

# Jaderné elektrárny a jaderné reaktory

Dušan Kobyłka

Katedra jaderných reaktorů

FJFI – ČVUT v Praze



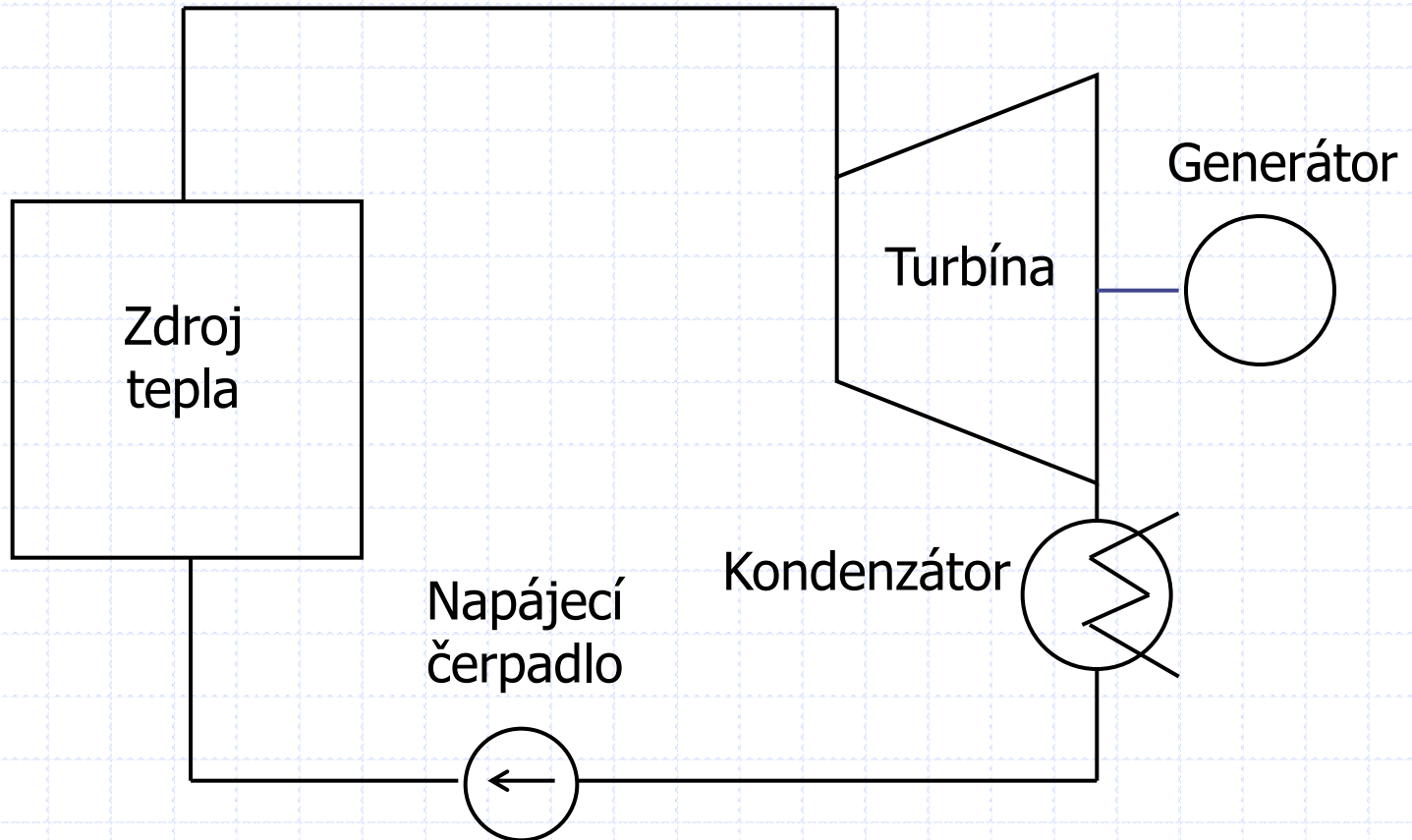
# Náplň přednášky

- ◆ Jaderná elektrárna a její základní schéma
- ◆ Jaderný reaktor, jeho teorie a principy práce
- ◆ Typy jaderných reaktorů a jejich specifické vlastnosti
- ◆ Jaderná energetika ve světě a její renesance
- ◆ Minulost a současnost jaderné energetiky v ČR
- ◆ Nové bloky pro ČR

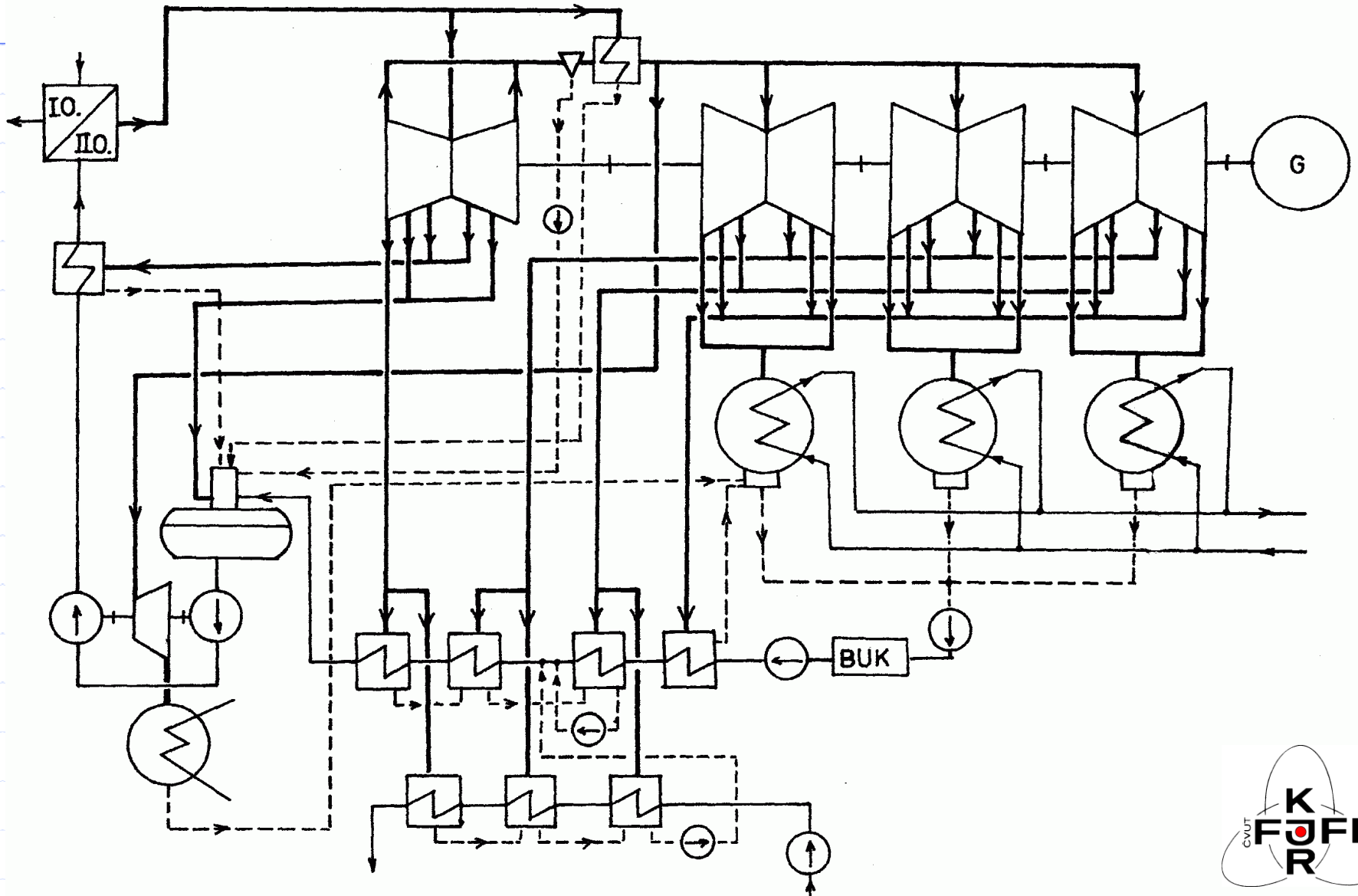
# Jaderná elektrárna

- ◆ Elektrárna – technické dílo sloužící k přeměně jiného druhu energie v elektrickou. K přeměně využívá různých fyzikálních a chemických dějů
- ◆ Jaderná elektrárna – slouží k přeměně vazebné energie jádra atomu v elektrickou energii
- ◆ Hlavní děje probíhající v elektrárně s tepelným (termodynamickým) cyklem:
  - Vznik tepla – jaderný reaktor, kotel, sluneční kolektor, ...
  - Transformace tepelné energie na mechanickou – turbína
  - Přeměna mechanické energie na elektrickou – elektrický generátor
- ◆ Pracovní látka tepelného cyklu:
  - Voda-vodní pára = Rankin-Clausiovův cyklus
  - Plyn = Braytonův cyklus, Dieselův cyklus, Ottův cyklus

# Realizace R-C cyklu



# Schéma VVER-1000



# Jaderný reaktor



Štěpení jaderného paliva  
(U233, U235, Pu239, Pu241)

produkt	energie (MeV)
fragmenty štěpení	166,2 1,3
neutrony	4,8 0,1
okamžité $\gamma$ -fotony	8,0 0,8
$\beta$ -částice produktů štěpení	7,0 0,3
$\gamma$ -záření produktů štěpení	7,2 1,1
neutrino	9,6 0,5
celkem	202,8 0,4



1 eV = 0,160210 aJ (attojoule) = 0,16021x10<sup>-18</sup> J



1 W = 3,1x10<sup>10</sup> rozštěpených jader/s



1 g štěpitelného materiálu obsahuje asi 2,5x10<sup>21</sup> jader - 1g obsahuje asi 1 MWd tepelné energie

## ŠTĚPENÍ URANU

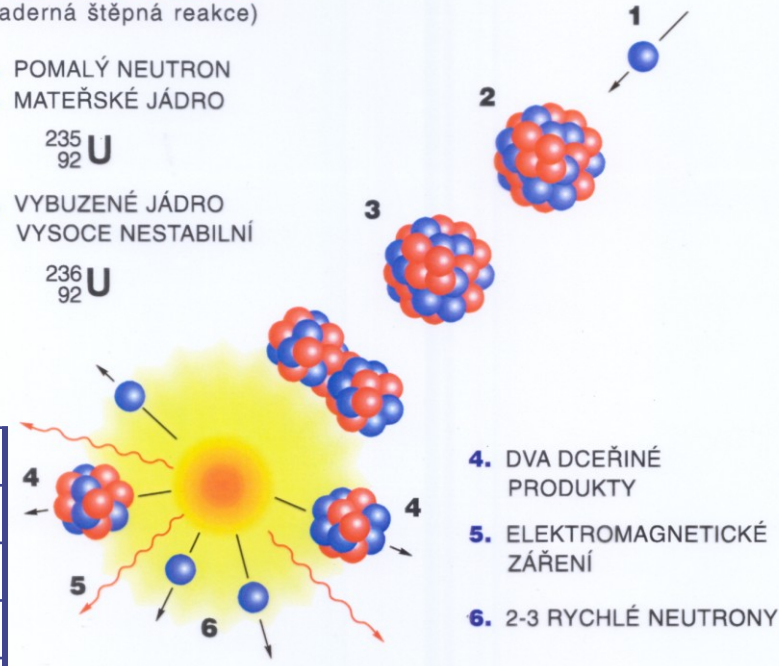
(Jaderná štěpná reakce)

1. POMALÝ NEUTRON

2. MATEŘSKÉ JÁDRO



3. VYBUZENÉ JÁDRO  
VYSOCE NESTABILNÍ

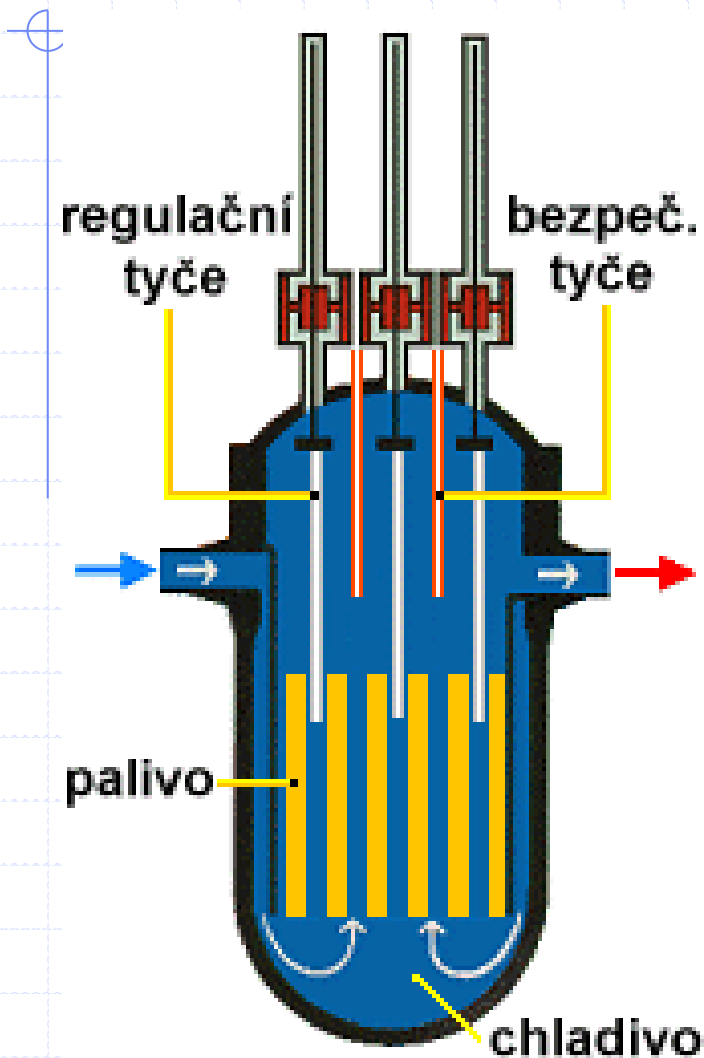


4. DVA DCEŘINÉ  
PRODUKTY

5. ELEKTROMAGNETICKÉ  
ZÁŘENÍ

6. 2-3 RYCHLÉ NEUTRONY

# Jaderný reaktor



- ◆ Palivo
- ◆ Chladio
- ◆ Moderátor neutronů
- ◆ Konstrukční materiály
- ◆ Regulační a havarijní tyče – absorbátory neutronů

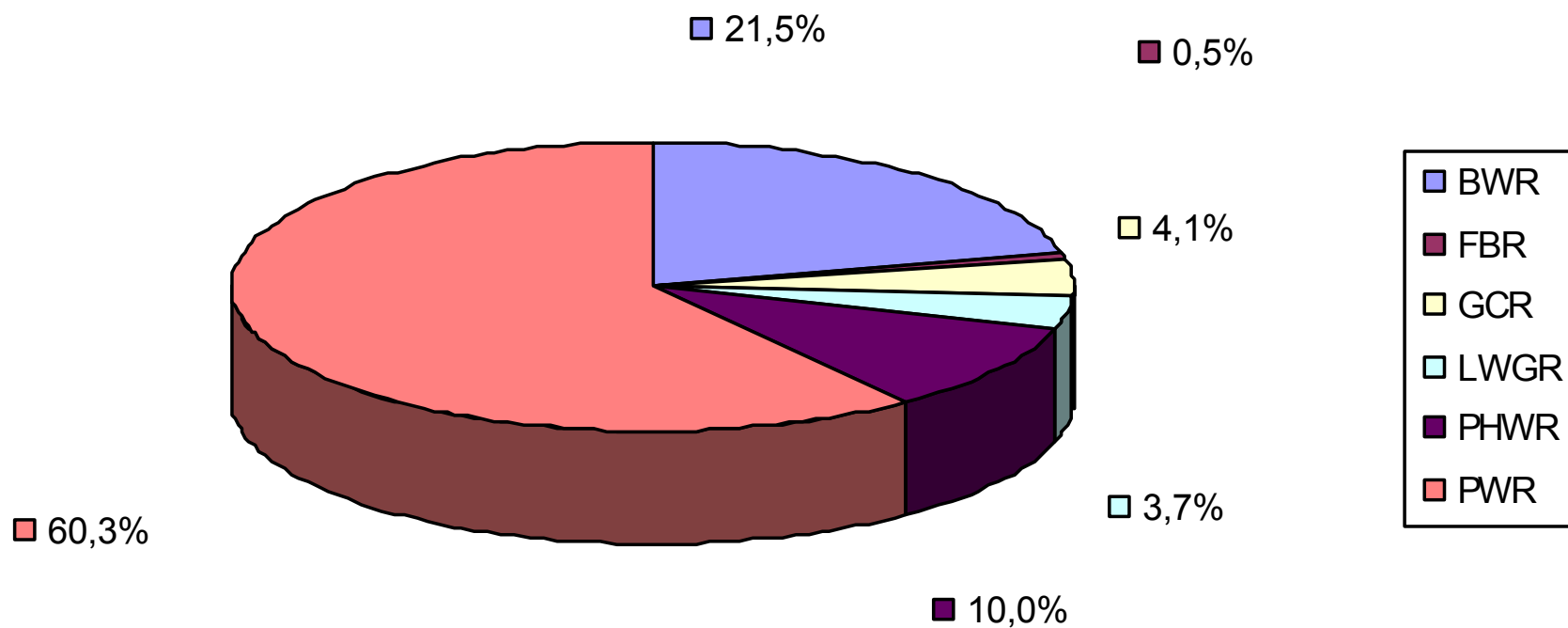
# Jaderné reaktory

Energie neutronů	Moderátor	Chladivo	Označení dle IAEA	Příklady JE
Tepelné	Lehkovodní	H <sub>2</sub> O	<b>PWR</b> tlakovodní reaktor	PWR Chooz B1,2 - Francie VVER Temelín 1,2 – ČR
			<b>BWR</b> varný reaktor	Shika 1,2 -Japonsko Olkiluoto1,2 - Finsko
	Grafitové	CO <sub>2</sub>	<b>GCR</b> plynem chlazený reaktor	Hartepool 1,2 – V. Británie
			<b>AGR</b> zdokonalený, plynem chlazený reaktor	Torness 1,2 - Velká Británie
		He	(HTGR vysokoteplotní reaktor)	(AVR Jülich - Německo)
		H <sub>2</sub> O	<b>LWGR</b> grafitový reaktor s tlakovými kanály	Ignalina (1),2, - Litva Smolenská 1-3, - Rusko
	Těžkovodní	D <sub>2</sub> O	<b>PHWR</b> těžkovodní reaktor Candu	Cernavoda 1,2- Rumunsko Darlington 1-4, - Kanada
		H <sub>2</sub> O	(HWLWR těžkovodní reaktor chlazený obyčejnou vodou)	(Fugen - Japonsko ) (Gentilly 1, - Kanada)
		CO <sub>2</sub>	(HWGCR těžkovodní chlazený plynem SGHWR )	(A1 J.Bohunice – ČSSR) (Winfrith – Velká Británie)
	Rychlé	Není	Na	<b>FBR</b> rychlý množivý reaktor



# Jaderné reaktory

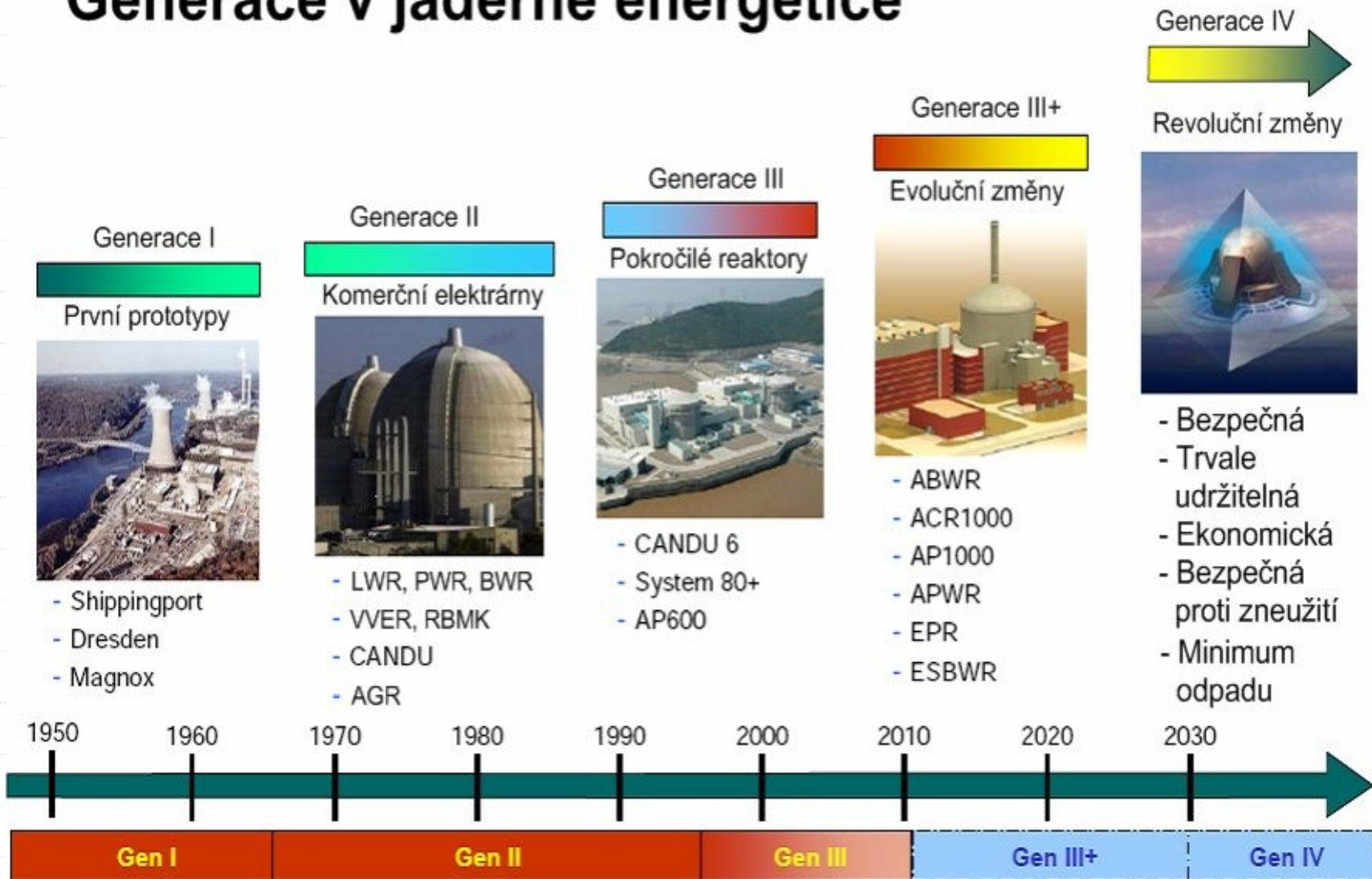
Rozdělení podle typu reaktoru v %



# Jaderné reaktory

<b>Typ</b>	<b>Jednotek</b>	<b>výkon MW(e)</b>
BWR	94	85208
FBR	2	690
GCR	18	9034
LWGR	16	11404
PHWR	44	22391
PWR	264	242952
<b>Celkem</b>	<b>438</b>	<b>371679</b>

# Generace v jaderné energetice



## Bezpečnost

**Základní**

**10 x vyšší**

**100 x vyšší**

**jako u Gen III**

## Účinnost [%]

**25 – 30**

**30 – 33**

**30 – 37**

**45 - 55**



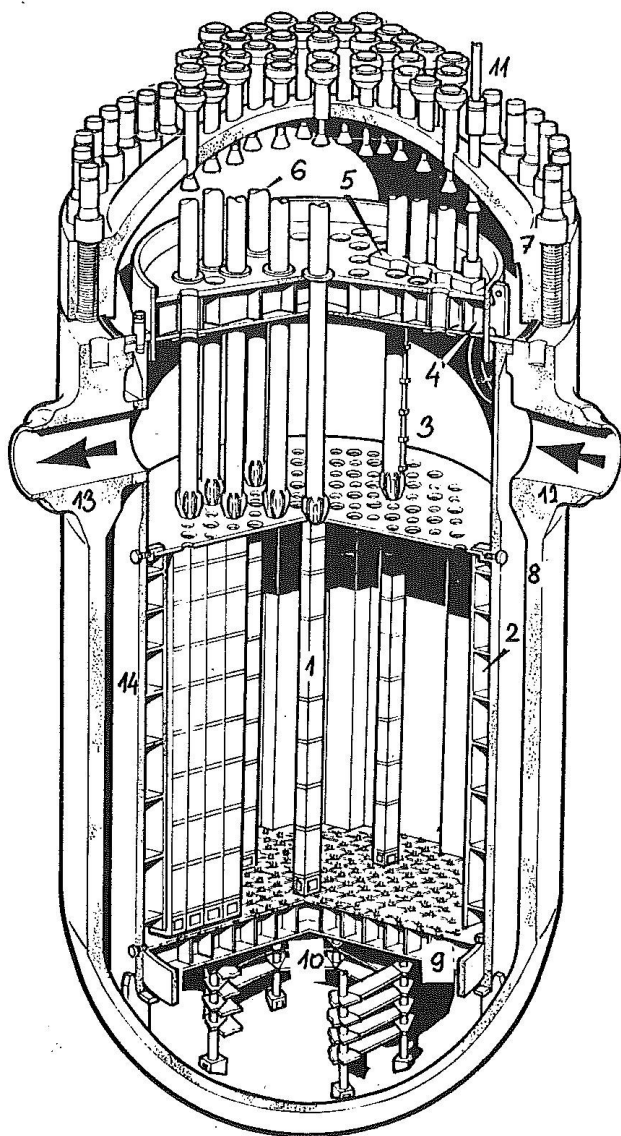
# PWR, VVER

- ◆ Použití obohaceného paliva ve formě  $\text{UO}_2$
- ◆ Kompaktní uspořádání aktivní zóny
- ◆ Kompenzace přebytečné reaktivity pomocí  $\text{H}_3\text{BO}_3$
- ◆ Řízení reaktoru absorpčními tyčemi zasouványými shora
- ◆ Dobře známé tepelné a fyzikální vlastnosti a technologie vody
- ◆ Jednoduchý chladič systém reaktoru
- ◆ Kampaňová výměna paliva pod vrstvou vody
- ◆ Vysoká stabilita reaktoru daná velkou hodnotou záporného teplotního koeficientu reaktivity

# PWR, VVER

- ◆ Vyšší požadavky na štěpný materiál
- ◆ Nízká účinnost termodynamického cyklu (kolem 30 až 34 %)
- ◆ Vysoká zásoba reaktivity na počátku provozu reaktoru
- ◆ Koncentrace RA produktů v palivu na konci kampaně
- ◆ Možný únik chladiva a jeho omezená zásoba
- ◆ Vysoký pracovní tlak chladiva a jeho možné fázové změny
- ◆ Chemická aktivita zirkonových komponent aktivní zóny
- ◆ Korozní a erozní problémy zvětšující se s tlakem, teplotou a rychlostí vody v primárním okruhu reaktoru
- ◆ Požadavky na bezpečnostní systém - ochranná obálka

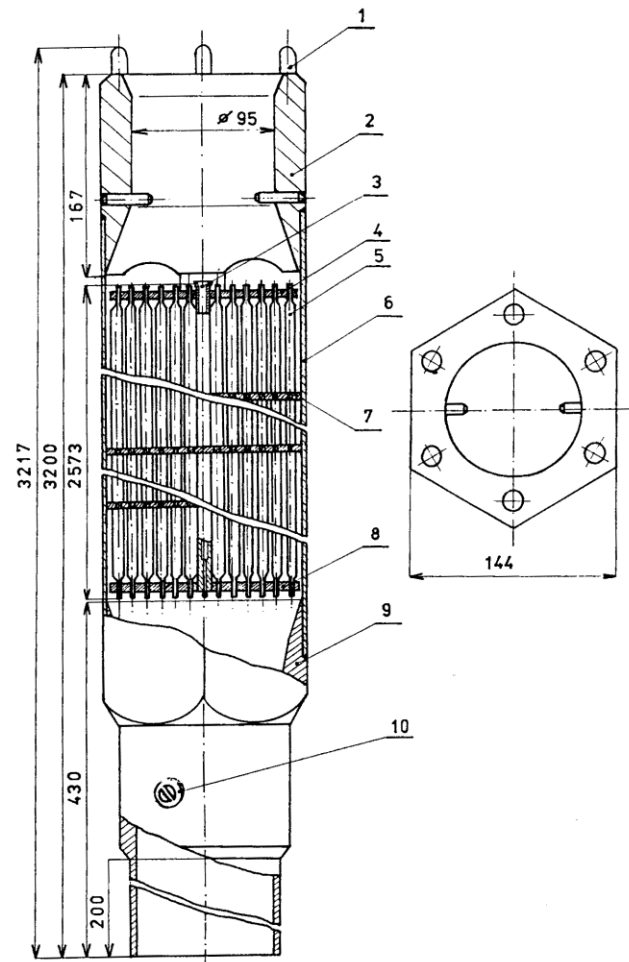
# PWR firmy Siemens-KWU



- 1 - palivový článek
- 2 - boční plášť AZ
- 3 - vodící trubka vývodu vnitroreaktorových měření
- 4 - horní mříž bloku ochranných trubek
- 5 - vnitroreaktorová instrumentace
- 6 - vodící trubka regulační tyče
- 7 - víko reaktorové nádoby
- 8 - reaktorová nádoba
- 9 - nosná mříž nosného válce AZ
- 10 - rozdělovací komora
- 11 - vyvedení signálů od vnitroreaktorových měření
- 12 - vstupní hrdlo
- 13 - výstupní hrdlo
- 14 - nosný válec AZ

# PO – PS

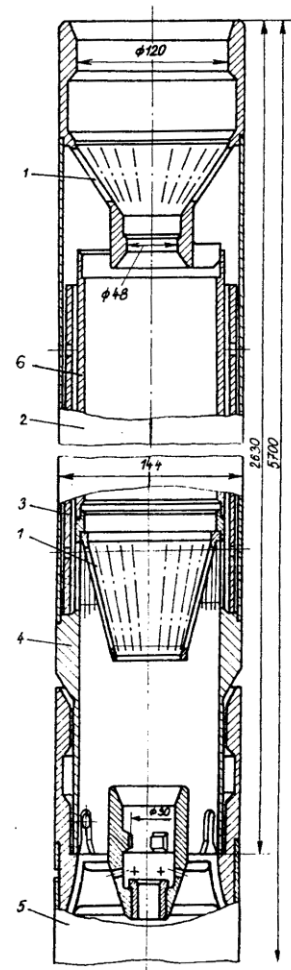
- ◆ palivový soubor VVER 440 (palivová kazeta)
- ◆ 126 palivových tyčí
- ◆ v AZ 349 palivových souborů, z toho 37 regulačních



- 1 - odpružené kolíky
- 2 - hlavice
- 3 - centrální trubka
- 4 - horní distanční mřížka
- 5 - palivová tyč
- 6 - šestihranný plášť kazety
- 7 - distanční mřížka
- 8 - spodní upevňovací mřížka
- 9 - koncovka
- 10 - středící čep

Obr. 2.2

Palivový článek reaktoru VVER-440



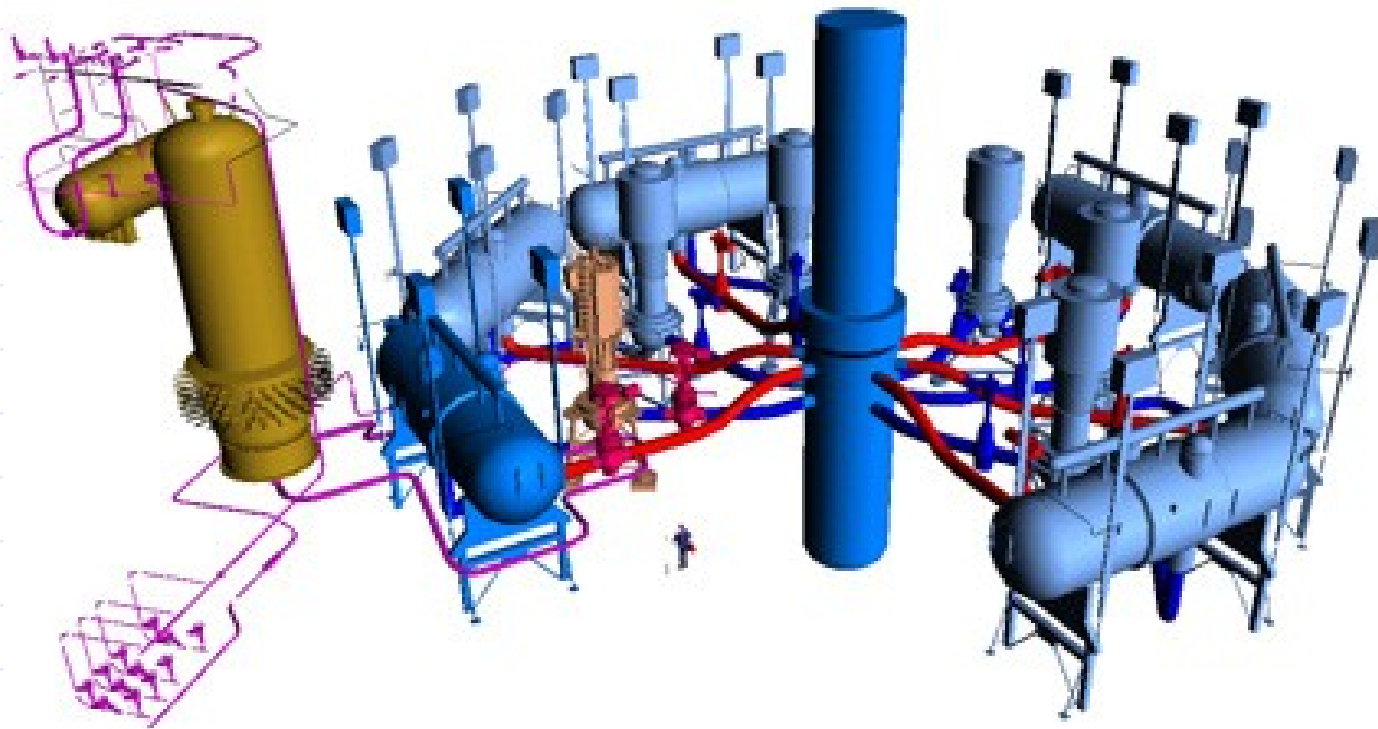
- 1 - perforovaný kužel
- 2 - šestihranný plášť
- 3 - absorpční vložka z bórové oceli
- 4 - spojka
- 5 - palivový článek
- 6 - usměrňovací trubka

Obr. 2.3

Regulační článek reaktoru VVER-440  
absorpční /horní/ část

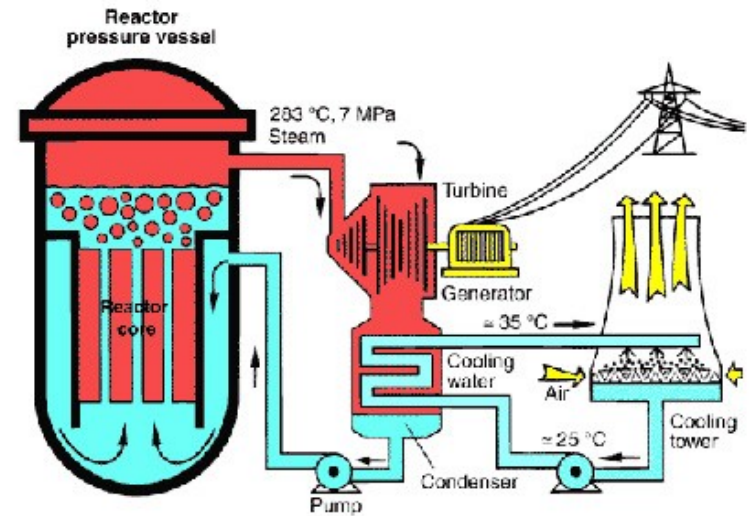


# Primární okruh VVER-440





# BWR

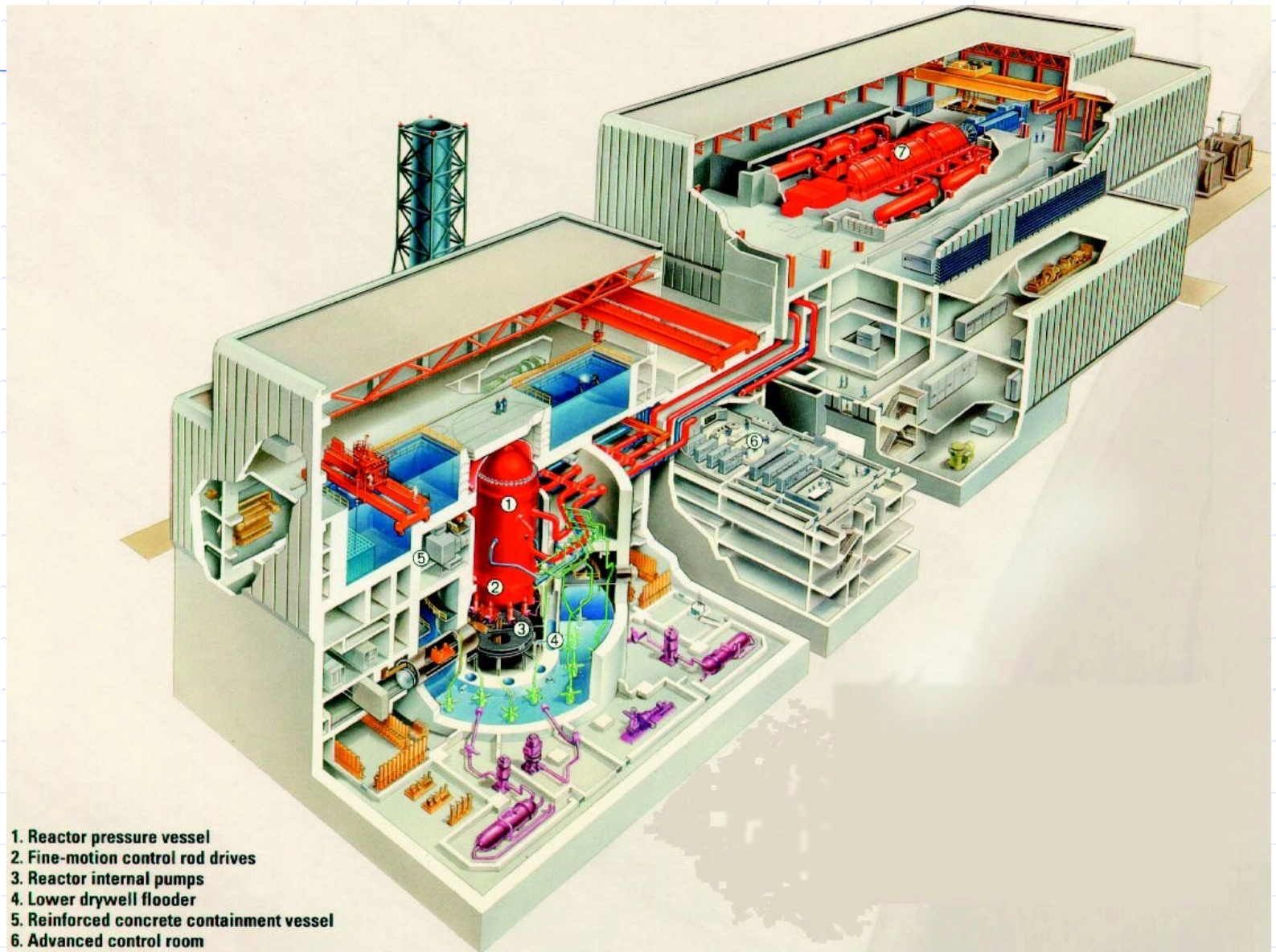


- ◆ 1 okruhové uspořádání
- ◆ Nižší tlak a teplota v primárním okruhu (do 7,5MPa)
- ◆ Jednodušší konstrukce, menší počet komponent
- ◆ Společný režim úpravy vody pro reaktor a turbínu
- ◆ Výborné dlouhodobé provozní zkušenosti
- ◆ Velký záporný teplotní koeficient reaktivity, vysoká stabilita reaktoru a bezpečnost
- ◆ Nižší požadavky na štěpný materiál než PWR (oboh. do 2,6%)

# BWR

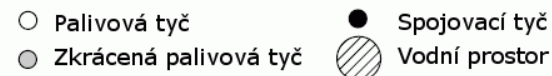
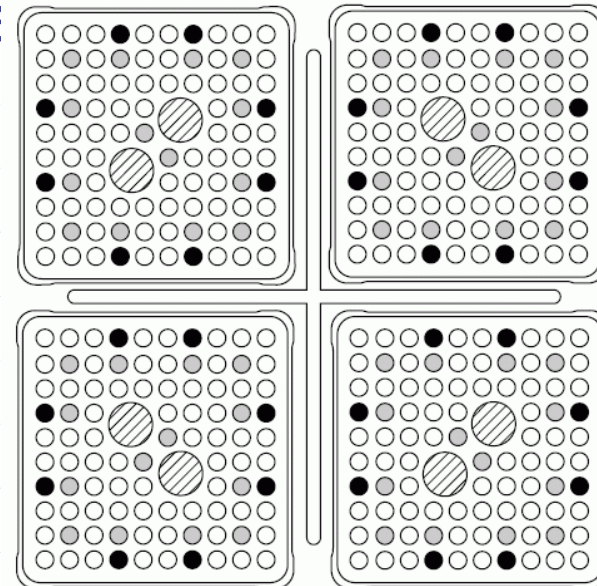
- ◆ Mírně odlišná AZ a nádoba reaktoru od PWR, viz dále
- ◆ Nízká účinnost termodynamického cyklu (kolem 30 až 34 %), daná nízkými parametry páry - turbína pracuje se sytou párou
- ◆ Kampaňová výměna paliva
- ◆ Možné přenášení radioaktivity do turbíny, kontrolované pásmo zahrnuje strojovnu apod.

# BWR

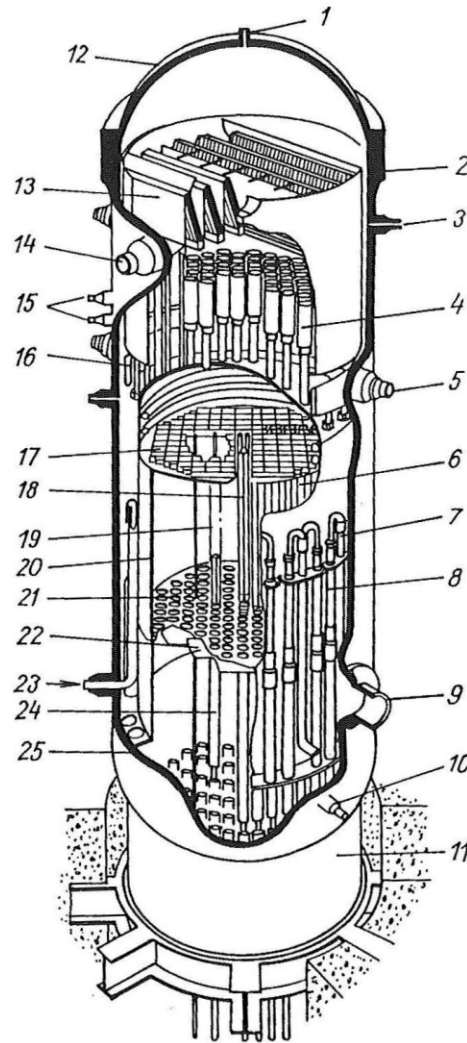


# BWR - AZ

- ◆ Rozměrná AZ se čtvercovou mříží
- ◆ Palivový soubor obvykle 8x8, vodní díry
- ◆ Řídící tyče křížové mezi palivovými soubory, zespoda
- ◆ Větší průměr palivové tyče

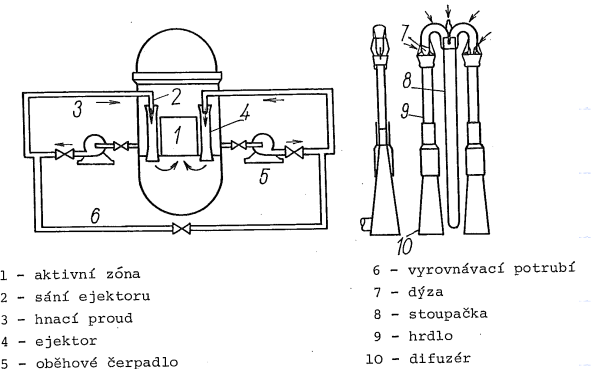


# Reaktor



- 1 - odvědušňovací otvor
- 2 - příruba reaktorové nádoby
- 3 - měření tlaku páry
- 4 - parní separátor
- 5 - přívod vody
- 6 - palivový článek
- 7 - přívod vody do ejektoru
- 8 - ejektor
- 9 - odvod recirkulující vody
- 10 - měření tlaku
- 11 - podstavec reaktorové nádoby
- 12 - víko
- 13 - sušič páry
- 14 - odvod systé páry
- 15 - měření hladiny vody
- 16 - rozdělovač napájecí vody
- 17 - horní mříž
- 18 - regulační tyč
- 19 - kompenzační absorbátory
- 20 - plášť AZ
- 21 - rozdělovací deska
- 22 - spodní nosná mříž
- 23 - přívod recirkulující vody
- 24 - vodící trubka regulační tyče
- 25 - reaktorová nádoba

- ◆ Řídící a havarijní tyče zespoda
- ◆ Separátory vlhkosti
- ◆ Řízení recirkulací



# BWR – budoucnost

- ◆ Převládá výstavba reaktorů výkonové třídy do 1300MW<sub>e</sub>
- ◆ Vývoj nových vylepšených typů s vyšší bezpečností, delší životností a lepší ekonomikou
- ◆ **ABWR:** Pokročilý varný reaktor (Advanced Boiling Water Reactor):
  - Výkon kolem 1 350 MW<sub>e</sub>
  - Design reaktoru vytvořen v rámci kooperace firem GE, Hitachi, Toshiba, AMN a ABB Atom, více typů
  - Detailně navržen a licencován před samotným zahájením první stavby
  - Kratší doby výstavby prvních jednotek (Kashiwazaki Kariwa)
  - Nižší měrné investiční náklady
  - Zlepšení v oblastech bezpečnosti, ekonomičnosti provozu a trvale udržitelného rozvoje



# CANDU, PHWR

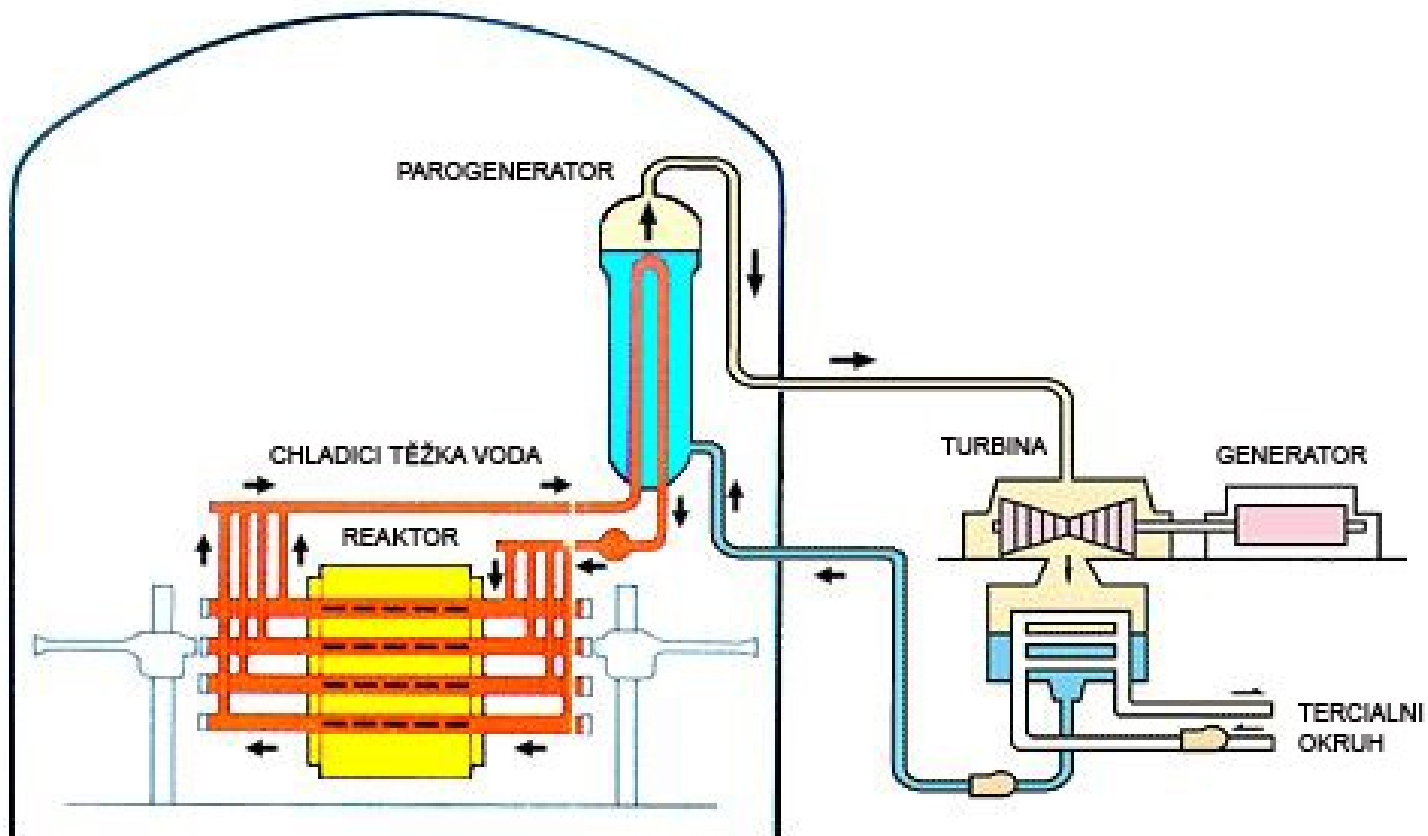
- ◆ Tlakovodní reaktor s těžkou vodou (Pressurized Heavy Water Reactor), CANada Deuterium Uranium
- ◆ 3. nejrozšířenější typ
- ◆ Cca 10% z celkového výkonu
- ◆ 44 jednotek, 22391MW<sub>e</sub>



Countries with CANDU reactors

# CANDU, PHWR

- ◆ 2 okruhové uspořádání:

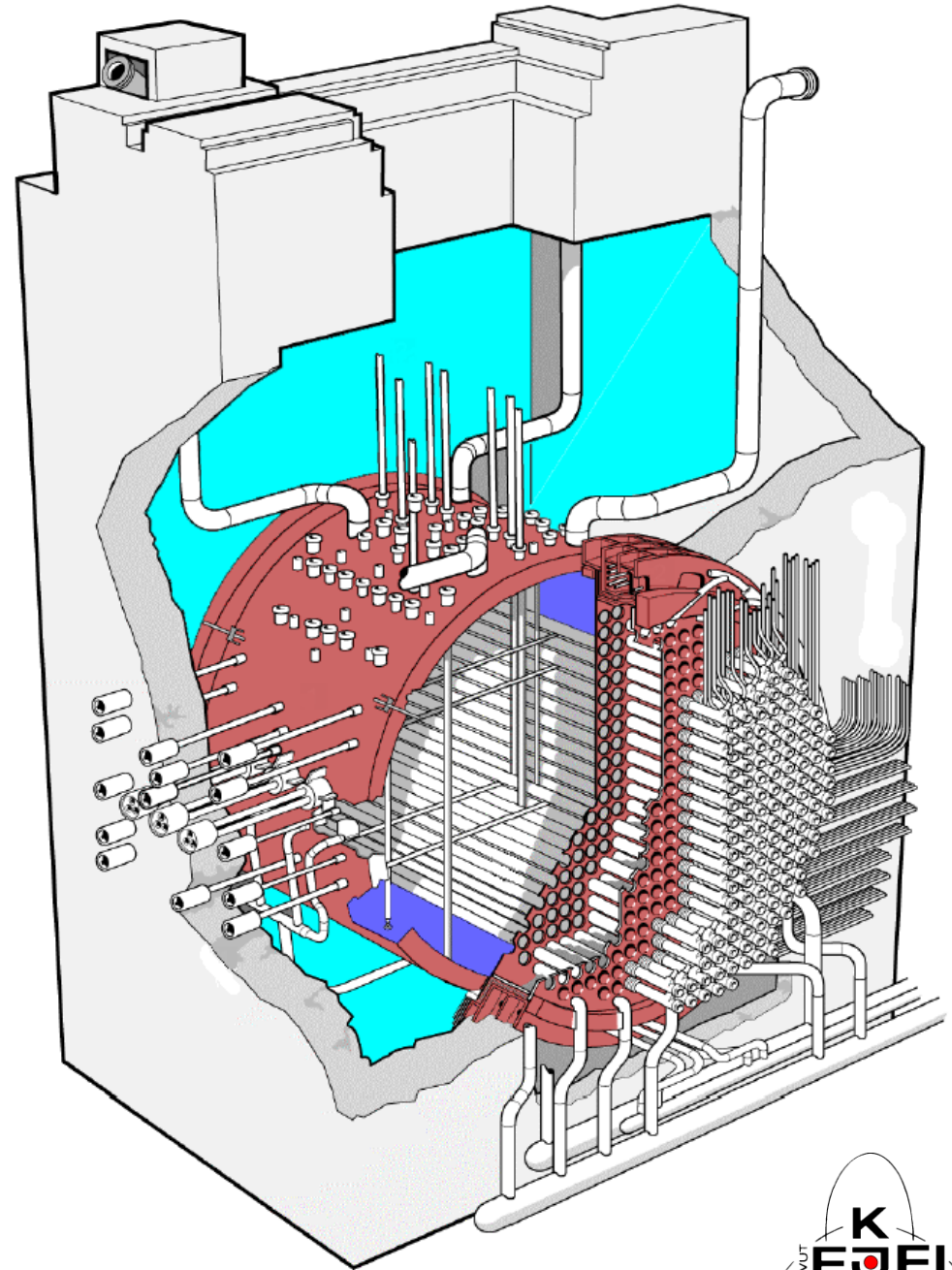


# CANDU, PHWR

- ◆ Dvou okruhový
- ◆ Použití přírodního uranu
- ◆ Velmi dobrá neutronová bilance, relativně vysoký konverzní poměr a malá spotřeba paliva
- ◆ Použití tlakových kanálů místo reaktorové nádoby
- ◆ Kontinuální výměna paliva
- ◆ Možnost adaptace systému na různé palivové cykly
- ◆ Více způsobů řízení reaktivity
- ◆ Použití drahé  $D_2O$
- ◆ Kladný teplotní resp. dutinový koeficient reaktivity chladiva v palivových kanálech
- ◆ Nižší účinnost termodynamického cyklu i celé elektrárny

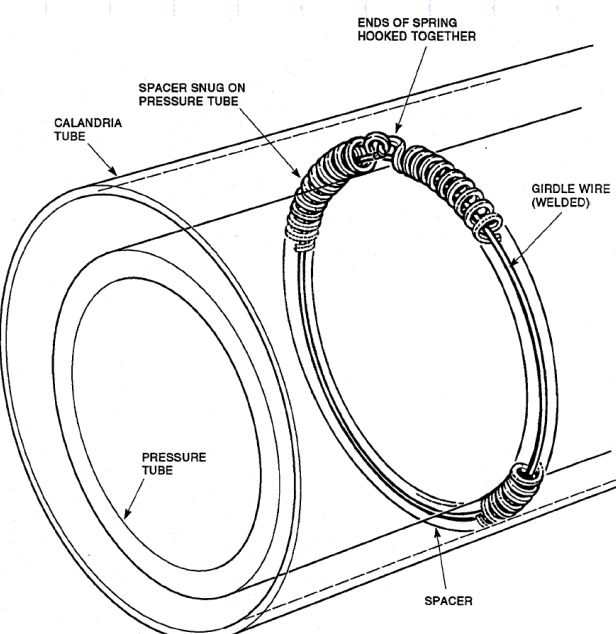
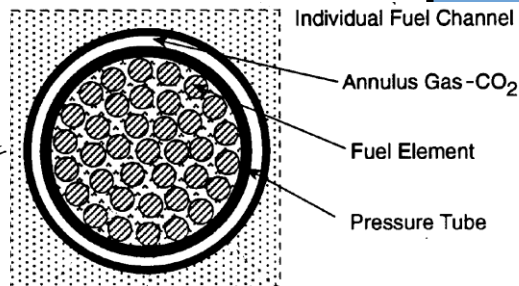
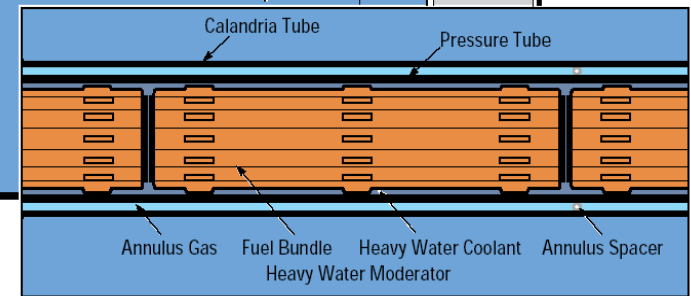
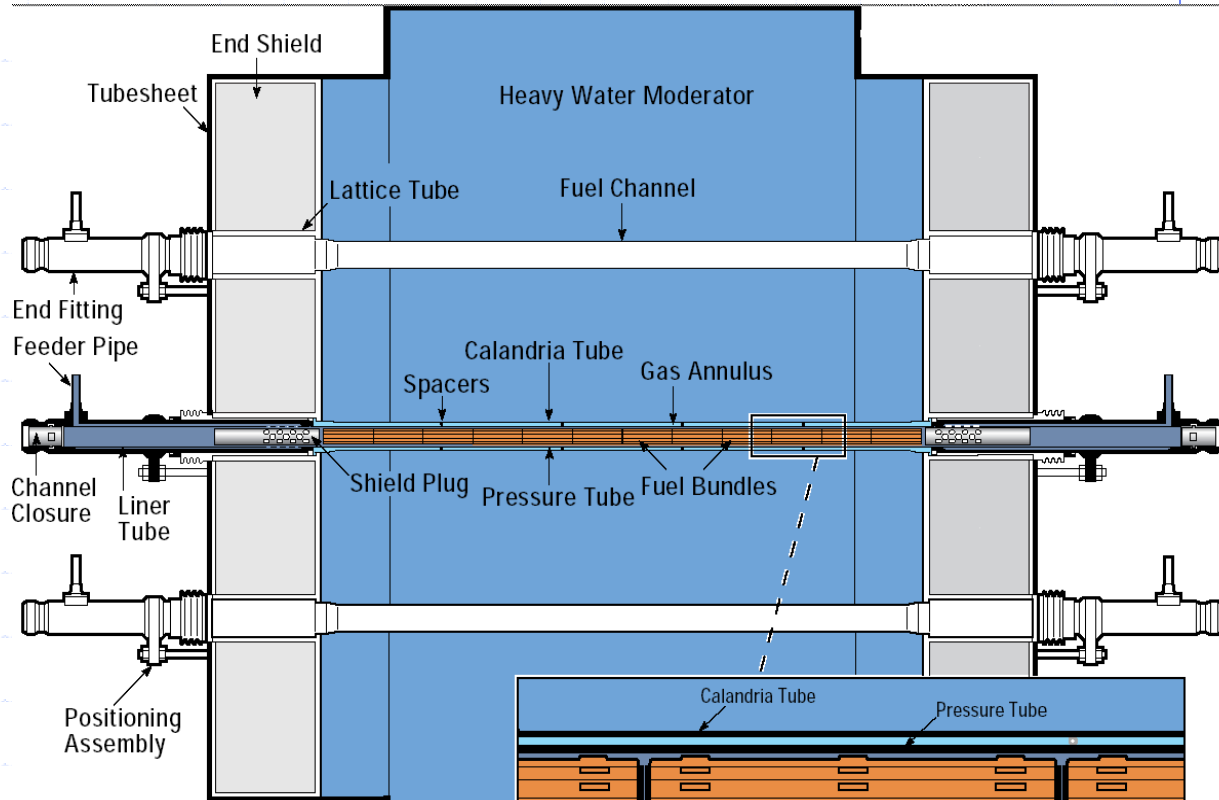
# Reaktor

- ◆ Calandria
- ◆ Horizontální válec s tlakovými kanály = kontinuální výměna paliva za provozu



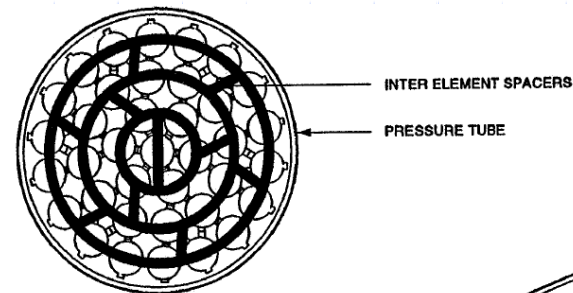
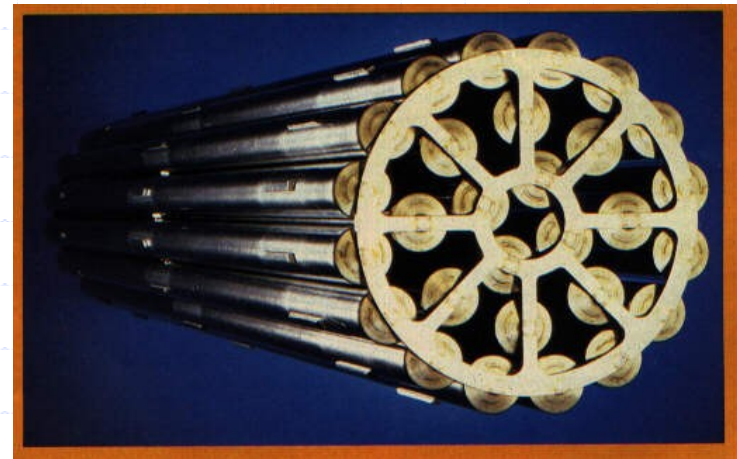
# Kanály paliva

- ◆ tlakové kanály:
- ◆  $\varnothing$  103mm
- ◆ tloušťka 4,01mm
- ◆ Zr-2,5%Nb
- ◆ rozteč: 285,5mm

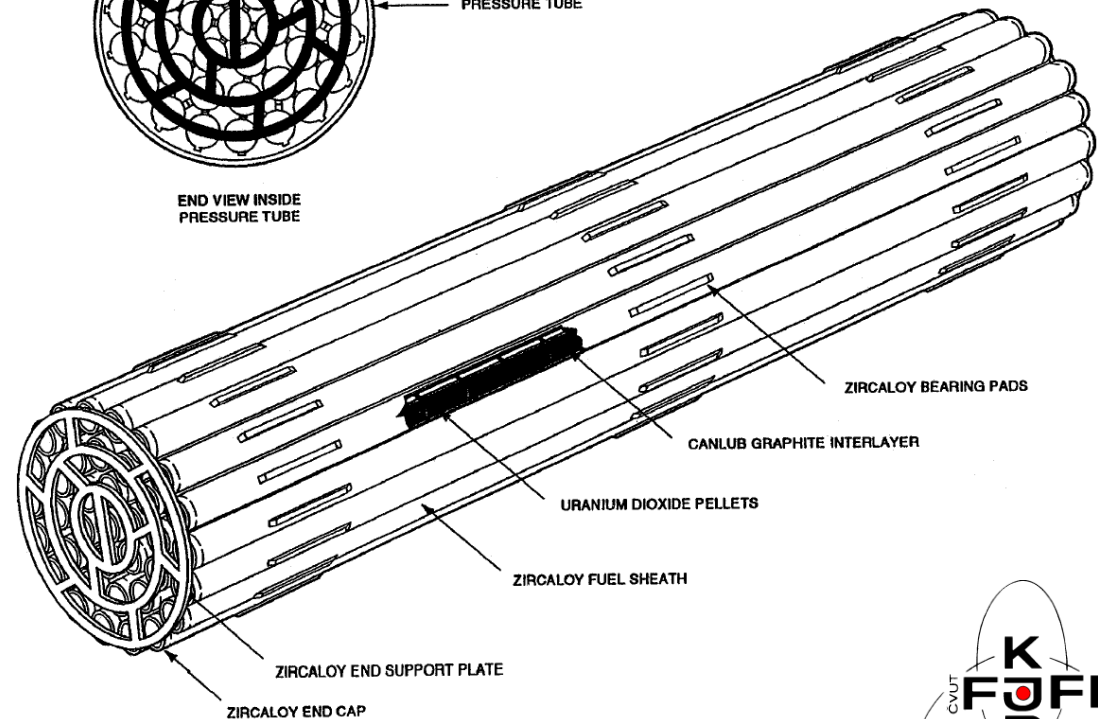


# Palivový soubor

- ◆ 37 palivových článků
- ◆ Vnější Ø 102,4mm
- ◆ Délka 495,3mm
- ◆ Hmotnost 24kg  
(uranu cca 21,5kg)
- ◆ Materiál: Zircaloy-4



END VIEW INSIDE  
PRESSURE TUBE



# Charakteristické parametry JE

<b>Jaderná elektrárna</b>	<b>Pickering - 1</b>	<b>Bruce - 5</b>	<b>Darlington</b>
hrubý elektrický [MWe]	542	865	935
čistý elektrický [MWe]	515	837	881
tepelný [MW]	1744	2852	2 798
Účinnost jaderné elektrárny (čistá) [%]	28,7	29,3	31,4
průměr AZ [m]	6,37	7,06	7,06
délka AZ [m]	5,94	5,94	5,94
palivová vsázka [t]	92,9	117	117
počet palivových kanálů	380	480	600
průměr x výška palivové tablety [m]	14,8 x 23,3	11,3 x 15,3	12,2 x 17,0
průměrný výkon AZ [MW/m <sup>3</sup> ]	8,7	11,6	11,4
náplň těžké vody [t]	266	338	281
teplota moderátoru [°C]	max. 68	30	41
<b><i>Chladivo</i></b>			
tlak [MPa]	8,8	9,3	10,4
vstupní teplota [°C]	249	257	265
výstupní teplota [°C]	293	305	313
počet oběhových čerpadel	16	4	4
průtok [t/h]	2 300	9 300	10080
tlak páry na vstupu [MPa]	3,8	4,2	4,93
teplota na vstupu [°C]	248	254	263

# CANDU - vývoj

- ◆ Enhanced CANDU 6 – evoluční vývoj CANDU 6:
  - Zvýšený výkon 740 MWe
  - Plánovaná životnost 50let (vyměnitelné klíčové komponenty AZ)
  - Zvýšení bezpečnosti a ekonomiky
  - Lepší řídicí systém
- ◆ Advanced CANDU Reactor (ACR-1000) - evoluční vývoj (Gen.III+):
  - Vyšší objemový výkon (hustější mříž, vyšší výkon na kanál)
  - Vyšší parametry PO (13 MPa), lehká voda jako chladivo
  - Vyšší parametry SO (7 MPa), vyšší účinnost
  - Záporné koeficienty reaktivity, vyšší rovnoměrnost výkonu
  - Zvýšení využití paliva, snížení produkce VJP na 2/3
  - Snížení ztrát D2O
  - Nízkoobohacený U (okolo 2%)
  - Zvýšení životnosti na 60 let, doba mezi odstávkami 3 roky
  - Zvýšení bezpečnosti
- ◆ Těžkovodní nadkritický reaktor



# Plynem chlazené reaktory

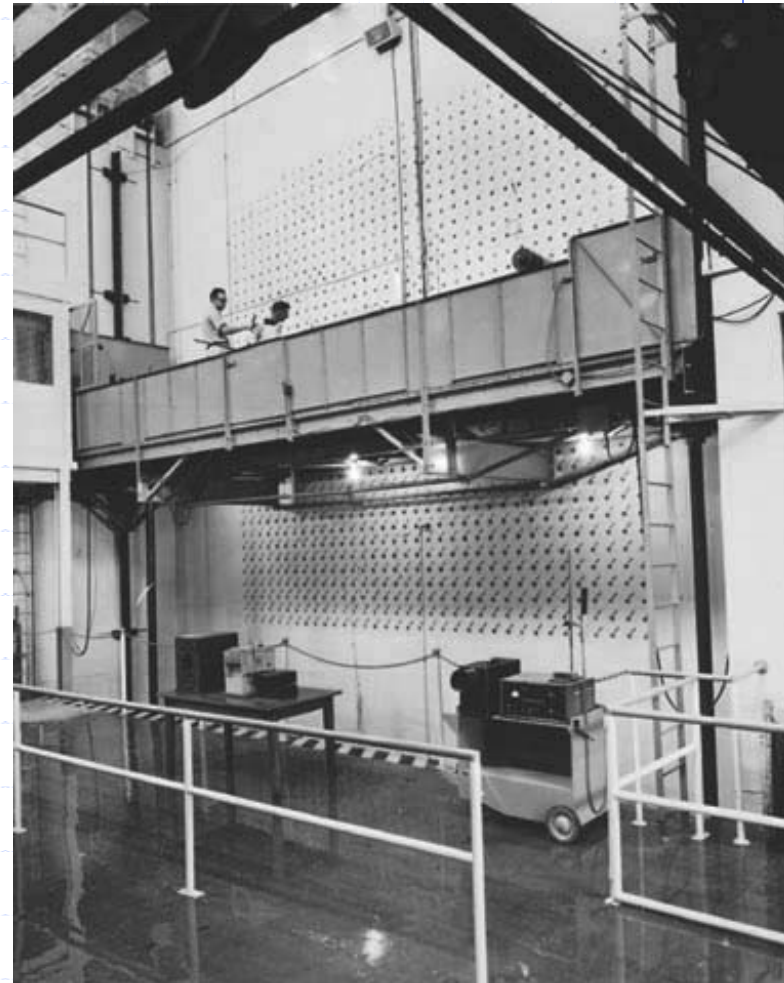


## ◆ Nejstarší reaktory – výroba Pu, chlazené vzduchem:

- CP – 1 = Chicago Pile No.1, 2.12. 1942, výkon 0,5 W
- X-10, 4.11. 1943 výkon 500kW, od května 1944 výkon 1800kW
- 24.12. 1946 - F-1 SSSR
- 1950 - Windscale, VB
- 1956 - Marcoule-1, Francie

## ◆ Energetické

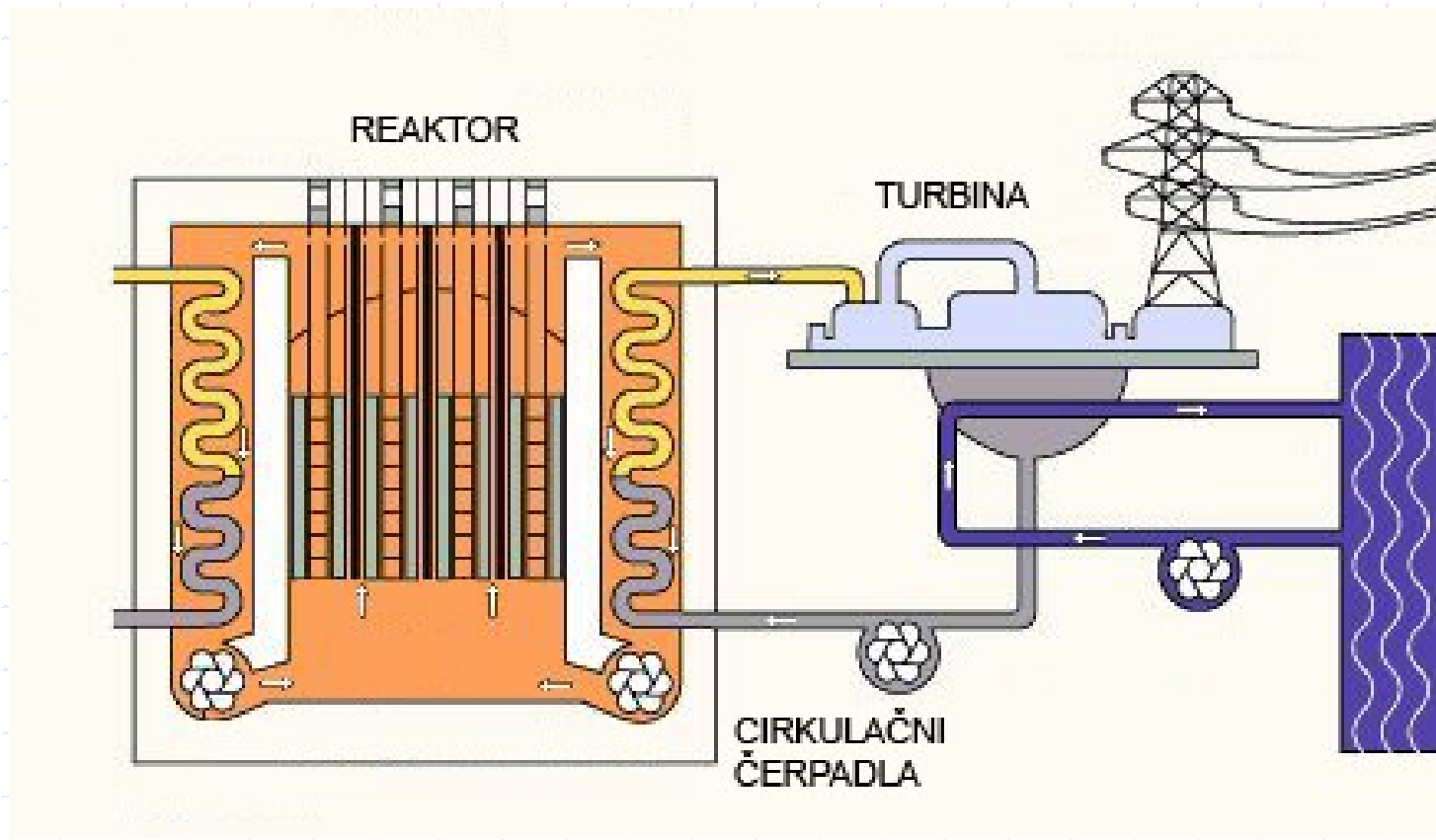
- 1956 - Calder Hall, (Magnox 50 MWe)
- Dnes 4,1%, 18 jednotek, celkem 9034MWe



# GCR - charakteristiky

- ◆ Nenáročné na palivo:
  - MAGNOX – přírodní U
  - AGR – mírně obohacený
  - VHTR – vysoce obohacený
- ◆ Velmi dobrá neutronová bilance, vysoký konverzní poměr a malá spotřeba paliva
- ◆ Výměna paliva za provozu (většinou)
- ◆ Snadná konstrukce, dostupné materiály
- ◆ Nízký objemový tepelný výkon
- ◆ Vysoká bezpečnost
- ◆ Modulární stavba
- ◆ Velké rozměry AZ a reaktoru
- ◆ Nižší účinnost termodynamického cyklu i celé elektrárny (vyjma VHTR)

# Plynem chlazené reaktory



# MAGNOX, AGR



Reaktory	Typ	Čistý výkon MWe	Počátek Provozu	Očekávané odstavení
Oldbury 1 & 2	Magnox	217	1968	Dec 2010**
Wylfa 1 & 2	Magnox	490	1971-72	Dec 2010**
Dungeness B 1 & 2	AGR	545	1985-86	2018
Hartlepool 1 & 2	AGR	595	1984-85	2014
Heysham 1 & 2	AGR	615	1985-86	2014
Heysham 3 & 4	AGR	615	1988-89	2023
Hinkley Point B 1&2	AGR	620&600*	1976-78	2016
Hunterston B 1&2	AGR	610&605*	1976-77	2016
Torness 1&2	AGR	625	1988-89	2023

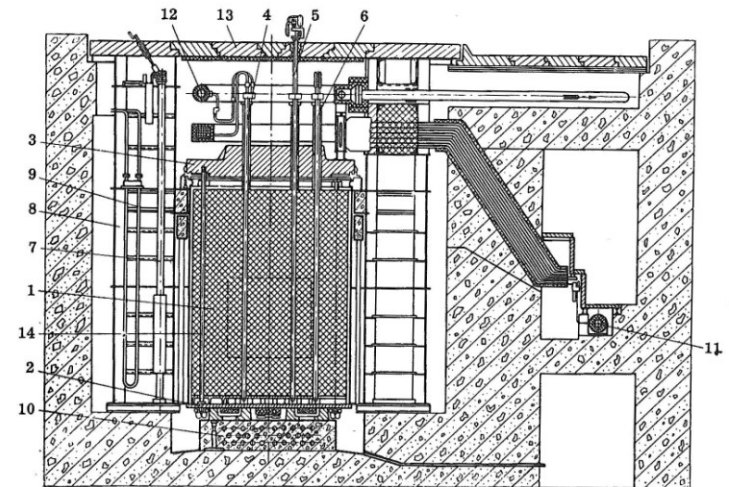
# Plynem chlazené reaktory - vývoj

- ◆ MAGNOX, AGR – vývoj uzavřen
- ◆ HTGR – perspektivní, vyvíjen v rámci Gen IV., zejména kuličková AZ

# RBMK, LWGR

## ◆ 1. energetický reaktor na světě: JE v Obninsku

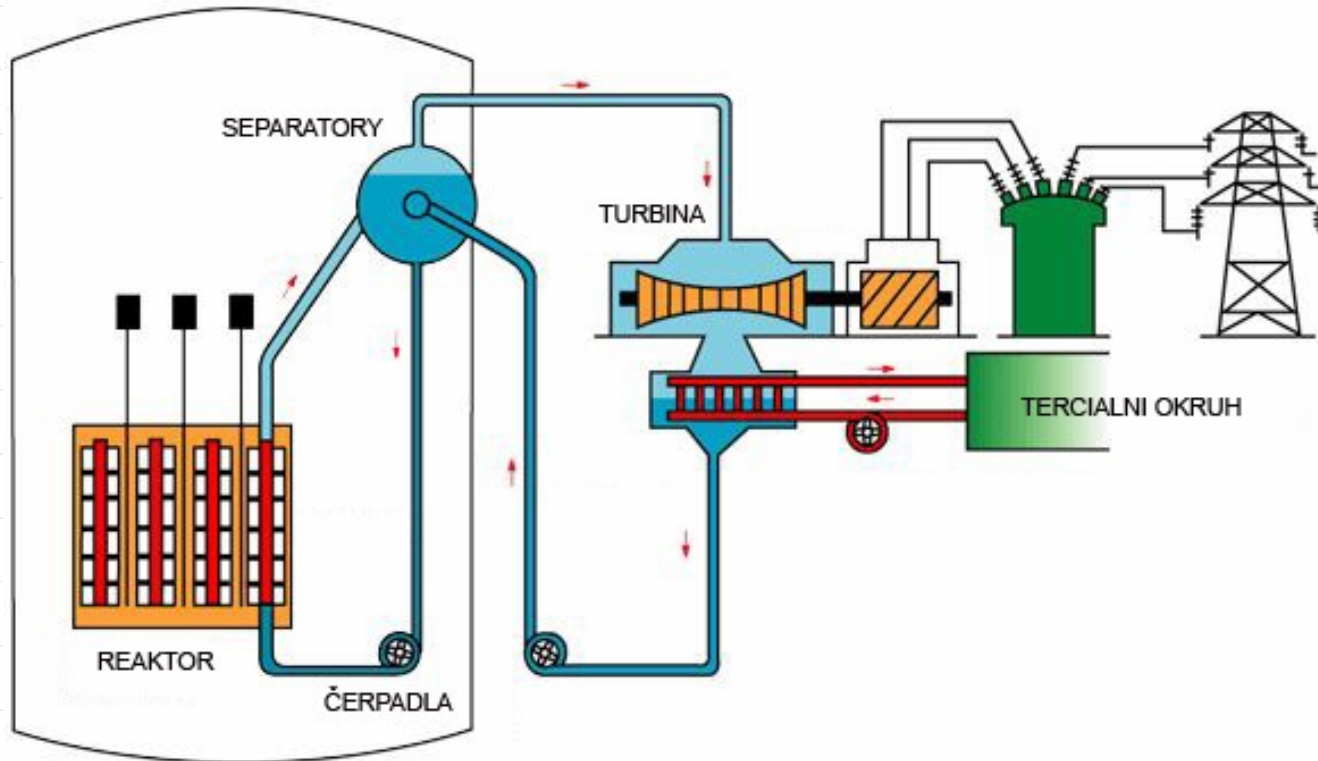
- Reaktor AM-1 (Атом Мирный), el. výkon cca 5MW, tepelný 30 MW
- Zahájení stavby 1951, kritický 1.6., 1954, 26.6. 1954 připojení do sítě 1954. Ukončení provozu 29.4. 2002



- |                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| 1 - aktivní zóna           | 8 - stínění               |
| 2 - nosná deska            | 9,10 - chlazení           |
| 3 - horní deska            | 11 - rozdělovací kolektor |
| 4 - palivový kanál         | 12 - sběrný kolektor      |
| 5 - kanál havarijní tyče   | 13 - horní stínění        |
| 6 - kanál regulační tyče   | 14 - chlazení reflektoru  |
| 7 - kanál ionizační komory |                           |

# RBMK, LWGR

◆ Jednookruhové schéma:

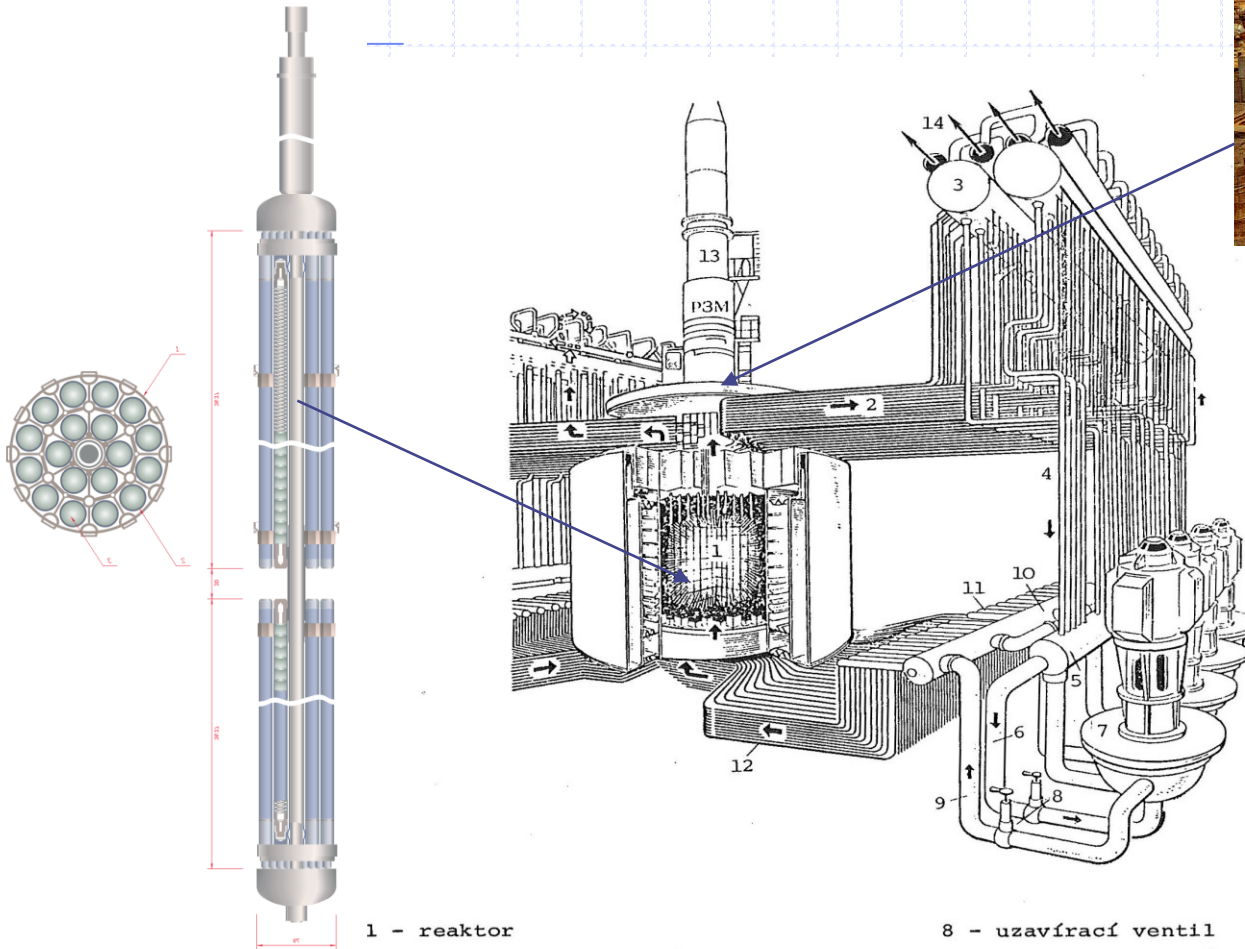
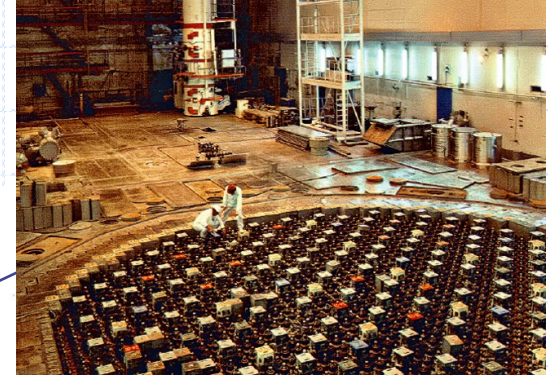


# RBMK, LWGR - charakteristiky

- ◆ Středně náročné na palivo
- ◆ Dobrá neutronová bilance, vysoký konverzní poměr
- ◆ Výměna paliva za provozu
- ◆ Snadné zvýšení výkonu přidáním kanálů
- ◆ Nízký objemový tepelný výkon
- ◆ Možnost přehřívání páry v AZ
- ◆ Velké rozměry AZ a reaktoru
- ◆ Konstrukční složitost
- ◆ Nevhodné dynamické vlastnosti
- ◆ Ze začátku konstrukční chyby
- ◆ Vývoj ukončen



# RBMK, LWGR

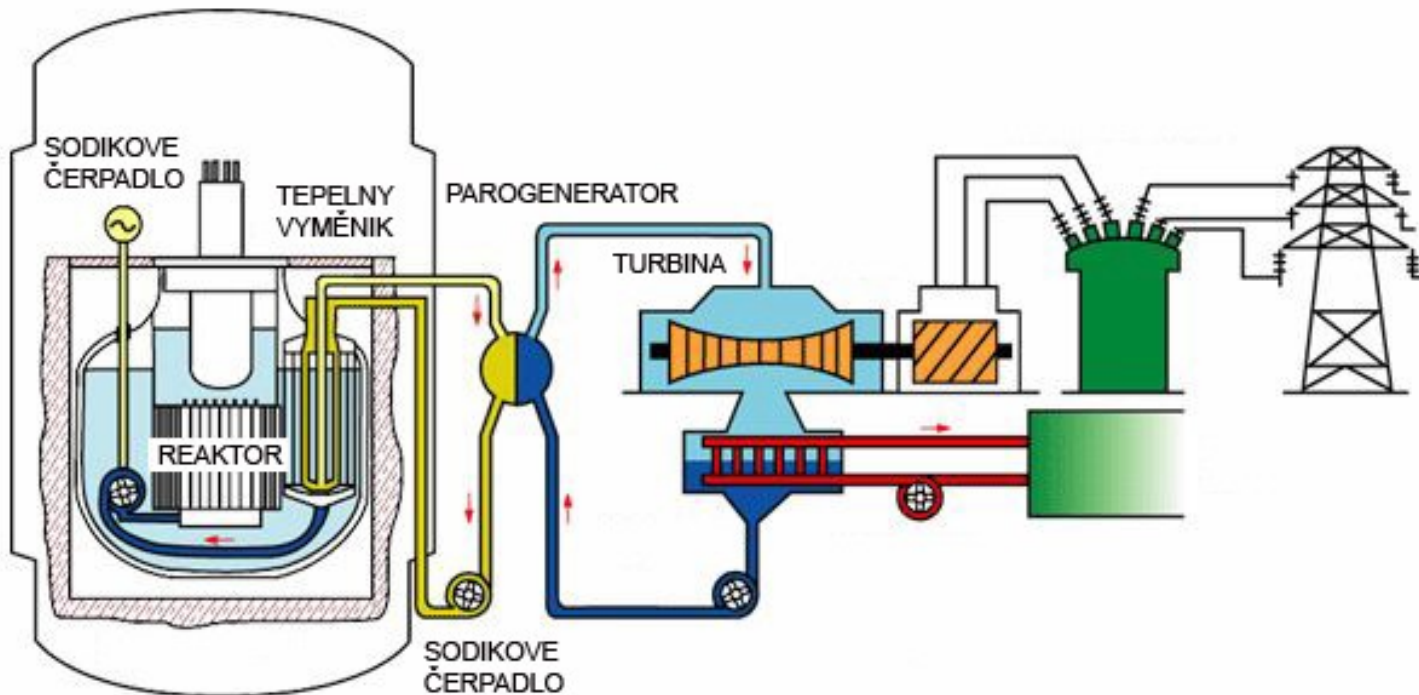


- 1 - reaktor
- 2 - odvod parovodní směsi
- 3 - bubnový separátor páry
- 4 - vratné potrubí
- 5 - sací kolektor, HOČ
- 6 - sací potrubí HOČ
- 7 - HOČ

- 8 - uzavírací ventil
- 9 - výtlačné potrubí HOČ
- 10 - výtlačný kolektor HOČ
- 11 - rozdělovací skupinové kolektory
- 12 - přívod chladiva do jednotlivých kanálů
- 13 - plnicí stroj
- 14 - parovod

# Rychlé reaktory - FBR

Tříokruhové uspořádání (vložený sodíkový meziokruh)



# Rychlé reaktory - FBR

- ◆ Středně nebo vysoce obohacené palivo z uranu či plutonia
- ◆ Vysoký koeficient reprodukce paliva
- ◆ Použití materiálů s nízkou moderační schopností, široký výběr konstrukčních materiálů
- ◆ Kompaktní aktivní zóna bez moderátoru
- ◆ Vysoké měrné zatížení aktivní zóny
- ◆ Použití sodíku jako chladiva primárního okruhu
- ◆ Krátká průměrná doba života okamžitých neutronů
- ◆ Vysoký obsah štěpného materiálu v aktivní zóně, převyšující několikanásobně kritickou hmotnost
- ◆ Dobrá účinnost tepelného cyklu (přes 40%)
- ◆ Dosažení hlubokého vyhoření paliva
- ◆ Kampaňový způsob výměny paliva

# Rychlé reaktory - bezpečnost

- ◆ Pozitivní vlastnosti rychlých reaktorů z hlediska bezpečnosti
  - není potřeba používat vysokého tlaku, provozní teplota sodíku je hluboko pod bodem varu
  - velká tepelná kapacita sodíku
  - výborné teplosměnné vlastnosti roztaveného sodíku
  - vyloučení obnažení aktivní zóny, dvojitá nádoba
- ◆ Negativní vlastnosti rychlých reaktorů
  - aktivní zóna obsahuje několikanásobek kritické hmoty
  - střední doba života okamžitých neutronů je velice krátká
  - dutinový koeficient reaktivity sodíku může být v určité oblasti aktivní zóny kladný
  - vysoký obsah plutonia v aktivní zóně
  - vysoký měrný výkon
  - roztavený sodík je vysoce reaktivní se vzduchem i s vodou a hrozí zvýšené nebezpečí požáru
  - v případě havárie vytváří sodík aerosoly umožňující šíření radioaktivních produktů štěpení

# Reaktory IV. generace

Český název	Anglický název	Zkratka
Reaktor chlazený roztavenou solí	Molten Salt Reaktor System	MSR
Plynem chlazený rychlý reaktor	Gas-Cooled Fast Reator System	GFR
Olovem chlazený rychlý reaktor	Lead-Cooled Fast Reacotr System	LFR
Sodíkem chlazený rychlý reaktor	Sodium-Cooled Fast Reaktor System	SFR
Reaktor chlazený vodou o nadkritických parametrech	Supercritical-Water-Cooled Reaktor System	SCWR
Vysokoteplotní reaktor	Very-High-Temperature Reaktor System	VHTR

# Jaderné elektrárny ve světě – 1.10.09

	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION 2008		REACTORS OPERABLE 1 Oct 2009		REACTORS UNDER CONSTRUCTION 1 Oct 2009		REACTORS PLANNED Oct 2009		REACTORS PROPOSED Oct 2009		URANIUM REQUIRED 2009
	billion kWh	% e	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	tonnes U
<b>Argentina</b>	6.8	6.2	2	935	1	692	1	740	1	740	122
<b>Armenia</b>	2.3	39.4	1	376	0	0	0	0	1	1000	51
<b>Bangladesh</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2000	0
<b>Belarus</b>	0	0	0	0	0	0	2	2000	2	2000	0
<b>Belgium</b>	43.4	53.8	7	5728	0	0	0	0	0	0	1002
<b>Brazil</b>	14.0	3.1	2	1901	0	0	1	1245	4	4000	308
<b>Bulgaria</b>	14.7	32.9	2	1906	0	0	2	1900	0	0	260
<b>Canada</b>	88.6	14.8	18	12652	2	1500	4	4400	3	3800	1670
<b>China</b>	65.3	2.2	11	8587	17	17540	34	36380	90	79000	2010
<b>Czech Republic</b>	25.0	32.5	6	3686	0	0	0	0	2	3400	610
<b>Egypt</b>	0	0	0	0	0	0	1	1000	1	1000	0
<b>Finland</b>	22.0	29.7	4	2696	1	1600	0	0	1	1000	446
<b>France</b>	418.3	76.2	59	63473	1	1630	1	1630	1	1630	10569
<b>Germany</b>	140.9	28.3	17	20339	0	0	0	0	0	0	3398
<b>Hungary</b>	14.0	37.2	4	1826	0	0	0	0	2	2000	274
<b>India</b>	13.2	2.0	17	3779	6	2976	23	21500	15	20000	961

# Jaderné elektrárny ve světě – 1.10.09

	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION 2008		REACTORS OPERABLE 1 Oct 2009		REACTORS UNDER CONSTRUCTION 1 Oct 2009		REACTORS PLANNED Oct 2009		REACTORS PROPOSED Oct 2009		URANIUM REQUIRED 2009
	billion kWh	% e	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	tonnes U
<b>Indonesia</b>	0	0	0	0	0	0	2	2000	4	4000	0
<b>Iran</b>	0	0	0	0	1	915	2	1900	1	300	143
<b>Israel</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200	0
<b>Italy</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	10	17000	0
<b>Japan</b>	240.5	24.9	53	46236	2	2285	13	17915	1	1300	8388
<b>Kazakhstan</b>	0	0	0	0	0	0	2	600	2	600	0
<b>Korea DPR (North)</b>	0	0	0	0	0	0	1	950	0	0	0
<b>Korea RO (South)</b>	144.3	35.6	20	17716	6	6700	6	8190	0	0	3444
<b>Lithuania</b>	9.1	72.9	1	1185	0	0	0	0	2	3400	0
<b>Mexico</b>	9.4	4.0	2	1310	0	0	0	0	2	2000	242
<b>Netherlands</b>	3.9	3.8	1	485	0	0	0	0	0	0	97
<b>Pakistan</b>	1.7	1.9	2	400	1	300	2	600	2	2000	65
<b>Poland</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10000	0
<b>Romania</b>	7.1	17.5	2	1310	0	0	2	1310	1	655	174
<b>Russia</b>	152.1	16.9	31	21743	9	7130	7	8000	37	36680	3537
<b>Slovakia</b>	15.5	56.4	4	1760	2	840	0	0	1	1200	251

# Jaderné elektrárny ve světě – 1.10.09

	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION 2008		REACTORS OPERABLE 1 Oct 2009		REACTORS UNDER CONSTRUCTION 1 Oct 2009		REACTORS PLANNED Oct 2009		REACTORS PROPOSED Oct 2009		URANIUM REQUIRED 2009
	billion kWh	% e	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	tonnes U
<b>Slovenia</b>	6.0	41.7	1	696	0	0	0	0	1	1000	137
<b>South Africa</b>	12.7	5.3	2	1842	0	0	3	3565	24	4000	303
<b>Spain</b>	56.4	18.3	8	7448	0	0	0	0	0	0	1383
<b>Sweden</b>	61.3	42.0	10	9399	0	0	0	0	0	0	1395
<b>Switzerland</b>	26.3	39.2	5	3237	0	0	0	0	3	4000	531
<b>Thailand</b>	0	0	0	0	0	0	2	2000	4	4000	0
<b>Turkey</b>	0	0	0	0	0	0	2	2400	1	1200	0
<b>Ukraine</b>	84.3	47.4	15	13168	0	0	2	1900	20	27000	1977
<b>UAE</b>	0	0	0	0	0	0	3	4500	11	15500	0
<b>United Kingdom</b>	52.5	13.5	19	11035	0	0	4	6400	4	6000	2059
<b>USA</b>	809.0	19.7	104	101119	1	1180	11	13800	19	25000	18867
<b>Vietnam</b>	0	0	0	0	0	0	2	2000	8	8000	0
<b>WORLD**</b>	<b>2601</b>	<b>15</b>	<b>436</b>	<b>372,900</b>	<b>52</b>	<b>47,888</b>	<b>135</b>	<b>148,825</b>	<b>295</b>	<b>303,405</b>	<b>65,405</b>

<http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>

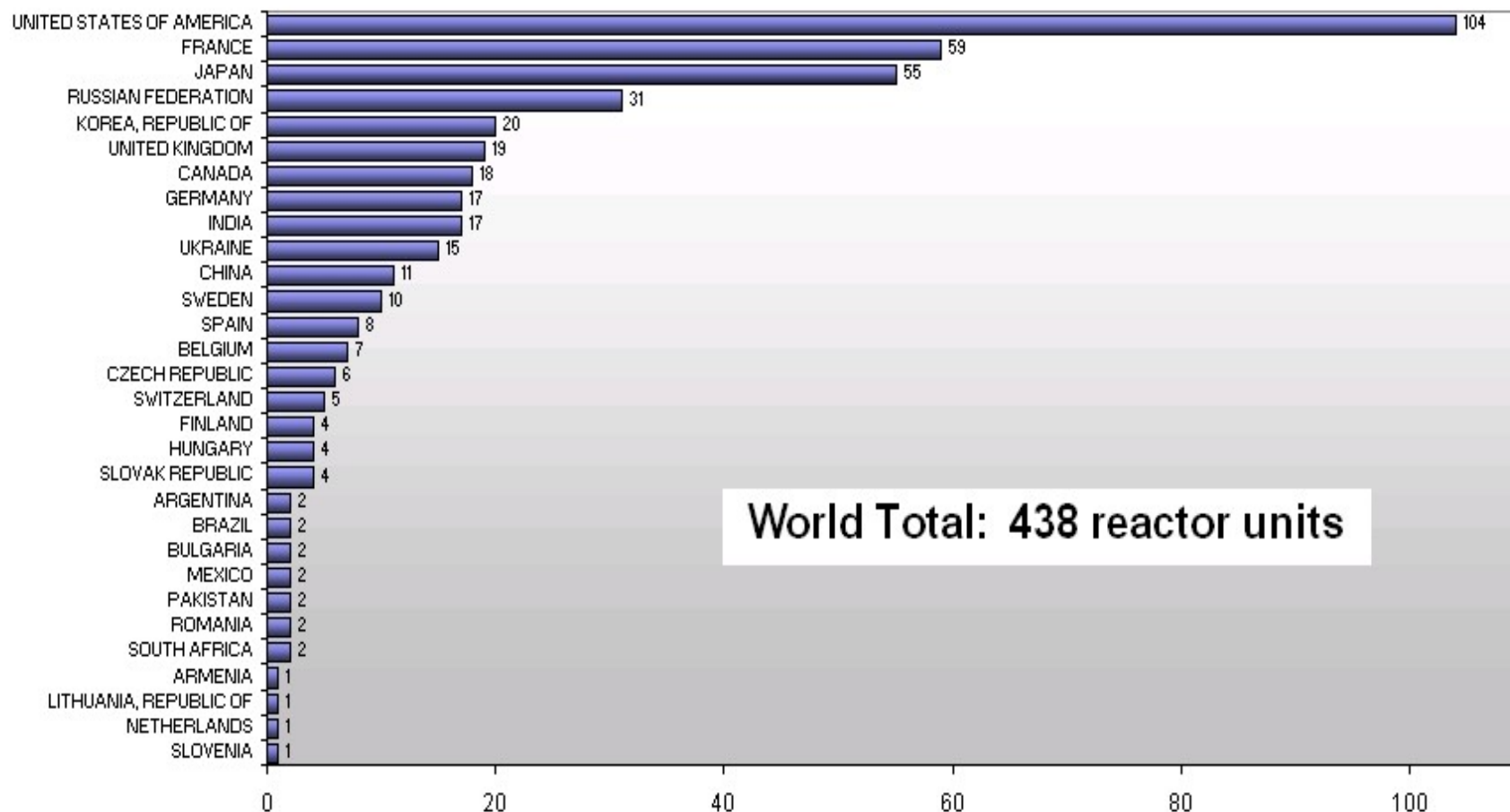


Plánovány – do 8mi let v provozu, navržený – do 15ti let v provozu



# Jaderné elektrárny ve světě

## Number of Reactors in Operation Worldwide



World Total: 438 reactor units

Note: Long-term shutdown units (5) are not counted

# JE v České republice

## Parametry jaderných reaktorů

	JE Dukovany	JE Temelín
typ reaktoru	VVER 440	VVER 1000
tepelný výkon	1375 MW	3000 MW
průměr tlak. nádoby	3,56 m	4,5 m
výška tlak. 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

JE Dukovany



JE Temelín



# Dostavba ETE

- ◆ 2 bloky v Temelíně + opce na další tři v Evropě bez lokalizace:
  - česko-ruské konsorcium Škoda JS, Atomstrojexport a Hidropress (projekt MIR-1200, Modernized International Reactor)
  - americký Westinghouse (AP1000)
  - francouzská AREVA (EPR™, 1650 MWe)
- ◆ Vítěz bude vyhlášen koncem příštího nebo začátkem přespříštího roku.
- ◆ Oba temelínské bloky budou mít výkon tisíc až 1700 MWe každý