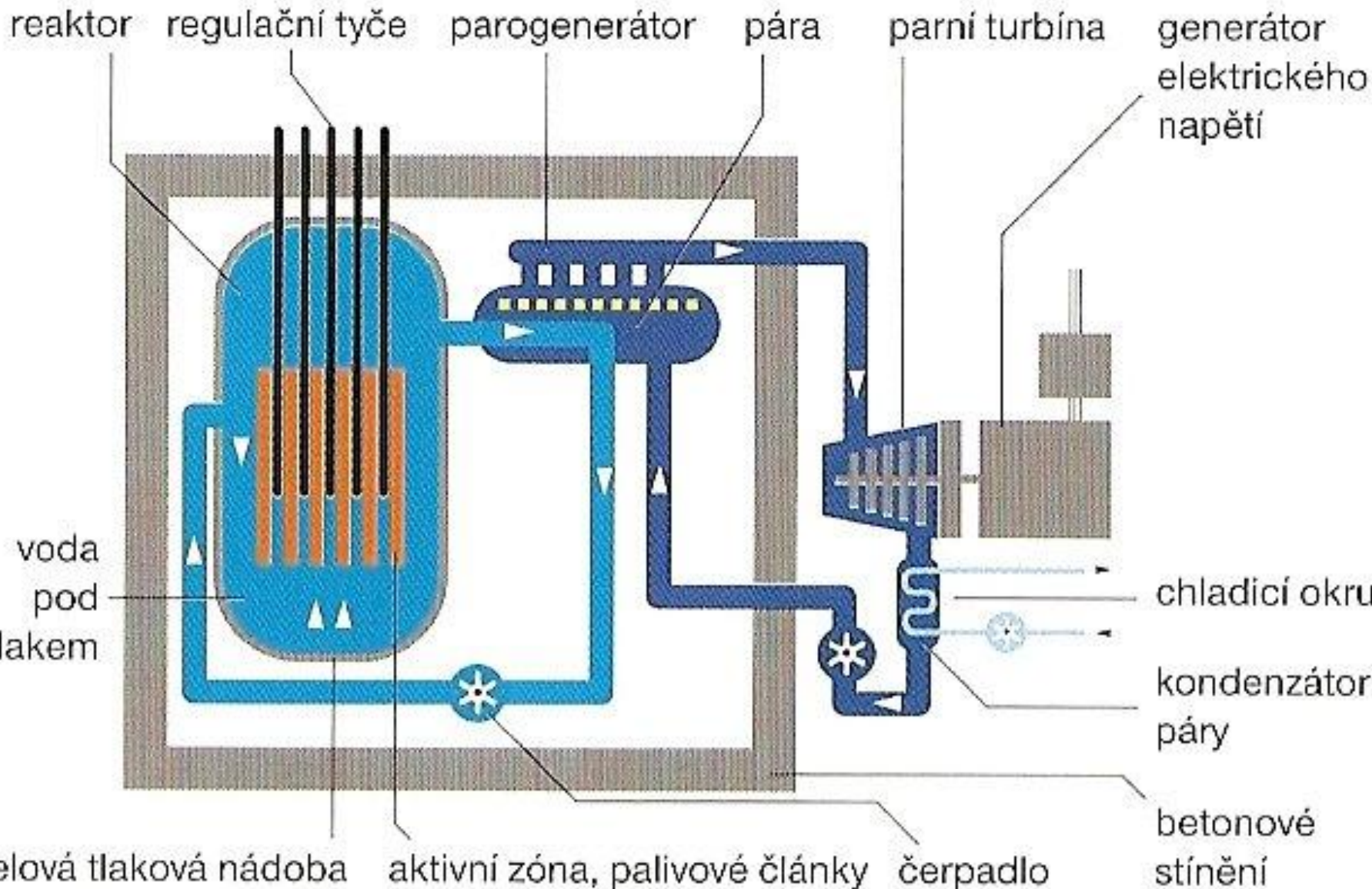
HTGR

FBR

EPR

PWR, VVER

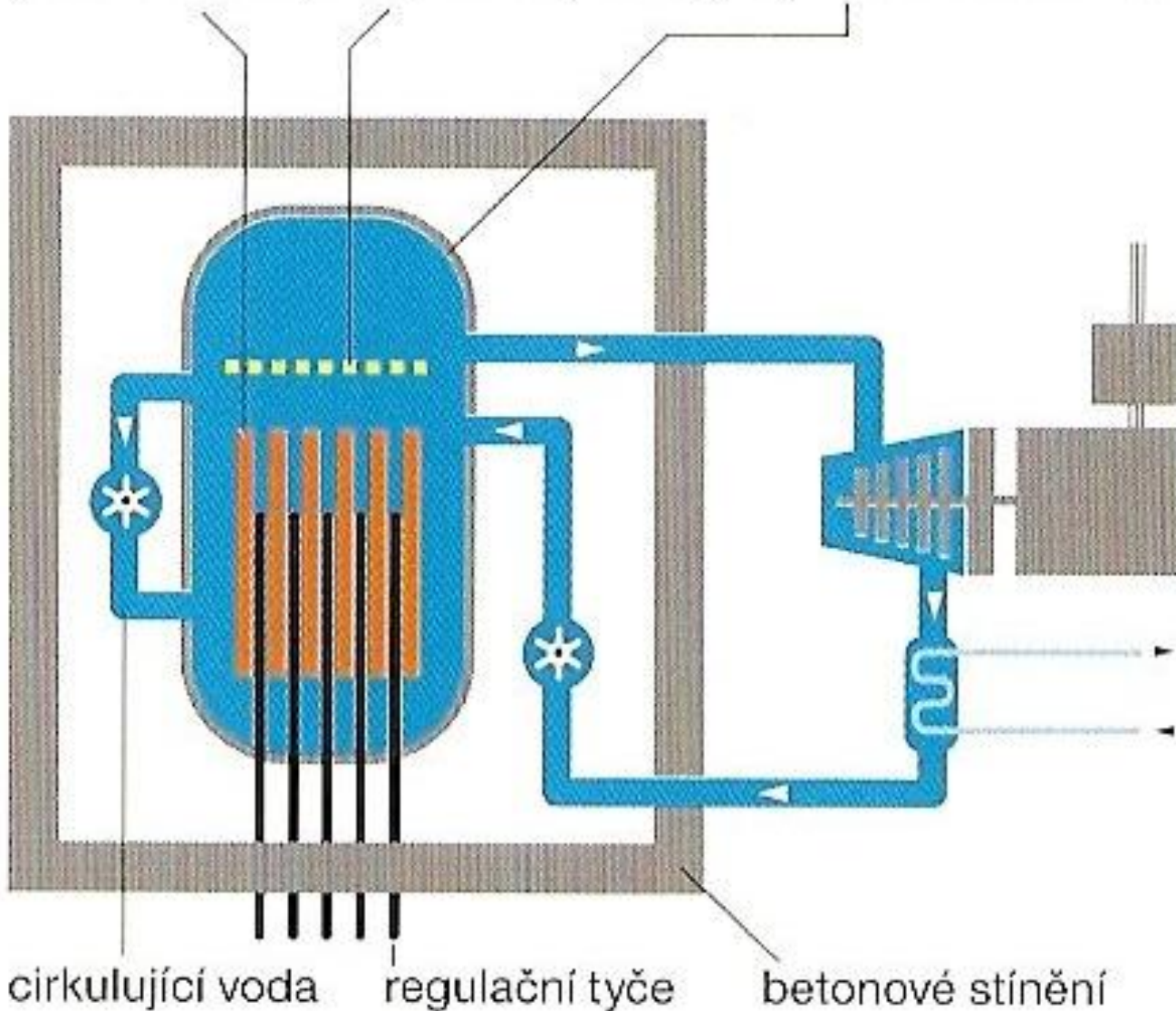
(Pressurized light-Water moderated and cooled Reactor, Vodo-Vodjanoj Energetičeskij Reaktor)



BWR

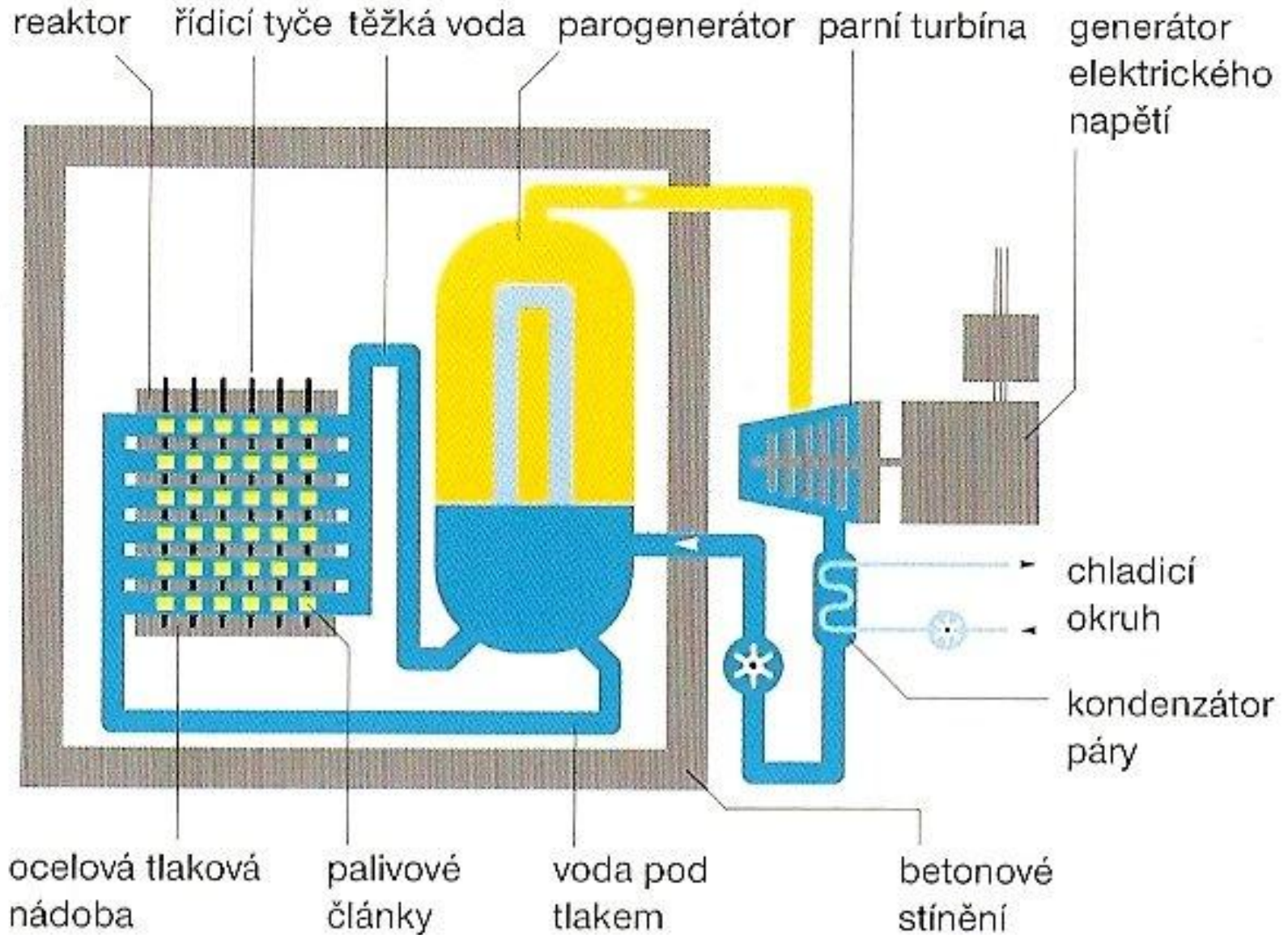
(Boiling Water Reactor)

palivové články separátor (sušič) páry ocelová nádoba



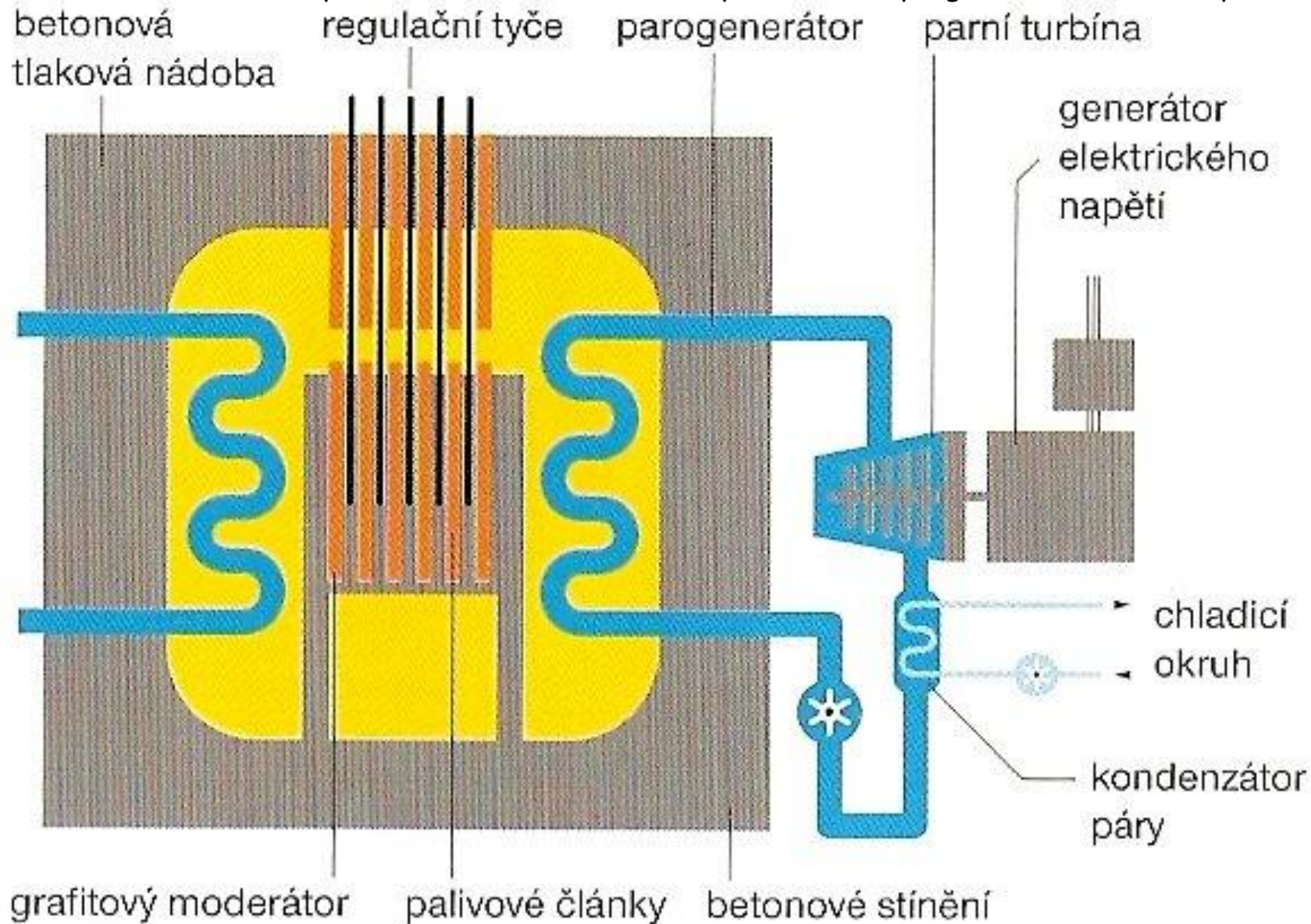
CANDU

(chlazený a moderovaný těžkou vodou)



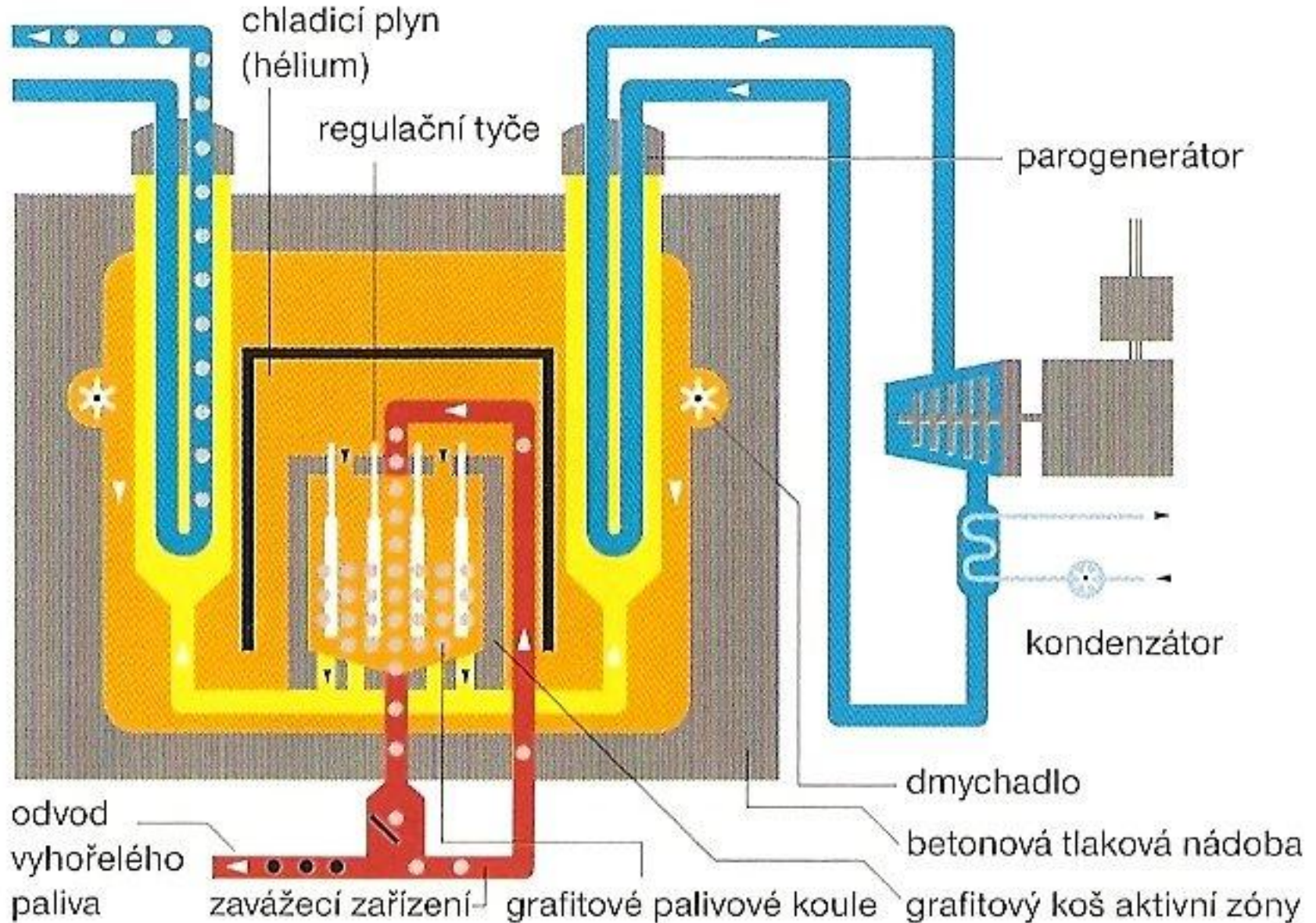
AGR

(Advanced Gas Cooled, Graphite Moderated Reactor - Plynem chlazený a grafitem moderovaný reaktor)



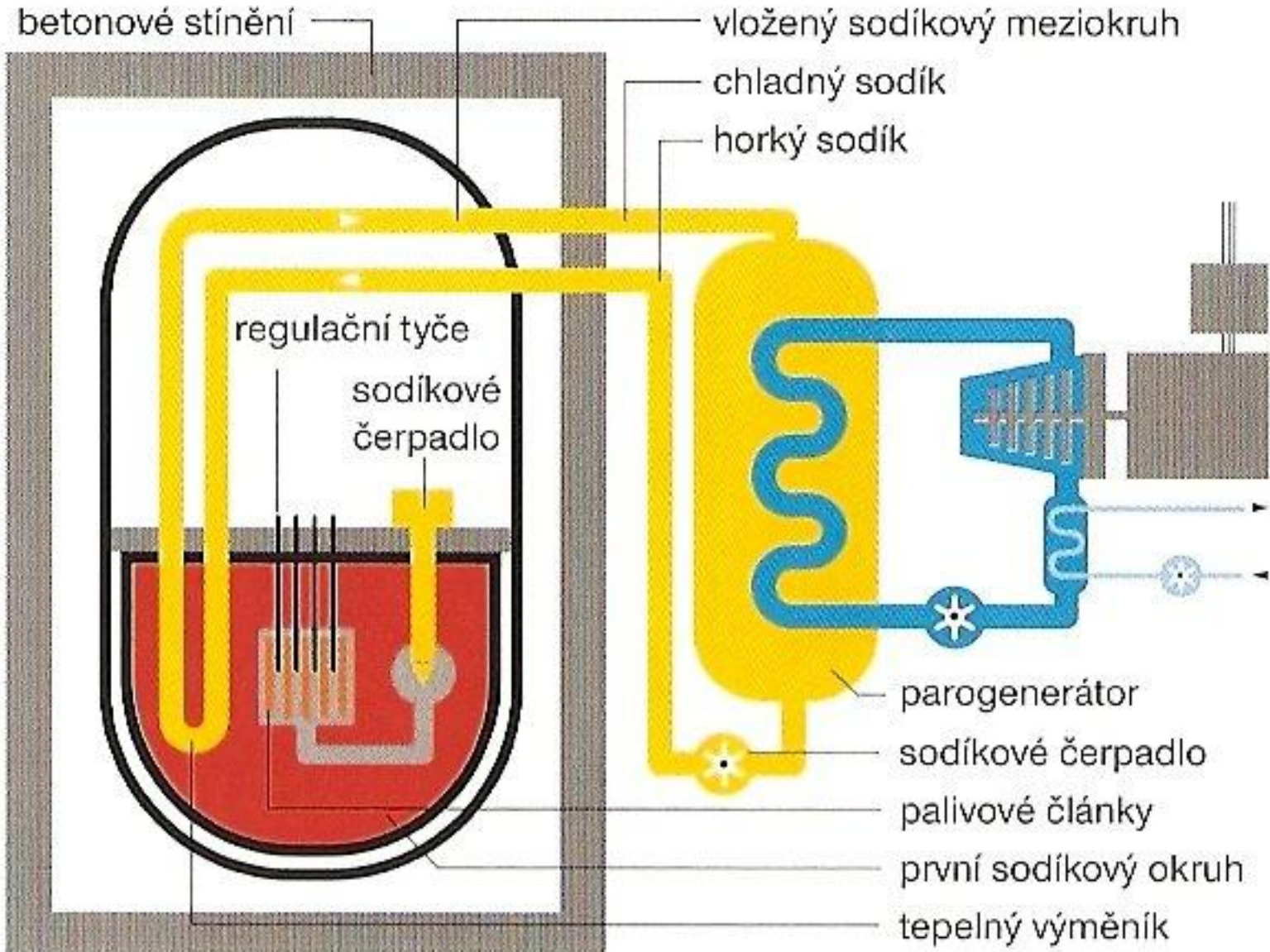
HTGR

(High Temperature Gas Cooled Reactor - Vysokoteplotní plynem chlazený reaktor)



FBR

(Fast Breeder Reactor - Rychlý množivý reaktor)



EPR - reaktor budoucí Evropy

(European Pressurised Water Reactor)

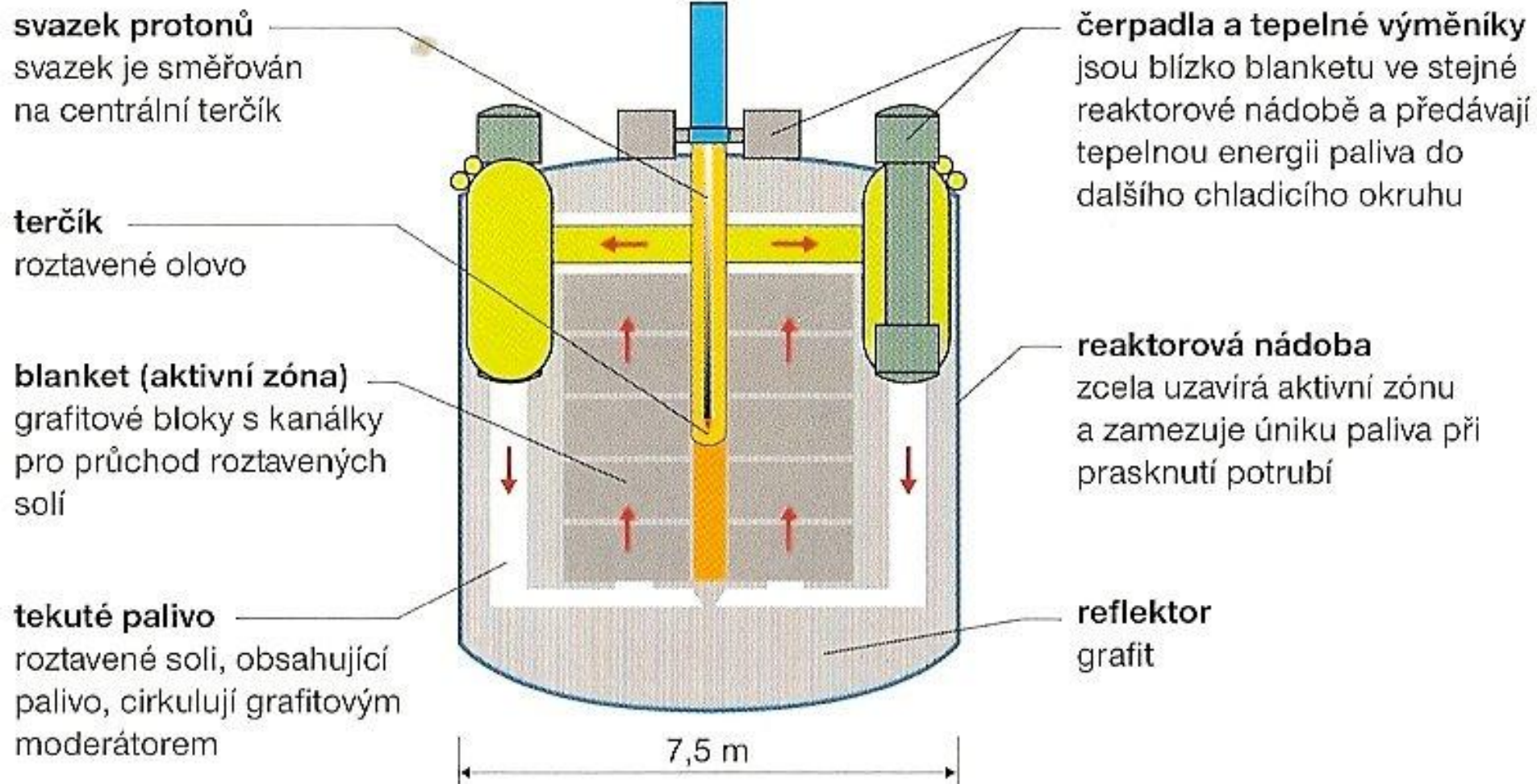
- Projekty jaderných elektráren nové generace vycházejí jednak ze zdokonalování současných typů konstrukce tlakovodních reaktorů, jednak z vývoje typů nových. Významným projektem pro budoucí Evropu je reaktor III. generace EPR. Tento reaktor s předpokládaným výkonem vyšším než 1500MW vychází ze zkušeností německých a francouzských jaderných elektráren. K vývoji nového reaktoru EPR založily již v roce 1989 německá firma Siemens a francouzský FRAMATOM společný podnik.
- Evropský tlakovodní reaktor má optimální bezpečnostní charakteristiky. Je vybaven čtyřnásobně redundantními bezpečnostními systémy, dvojstěnným kontejnmentem a pasivním zařízením (aniž by musela zasahovat řídicí technika) pro případ, že by došlo k tavení paliva. Projekt se zaměřil na zjednodušení klíčových konstrukčních prvků, což přináší jak zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti, tak snížení ceny.
- K dispozici evropským provozovatelům jaderných elektráren jsou i jiné projekty, jako např. americký AP 1000, ruský VVER 1000, V-392, japonský varný ABWR/ESBWR nebo německý varný SWR-1000. Všem je společná filozofie pasivního bezpečnostního systému.

- Vyhořelé palivo obsahuje asi 3% vysoce radioaktivních látek a asi 96% uranu, který je možné znovu použít.
- Ve světě se již uplatňuje chemické přepracovávání paliva
- Ve výstavbě jsou transmutory *, které pracují na principu štěpné reakce. Vyhořelé palivo se chemicky přepracuje a připraví se z něj speciální palivo pro tyto reaktory. Použité palivo z těchto reaktorů se opět chemicky přepracuje a doplní o nové palivo. Zbytky odpadů z těchto reaktorů pak stačí uložit na 10 až 50 let, během kterých se stanou neškodnými.

* transmutace = přeměna jader, kdy z původního jádra vzniká jádro s málo odlišným protonovým číslem

Transmutační reaktor

(typ ADS = Accelerator Driven System - urychlovačem řízený systém)





Jaderné elektrárny v ČR

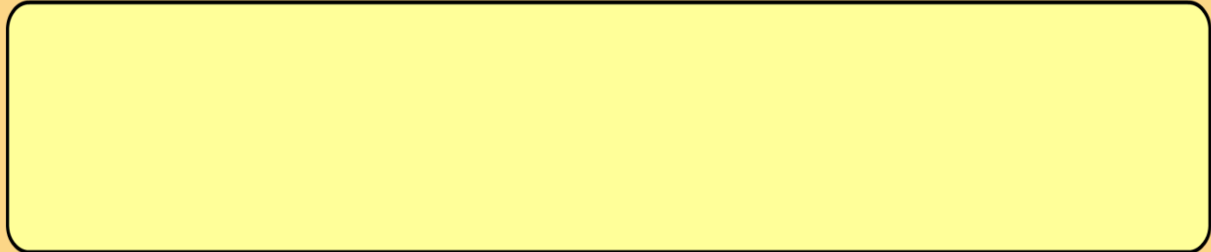
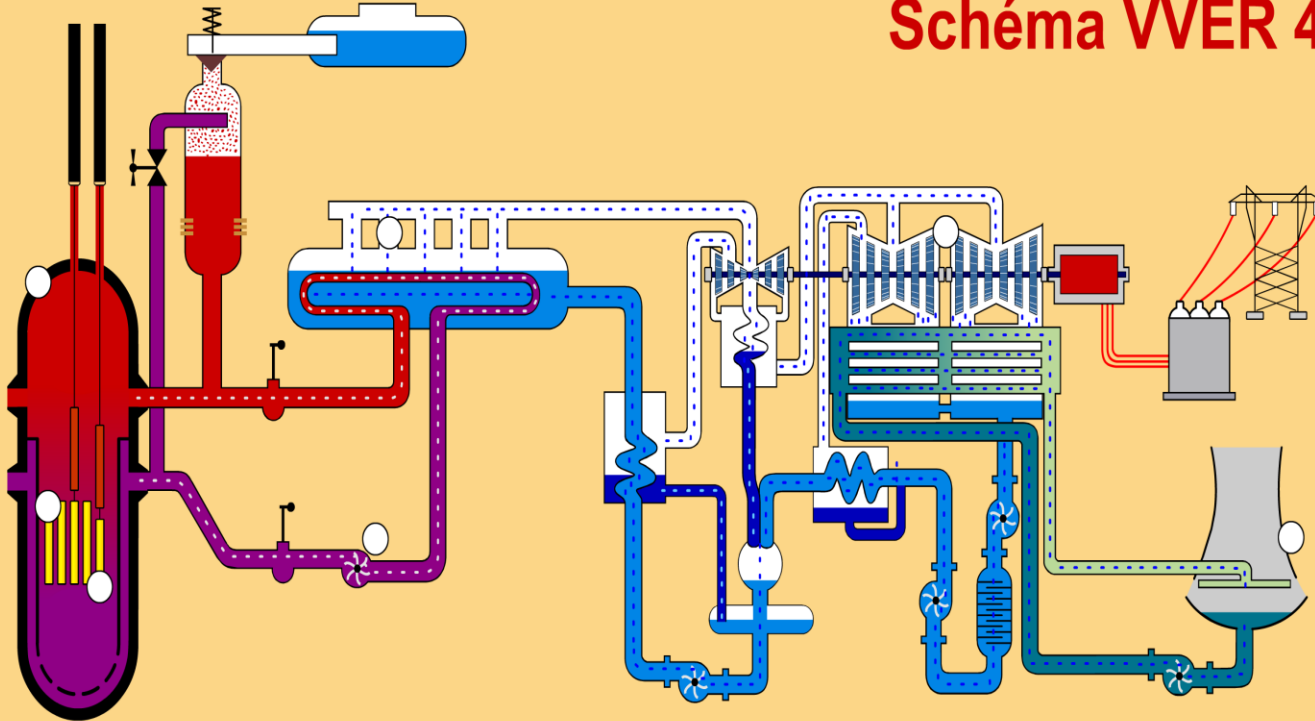


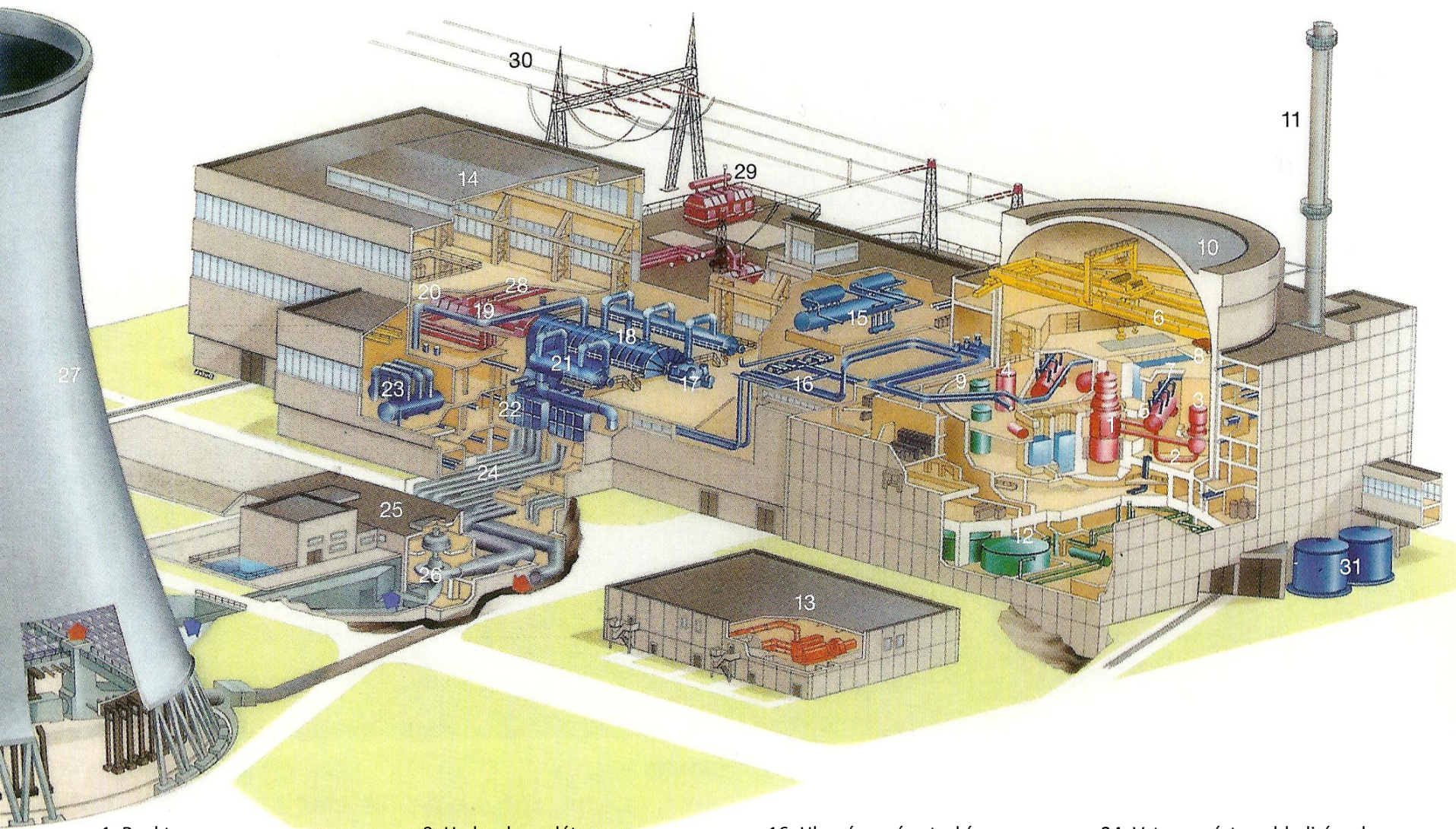
Parametry reaktorů v ČR

	<u>JE Dukovany</u>	<u>JE Temelín</u>
Typ reaktoru	VVER 440	VVER 1000
Tepelný výkon	1375 MW	3000 MW
Průměr tlakové nádoby	3,56 m	4,5 m
Výška tlakové nádoby	11,8 m	10,9 m
Palivové kazety	312 ks	163 ks
Hmotnost paliva	42 t	92 t
Moderátor a chladivo	Obyčejná (lehká) voda	Obyčejná (lehká) voda
Tlak v reaktoru	12,25 MPa	15,7 MPa
Teplota chladiva	267 °C - 297 °C	290 °C - 320 °C



Schéma VVER 440





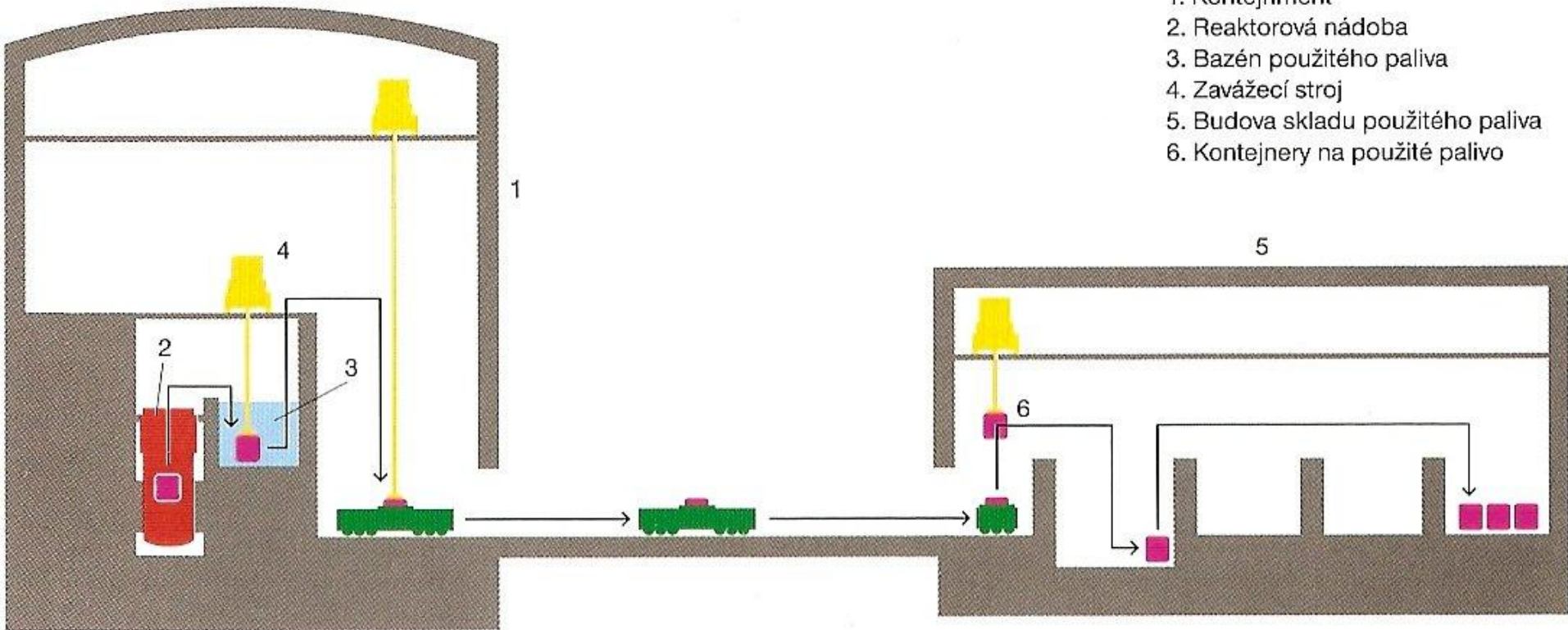
1. Reaktor
2. Potrubí primárního okruhu
3. Hlavní cirkulační čerpadlo
4. Kompenzátor objemu
5. Parogenerátor
6. Polární jeřáb
7. Bazén použitého paliva
8. Zavážecí stroj

9. Hydroakumulátory
10. Ochranná obálka – kontejnment
11. Ventilací komín
12. Systém havarijního chlazení aktivní zóny
13. Diesel-generátorová stanice
14. Strojovna
15. Napájecí nádrž

16. Hlavní parní potrubí
17. Vysokotlaký díl turbíny
18. Nízkotlaký díl turbíny
19. Generátor
20. Budič
21. Separátor
22. Kondenzátor
23. Tepelný výměník

24. Vstup a výstup chladicí vody
25. Čerpací stanice
26. Čerpadlo chladicí vody
27. Chladicí věž
28. Vývod výkonu z generátoru
29. Transformátor
30. Vyvedení výkonu
31. Zásobníky destilátu

Manipulace s použitým palivem



Zdroje

- [ČEZ](#) (Pokročilé jaderné technologie)
- [EnergyWeb](#) (animace)
- Fraus - Fyzika 9
- [Google](#) (Dukovany - foto)
- [Kudy z Nudy](#) (Temelín - foto)