

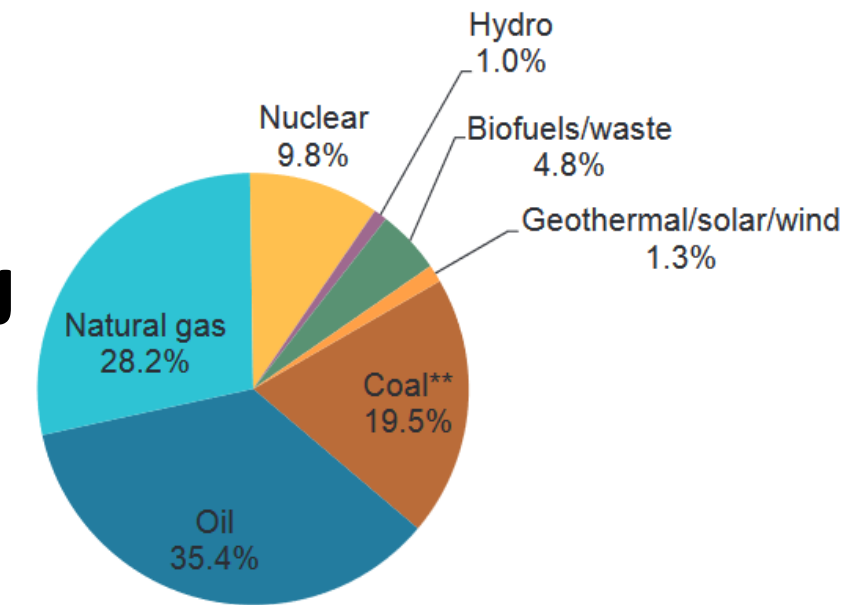
Významné a zajímavé jaderné programy ve světě 1 Spojené státy a Rusko

Miloš Tichý

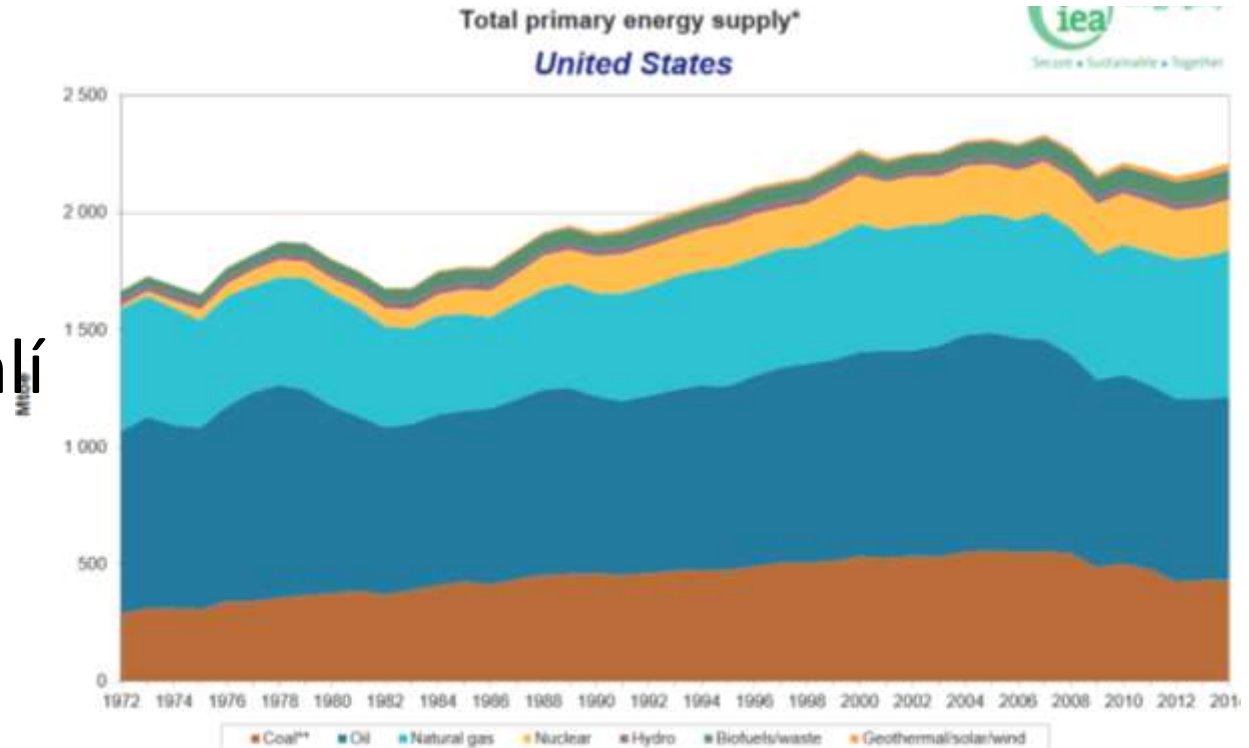
milos.tichy@fjfi.cvut.cz

PEZ: USA

- 2. největší energetika **91,7 EJ**
- Stále převažující vliv ropodovází cca 30% spotřeby
- Čistý exportér zemního plynu (břidličný plyn)
- čistý exportér uhlí



Total primary energy supply*
United States



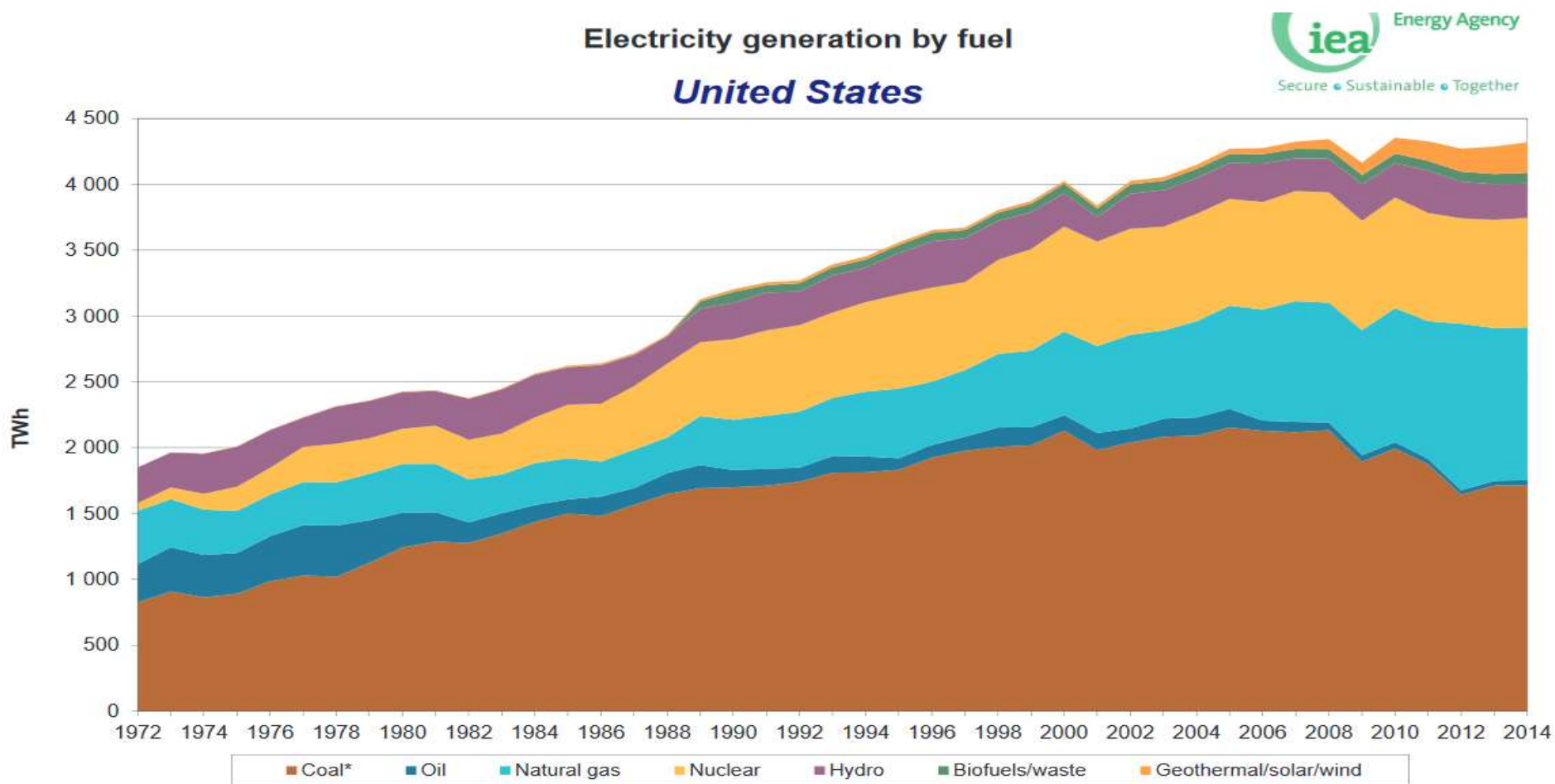
* Excluding electricity trade.

** In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

For more detailed data, please consult our on-line data service at <http://data.iea.org>.

USA výroba elektřiny

- Převažující plyn (34%), a stále uhlí 29% plyn, 19% jádro a 6% vodní
- Nárůst zemního plynu v posledních letech
- Ropa téměř vymizela



Spojené státy –jaderná energetika

- V roce 2012 celková výroba elektřiny cca z 4300TWh,
 - jaderná energetika 800TWh tj. cca 19%,
- Celkový instalovaný výkon jaderné energetiky cca 98MWe
- 94 energetických reaktorů v provozu, 2 ve výstavbě, 30 provozovatelů
- Více než 30% světové energie z jádra vyrobeno v USA
- Zásobování energií (legislativa, podpora) je v kompetenci jednotlivých států (nikoli federální)
- Velmi liberalizované prostředí



Jaderná energetika USA-periodizace

- Před 1945: Project Manhattan
 - Tajný vojenský vývoj jaderné bomby, energetické využití na okraji zájmu
 - Založeny „národní laboratoře“ které fungují dosud (Argonne, Oak Ridge, Savannah River, Hanford,...)
 - Realizovány obě cesty k vojenskému materiálu (obohacení U, výroba Pu)
- 1945-1958: experimentální začátky jaderné energetiky
 - Postupné oddělení vojenského a civilního programu
 - 1946 založení USAEC (atomová komise- státní podpora civilního programu)
 - Extenzivní rozvoj reaktorových typů (asi neexistuje rozumný typ reaktoru, který by nebyl vyzkoušen)
 - Řada vážných havárií na experimentálních zařízeních
 - 1957 začátek odporu proti „jádru“; použití civilních jaderných explozí(?)
 - 1958-spuštění Shippingport, první PWR „se vším všudy“
- 1958-1979: exponenciální rozvoj
 - Jaderná energetika je komerční odvětví; postupné opuštění přímé státní podpory (skryta ve vývoji)
 - Celkem 253 bloků objednáno, nakonec realizováno cca 130
 - Vysoké náklady: u 75 reaktorů zvýšení více než 2krát
 - 1974 oddělení podpory (USAEC, od 1977 DoE) a dozoru (USNRC)
 - 1979 havárie Three Mile Island 2

USA – začátky historie jaderné energetiky

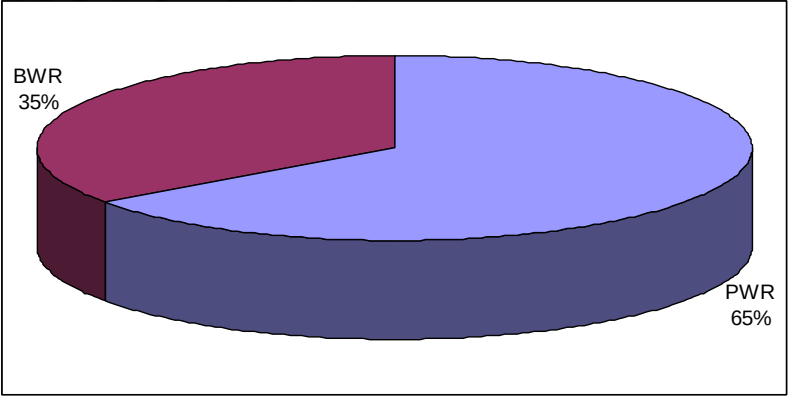
- EBR-1 (Experimental Breeder Reactor) první reaktor produkující elektřinu, Idaho, prosinec 1951, 200kWe
- 1957 – 1963: Vallecitos prototypový BWR, vývoj ANL
- 1960 – první zcela komerční BWR „Dresden 1“:
 - výkon 200MWe
 - konstrukce General Electric+ANL
 - provozovatel: Commonwealth Edison (CommEd)
- 1962 – první zcela komerční PWR „Yankee Rowe“
 - výkon 167MWe,
 - konstrukce Westinghouse
 - v provozu do roku 1992
 - provozovatel: Yankee Atomic Electric Co
- Prototypové elektrárny (příklady)
 - Hallam, 75MW (1963), grafitem moderovaný, sodíkem chlazený
 - EBR-II (test), 17MWe (1964) , FBR (integrální, Na), ANL
 - Enrico Fermi-1, 61MW, (1966), FBR (Na), částečné tavení paliva,



Jaderná energetika USA-periodizace (2)

- 1979 Havárie ThreeMile Island
- 1979-2009: růst produkce elektřiny ale žádné nové zakázky
 - Cca 120 zakázek stornováno
 - 1979-2007 nezačala stavba žádného reaktoru
 - Řada reaktorů odstavena z ekonomických důvodů (vysoké náklady na nezbytné opravy)
 - Několik reaktorů odstaveno na nátlak veřejnosti
 - 1991 maximální počet energetických reaktorů současně v provozu 112
 - Ztrojnásobení roční produkce elektřiny
- 2009-2012 krátká renaissance
 - 2007 restart stavby Watts Bar 2 (PWR, Westinghouse, 1180MWe) zastavené 1988 (spuštěno 2015)
 - 2009 USNRC dostala 26 žádostí o povolení (+7 očekávaných)
 - 2010 Nuclear Power Program (DOE): nabídka státní garance pro nové projekty-peníze nevyčerpány
 - 2011 Fukushima:
 - cca ¼ reaktorů v provozu v USA je GE Mark 1 (Fukushima 1)
 - Požadavek prověrky bezpečnosti všech (stress testy) => růst nákladů
 - 2012 NRC povolila Vogtle 3,4 a Summer 2,3 (Westinghouse AP1000)
 - Změna metodiky hodnocení NRC: povolení typové a kombinované (stavba+provoz)
 - Růst těžby břidličného plynu
- Po 2012-stagnující jaderná energetika
 - Staví se Vogtle 3,4 a Summer 2,3 Westinhouse-stavba JE v konkursu, převzato investičním fondem, Vogtle pokračuje, Summer zastaven
 - Prodlužování životnosti a zvyšování využití stávajících JE

Energetické reaktory USA

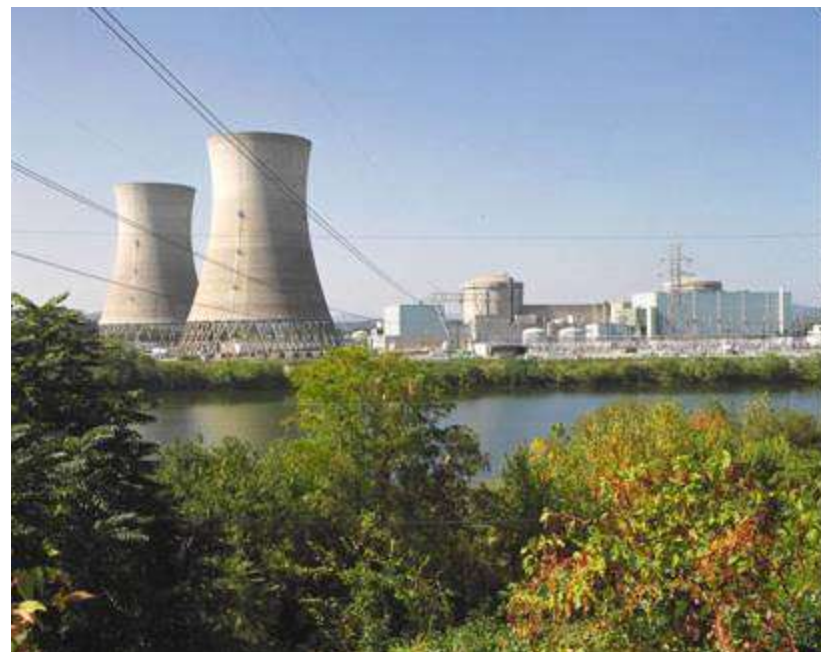
- 65 PWR s instalovaným výkonem cca 65 GWe
 - 33 BWR s instalovaným výkonem cca 34 GWe
 - Průměrný výkon na jeden blok 989,5MWe
- 
- A 3D pie chart illustrating the distribution of nuclear reactor types in the USA. The chart is divided into two segments: a larger blue segment representing Pressurized Water Reactors (PWR) at 65%, and a smaller maroon segment representing Boiling Water Reactors (BWR) at 35%. The chart is shown from an isometric perspective, giving it a three-dimensional appearance.
- | Reaktorový typ | Podíl (%) |
|----------------|-----------|
| PWR | 65% |
| BWR | 35% |
- Většina elektráren: 1-2 bloky stejného typu v provozu
 - Reaktory stavěny v letech 1967-1990,
 - Starší design: 47 reaktorů navrženo před rokem 1977
 - 30 různých provozovatelů
 - Problémy s ekonomikou u 13 bloků:
 - Absence státní podpory pro provozované bloky
 - Deregulovaný trh s elektřinou a levným ZP (může JE přežít zcela liberální prostředí?)
 - Přednostní připojování a ekonomická podpora větrných elektráren
 - Vyšší náklady u roztržštěných provozovatelů

Pozoruhodné projekty

- Fort St. Vrain, Colorado, 1976-89
 - HTGR , 330MWe, helium, mix U+Th
 - Účinnost 39-40%, vysoké vyhoření (90GWd/t)
 - Provozovatel Public Service Co of Colorado (PSCC), odstaveno pro ztrátovost
- Palo Verde, Arizona, PWR, 3875MWe, (3 bloky) od 1988,
 - Jedna z největších v USA
 - v poušti, chlazení z vyčištěné odpadní vody
- Davis Besse -1: PWR, 877MWe, od 1978, „pechvogel“:
 - 1977 Přetlakový ventil kompenzátoru objemu zůstal otevřen
 - 1985 ztráta napájení chladicí vodou
 - 1998 tornado
 - Díra ve víku TN zvenku
 - Počítačová síť napadena červem
 - 2008 únik tritia
 - Praskliny v opraveném víku

USA – zlepšování využití

- Od 1991 do března 2009 zvýšení výroby o 40% (ekvivalentní cca 29ti blokům) :
 - pokles kapacity 5709 MWe, kvůli uzavření 8 bloků s vysokými náklady
 - Zvýšení kapacity o 3470 MWe díky 2 novým blokům (Comanche Peak 2, Watts Bar 1) a restartu jednoho (Browns Ferry 1)
 - Zvýšení o 6223 MWe díky povolení vyššího nominálního výkonu
- Koeficient zatížení:
 - 1980: 56,3%
 - 1990: 66,0%
 - 2008: 91,1%
- Odstávky:
 - 1990 průměrně 107 dní
 - 2000 průměrně 40 dní
 - Nyní rekord 15 dní
- Zvýšení účinnosti:
 - 1980: 32,49%
 - 1990: 33,40%
 - 1999: 33,85%



USA – prodlužování životnosti

- Regulátor (první na světě, 1974), The Nuclear Regulatory Commission (US NRC)
- Původní licence JE ze 70tých let je na 40let
- Březen 2000 první prodloužení 2 bloků Calvert Cliffs o 20 let
- Do dubna 2014 prodlouženy licence o 20 let pro 73 reaktorů
- Dá se předpokládat, že dojde k prodloužení dalších 18
- Podmíněno modernizací: výměny PG, řídicí systémy, víka reaktorů, čerpadla, ...
- Možné prodlužování až do životnosti 80 let (SLR program)
- Institute of Nuclear Power Operations (INPO) – společenství výrobců: standardy, inspekce apod.

USA- permanentní odstávky

- 30 reaktorů již odstaveno
- Nejstarší reaktory (Shippingport - 1957, ...)
- Závažně poškozené:
 - TMI-2, 905MWe, poškozena: tavení paliva, 1990 zlikvidováno, (TMI-1, 786MWe, v provozu)
 - Několik výzkumných/prototypových reaktorů (SRE,...)
- 2013-16 uzavřeny 4 bloky:
 - Crystal River – 40 let, poškození kontejnmentu
 - Kewaunee – 39let
 - 2x San Onofre – 30let, problémy s PG
 - 476-MW Fort Calhoun
 - 838-MW FitzPatrick plant
 - 1,069-MW Clinton

USA – vliv státu

- Státní podpora:
 - Plná 50-60 léta, poté komercializace
 - Pokus o znovunastartování začátkem tisíciletí, nyní opět významé programy vývoje (VaV, HTGR, malé reaktory)
- Nový typ licenčního procesu:
 - Typové licencování:
 - ABWR (GE Hitachi, Toshiba), Westinghouse AP1000
 - ESBWR (GE Hitachi), US-APWR (Mitsubishi), US-EPR (modifikace Arevy, nedávno zastaveno), APR-1400 (Korea Hydro & Nuclear Power), VVER-1200 (Rosatom)
 - mPower, SMR-160, NuScale
 - Licence na umístění (pouze vliv na okolí)
 - Kombinované licence (výstavba+provoz) pro JE s typovou licenci
- Licencování provozu MOX (směs kysličníků Pu, přírodního recyklovaného nebo ochuzeného uranu)

USA – výhledy (2009-“jaderná renesance“)

Elektrárna	Typ	Výkon	Investor	rok
Vogtle, GA	AP1000	1200	Southern Nuclear Operating Company	2019
Virgil C. Summer, SC	AP1000	1200	South Carolina Electric & Gas	2020
Calvert Cliffs, MD	US EPR	1710	UniStar Nuclear (obch.)	2017
Levy County, FL	AP1000 x 2	2400	Progress Energy	2021,22
Bellefonte 1 or 3, AL	B&W PWR / AP1000	1263/1200	Tennessee Valley Authority	
North Anna, VA	US-APWR	1700	Dominion	
William States Lee III, SC	AP1000 x 2	2400	Duke Energy	2021, 2023
Shearon Harris, NC	AP1000 x 2	2400	Progress Energy	2020
Grand Gulf, MS	ESBWR	1600	Entergy	
Fermi, MI	ESBWR	1600	Detroit Edison	

USA – výhledy (2009 “jaderná renesance”)

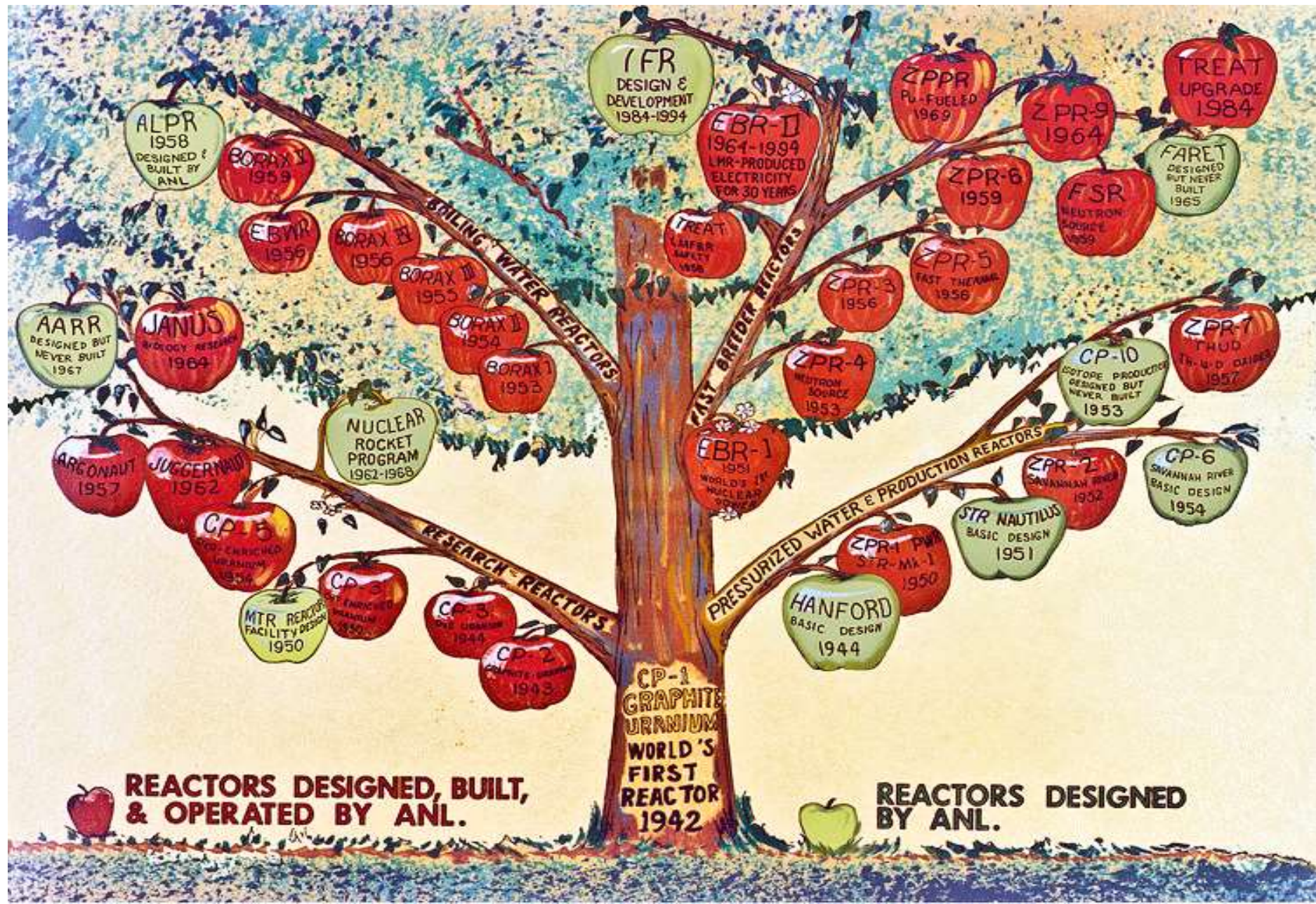
Comanche Peak, TX	US-APWR x2	3400	Luminant	2019, 2020
River Bend, LA	ESBWR	1600	Entergy	
Nine Mile Point, NY	US EPR	1710	UniStar Nuclear	
Bell Bend, PA	US EPR	1710	PPL merchant plant	2018- 20
Turkey Point, FL	AP1000 x 2	2400	Florida Power & Light	2022 2023
Hammett, ID	AP1000, US-APWR, APR-1400	1200, 1700, 1455	Alternate Energy Holdings Inc.	
Amarillo, TX	US EPR x 2	3420	Amarillo Power	
Blue Castle, UT	? x 2	2400- 3420	Transition Power Development	
Piketon, OH	US EPR	1710	Duke Energy	
Salem/Hope Creek, NJ	?	cca 1200	PSEG	2021
Fresno, Ca	US EPR	1710	Fresno Nuclear Energy Group	
Victoria County, TX	2, ?	cca. 2400	Exelon	12/07
Callaway, MO	US EPR	1710	AmerenUE	

Výzkumné a produkční reaktory v USA

- Argonne: Chicago Pile (CP-1), Fermi: výkon od 0,5 W do 200 W (12.12.1942), původně na stadionu v Chicago, poté přesunut to Argonne
- Oak Ridge (Tennessee): X-10, první reaktor pro kontinuální provoz
- Hanford, severozápad USA, téměř poušť, produkce plutonia (LWGR), později výzkum reaktorů,
- Savannah River (Jižní Karolína), výroba Pu, transuranů, tritia
- Santa Susana Laboratory (Kalifornie)
 - 10 výzkumných reaktorů , orientace na chlazení tekutými kovy, řada havárií, reaktory pro vesmírný program
 - Řada havárií mj. SRE (Na-graphite) - 8MW (1957), tavení zony

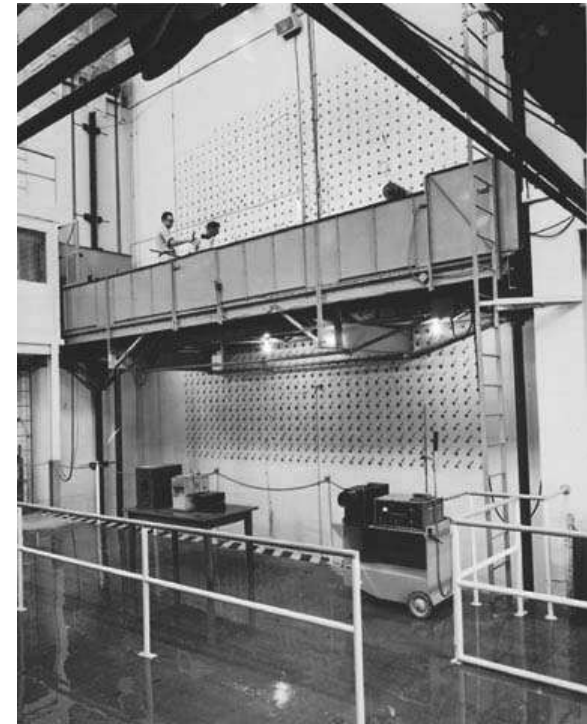
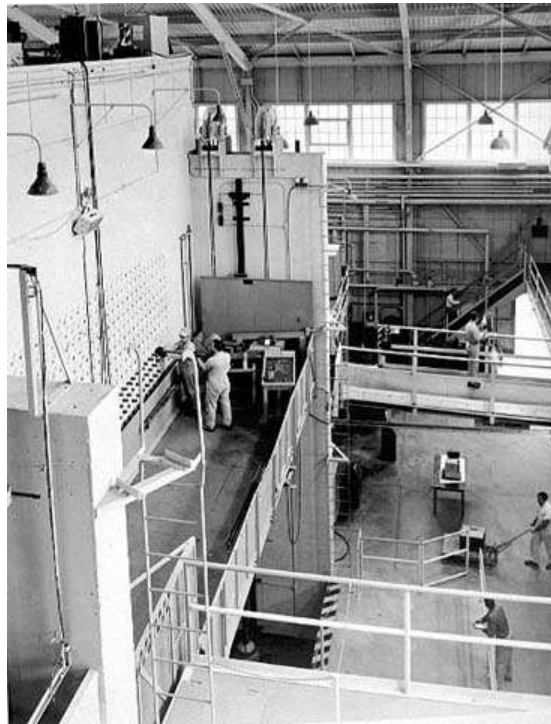
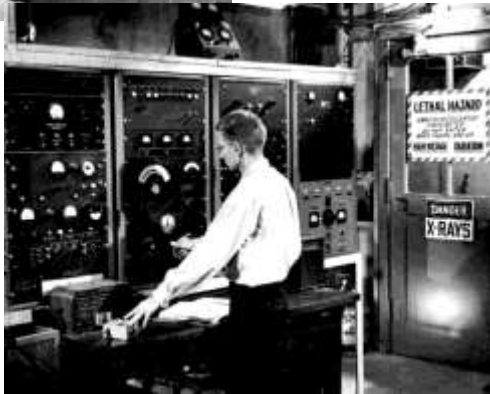


ANL Argonne National Laboratory



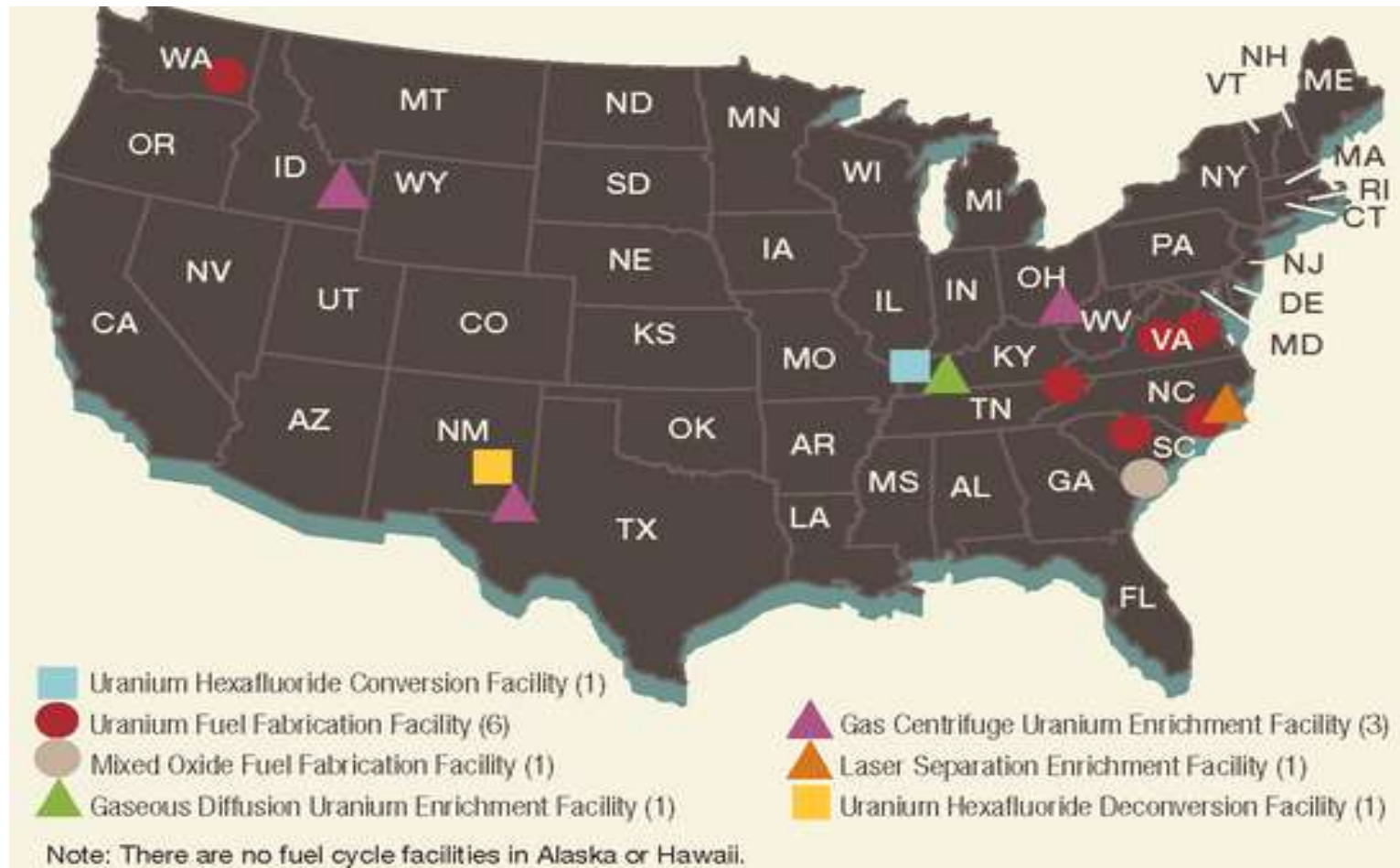
Oak Ridge National Laboratory reaktor X-10

- 4.11. 1943 – 500 kW (tep.pokrytí 110°C)
- zvýšení cirkulace vzduchu: 800 kW (tep. pokrytí 150°C)
- od května 1944 – vsázka s rovnoměrnějším rozložením výkonu + zlepšení těsnosti pokrytí -> 1800MW



USA – palivový cyklus

- Těžba
 - V současnosti jen zlomek z těžby během studené války
 - jeden důl, 5 oblastí chemické těžby,
 - těží se pouze 9% spotřeby (dovoz Rusko, Kanada, Austrálie) protože místní těžba je drahá



Produkce U 1950-2010

Table 9.3 Uranium Overview, 1949-2011, Domestic Concentrate Production

Million Pounds Uranium Oxide

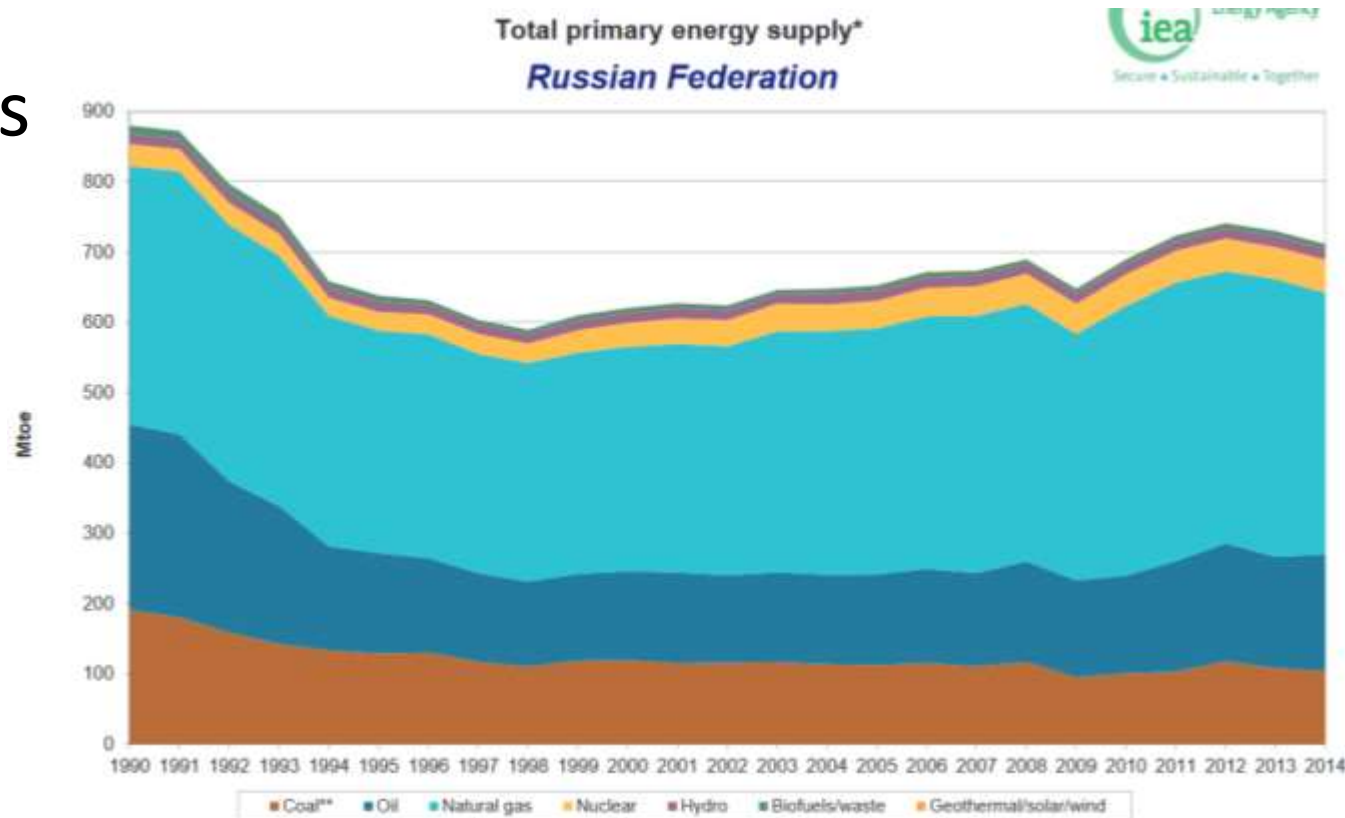
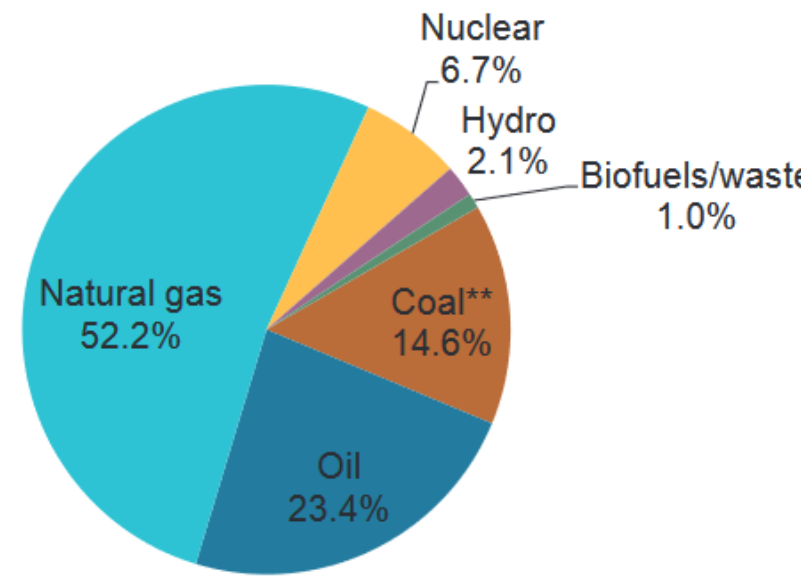


USA - palivový cyklus

- Obohacování:
 - USEC Paducah (Kentucky) z 50tých let, plynná difuze, HEU z ruského vojenského programu,
 - Urenco USA, (New Mexico), centrifugy
 - Eagle Rock Enrichment Facility (Idaho), ve výstavbě, financuje AREVA, centrifugy
 - USEC's American Centrifuge Plant (Ohio), v provozu od května 2014, Toshiba+B&W+DOE, USA typ odstředivek
 - Plánovány dva závody AVLIS
 - Oak Ridge, Paducah, Portsmouth, uzavřeny nebo prodány
- Výroba palivových článků:
 - Areva, Westinghouse, B&W, GE: Virginia, Washington, North Carolina, South Carolina, + výstavba závodu pro MOX v Savannah River
- Reprocessing povolen od 2005

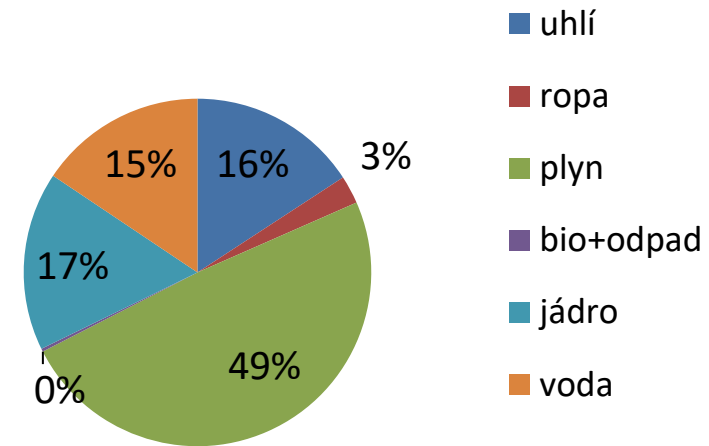
PEZ: Rusko

- Total: 30,6EJ, třetina USA
- Dominující role plynu (53%)
- Dramatický pokles po rozpadu SSSR
- Celkový pokles v posledních letech

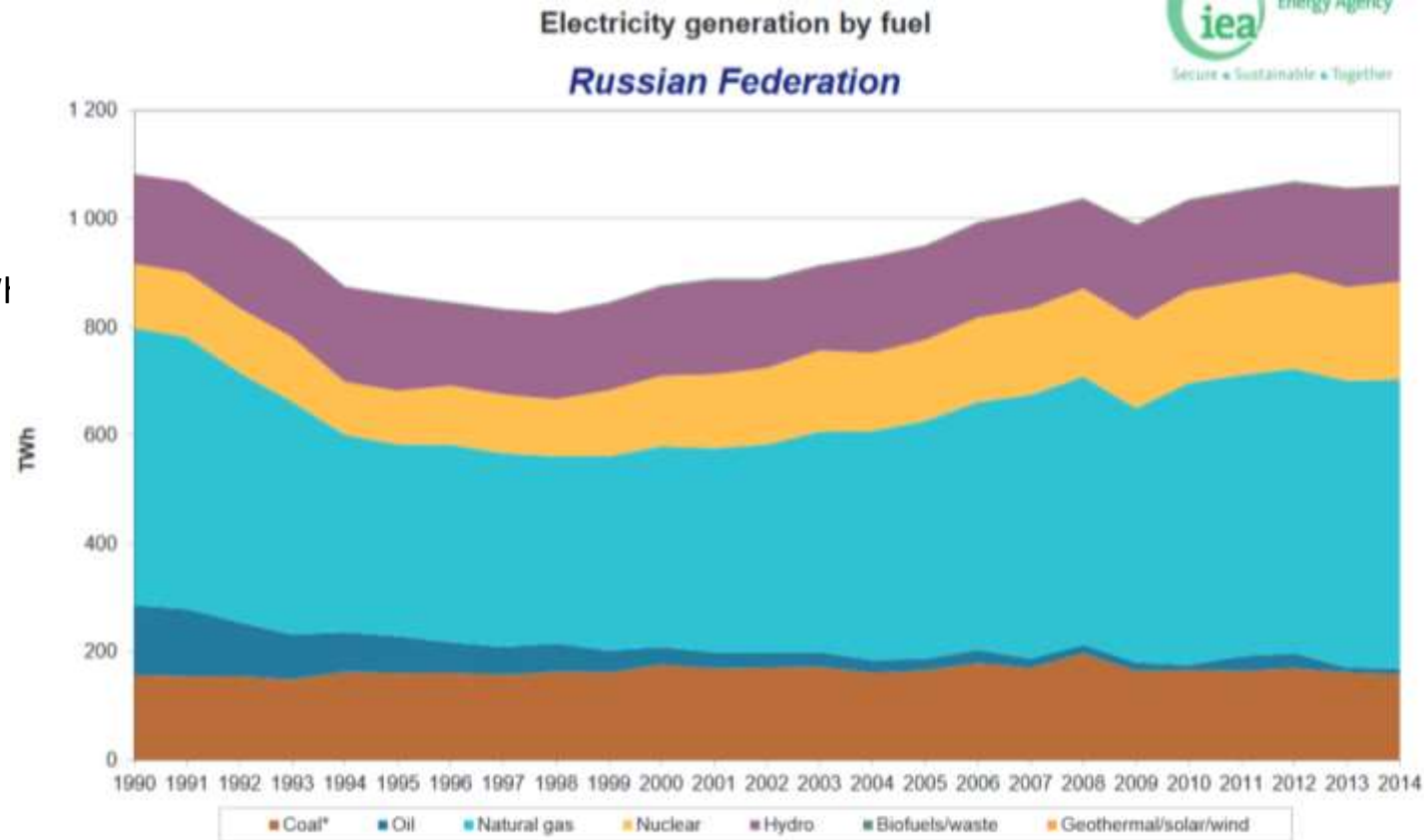


Výroba elektřiny

- Cca 30% pokles výroby po rozpadu SSSR
- Pokles ropných produktů; ve prospěch plynu: téměř 50% výroby elektřiny!
- Stálý vzestup jaderné energetiky (17%), relativně vysoký podíl vodní energie



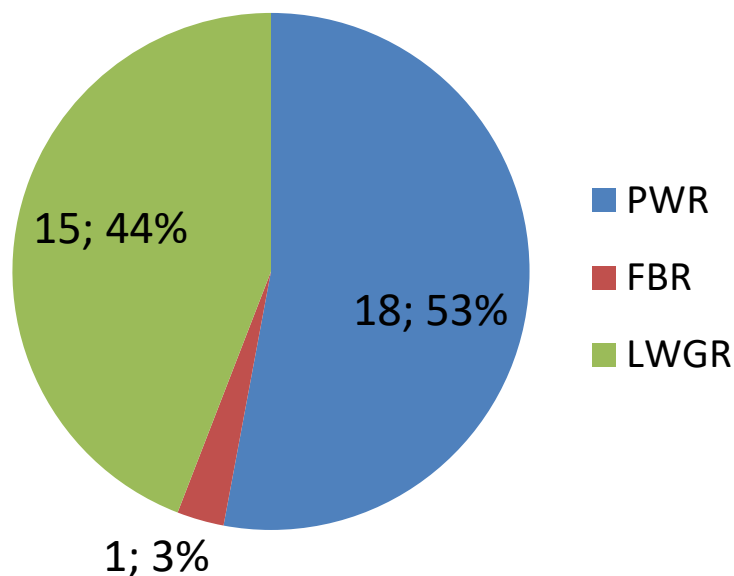
- Výroba 1038 TWh
- Spotřeba 701 TWh
- Export 13 TWh
- Ztráty 105 TWh
- Vlastní spotřeba 194 TWh



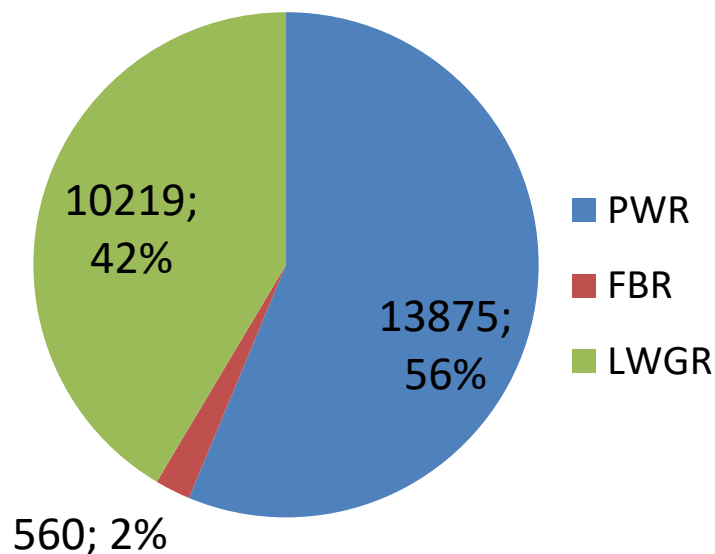
Rusko, reaktory v provozu

- 38 bloků v provozu, výroba 188GWh (18% produkce elektřiny)
- 3 bloky ve stavbě (VVER 1200MWe),
- Dva základní typy:
 - LWGR (RBMK, Černobyl) starší, nepokračuje vývoj pro špatné bezpečnostní charakteristiky
 - PWR (VVER) novější , pokračující vývoj)
- Pokračuje vývoj FBR
- BWR: jediný demonstrační reaktor(již zlikvidován)

Počet reaktorů (bloků)

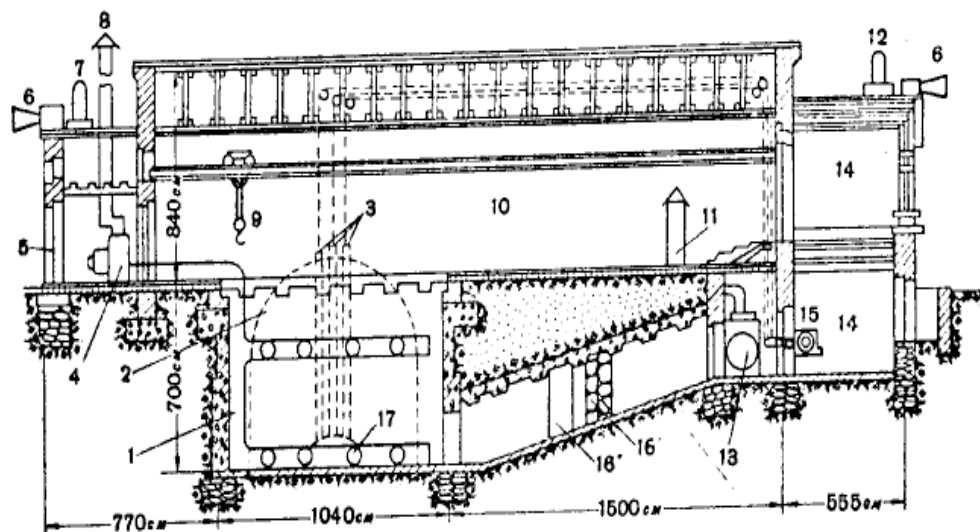
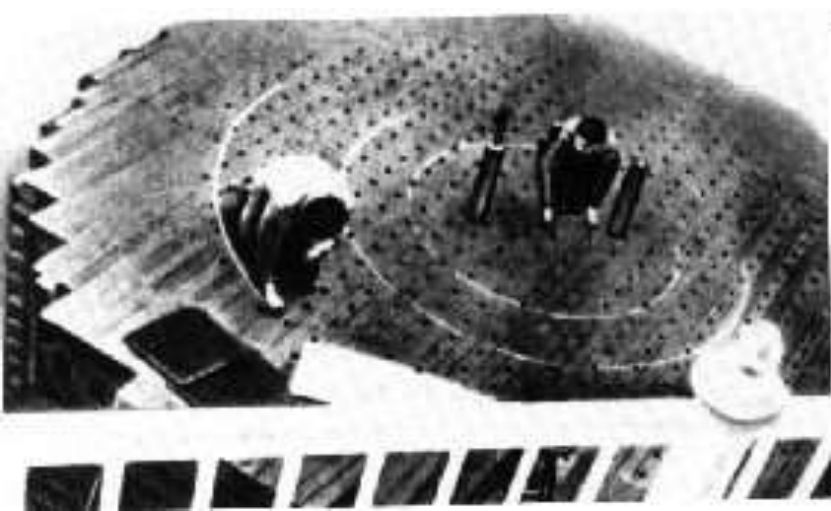


Instalovaný výkon



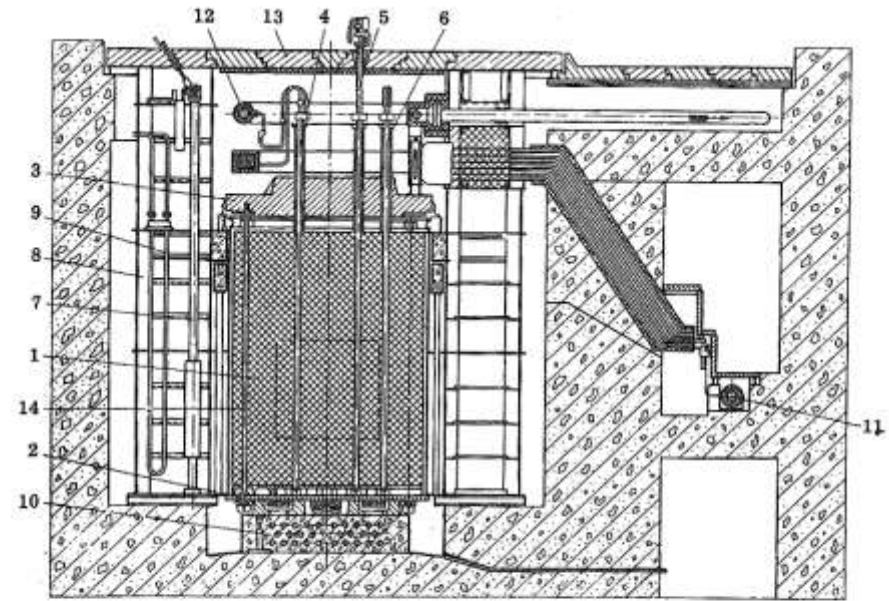
Rusko - historie

- 1943 - začátek programu vývoje jaderné zbraně, I.V. Kurčatov
- 1944 – okolo 100 vědců
- Vedení: I.V Kurčatov, Moskva - Kurčatovův institut, funguje dodnes
- Částečné kopírování amerického programu (špionáž, Klaus Fuchs, Rosenbergovi)
- F-1 grafitový, výkon 10 W, později 24 kW
 - obdoba reaktoru Hanford 305
 - přírodní kovový uran (40 t) + grafitový moderátor, svislé kanály, průměr 5,8 m
 - prosinec 1946 –kritický,
 - používán dosud pro kalibraci detektorů neutronového toku
- A reaktor, Čeljabinsk
 - Kritický 7.6. 1948 – první produkce Pu v SSSR



Rusko – historie RBMK

- Cíl: výroba plutonia v energetických reaktorech
- AM-1 Obninsk,
 - 5 MWe net, 30MWt
 - Spuštěn 1.6. 1954
 - Připojen 26.6. 1954
 - Odstaven 29.4. 2002
- Bělojarsk 1, 2:
 - AMB-100 286MWt, 102MWe (108MWe)
 - 1.6.1958/26.4.1964/1.1.1983
 - AMB-200, 160MWe
 - 1.1.1962/29.12.1967/1.1.1990
 - 2x těžká havárie: tavení paliva (1977), požár strojovny (1978)
- Seversk (Tomsk-7)
 - EI-2, 100MWe, 400/1200MWt, 1956/1958/1990,,
 - ADE-3, 1450/1900MWt, 1961
 - ADE-4, 5 (1964,1965)
- Bilibino:4x12MW
 - 1974-76, 3 bloky stále v provozu
- Velké energetické reaktory (1000MW)
 - 12 bloků v provozu, 5 odstaveno ve 4 lokalitách, nahrazováno VVER 1200



1 - aktivní zóna
2 - nosná deska
3 - horní deska
4 - palivový kanál
5 - kanál havarijní tyče
6 - kanál regulační tyče
7 - kanál ionizační komory

8 - stínění
9,10 - chlazení
11 - rozdělovací kolektor
12 - sběrný kolektor
13 - horní stínění
14 - chlazení reflektoru



Rusko – současnost, RBMK

- 12x RBMK-1000 (925MWe-1020MWe)
 - Leningrad 1-4 (1973 – 1981), 1-2 odstáv.: 2018, 20, 3-4 v provozu, 24, 25
 - Smolensk 1-3 (1982 – 1990), v provozu, odstáv.: ? 2028,
 - Kursk 1-4 (1976 – 1985), v provozu, odstáv.: 2021, 24, 13, 15
 - Kursk 5 - nedostavěn
- 4 EGP-6: malé (11MWe) RBMK
 - Bilibino 1-4, Čukotka, 4/74-1/77,



Rusko – Historie PWR- Novovoronež



Unit ^[3]	Reactortype	Net capacity	Gross capacity	Construction started	Electricity Grid	Commercial Operation	Shutdown
Novovoronezh-1	VVER-210 (prototype) ^[4]	197 MW	210 MW	01.07.1957	30.09.1964	31.12.1964	16.02.1988
Novovoronezh-2	VVER-365 (prototype) ^[4]	336 MW	365 MW	01.06.1964	27.12.1969	14.04.1970	29.08.1990
Novovoronezh-3	VVER-440/179	385 MW	417 MW	01.07.1967	27.12.1971	29.06.1972	2016
Novovoronezh-4	VVER-440/179	385 MW	417 MW	01.07.1967	28.12.1972	24.03.1973	2017 planned
Novovoronezh-5	VVER-1000/187 (Prototype)	950 MW	1000 MW	01.03.1974	31.05.1980	20.02.1981	2035 planned ^[5]

Rusko – Novovoronež I



Rusko – současnost, PWR

- 2 VVER-440/230
 - Kola 1,2: 432MWe, 411MWe,
 - 12/73, 2/75, odstavení: 2018, 2019? dosud v provozu
- 2 VVER-440/213:
 - Kola 3,4: 411MWe,
 - 12/82, 12/84, odstavení: 2026, 2029



Rusko – současnost, PWR



- 8x VVER-1000 V-320, 950-1028MWe síť:
 - Balakovo 1, 988MWe, 5/1985, 2015, bude prodlouženo
 - Balakovo 2, 1028MWe, 1/1988, 2017 bude prodlouženo
 - Balakovo 3,4 988MWe, 4/1989, 12/1993, 2018, 2023
 - Kalinin 3, 988MWe, 11/2005, 2034
 - Kalinin 4, 950MWe, 9/2012, 2042
 - Rostov (Volgodonsk) 1,2 , 990MWe, 3/2014, 2016, bude prodlouženo
- 2x VVER-1000 V-338, 950MWe
 - Kalinin 1,2, 6/1985, 3/1987
2014, 2016, bude prodlouženo



Novovoronež II

Unit ^[7]	Reactor type	Net capacity	Gross capacity	Construction started	Electricity Grid	Commercial Operation
Novovoronezh II-1	VVER-1200 /392M (AES-2006)	1,114 MW	1,200 MW	24.06.2008	2016	2017
Novovoronezh II-2	VVER-1200/392M (AES-2006)	1,114 MW	1,200 MW	12.07.2009	2018 ^[9] (<i>planned</i>)	2019 (<i>planned</i>)
Novovoronezh II-3	VVER-1300/510 (AES-2010)	1,175 MW	1,255 MW	—	—	—
Novovoronezh II-4	VVER-1300/510 (AES-2010)	1,175 MW	1,255 MW	—	—	—

Rusko – Historie a současnost PWR

Typová řada	Model	Popis
VVER-200	-	prototyp
	179	prototyp
VVER-440	230	V1, Jaslovské Bohunice
	213	Dukovany
	187	prototyp
	320	Temelín
	338	
	446	Bušehr - Írán (Siemens)
VVER-1000	428	Tianwan - Čína
	412	Kudankulam - Indie
	392	dle Evropských standardů
	466	
	466B	založeno na 466; životnost 60 let
VVER-1200	392M	založeno na 392
	491	založeno na 466
VVER-TOI	510	AES-2010
VVER-1500	448	ve vývoji
VVER-SCR	393	projekt superkritického reaktoru

Dvě projekční a realizační linky

TOI: Typově optimalizovaný a informatizovaný

Rusko – historie, BWR

- VK-50, BWR, Dimitrovgrad 1 (Melekess),
 - Demonstrátor, jediný BWR v Rusku
 - 1964: 200MWt, 50MWe,
 - od 1974 270MWt a 65(62)MWe, 250MWt, 70MWe,
 - odstaven 1988
 - AZ: $\varnothing$ 2,7m, 2m výška, 1,5%U235, 3 Δ mříž, 187 souborů
 - 3,5-10Mpa, $\varnothing$ 3,8m, 11m výška



Rusko – rychlé reaktory



- BOR-60 – Dimitrovgrad, 1.7. 1965/1.12.1969/ v provozu, 60MWt
- BN-350 – (Ševčenko), Aktau, Kazachstán: 1964-1992, 150MWe + desalinizace, v likvidaci
- BN-600 – Bělojarsk 3: 560MWe, (600MWe), 1.1.1969/8.4.1981, odstavení 2025, problémy s úniky
- BN-800 – Bělojarsk 4: 750MWe, start 1987, zastaveno, pokračuje se, spuštěno 2015
- BN-1200 – Bělojarsk 5: 1200MWe, plán: 2025-30



Dědictví SSSR

- 23 bloků na území jiných států: 19,308GWe
- Arménie
 - 2*VVER 440/270, spuštěno 1976,80
 - 1988 ničivé zemětřesení: reaktory bezpečně odstaveny, malá poškození,
 - 1993 Metsamor 2 znovu spuštěn, v provozu
 - Metsamor 1 v likvidaci,
- Ukrajina (19):
 - 4x RBMK: Černobyl (78,79,81,83)
 - odstavování: 30.11.96, 10.11.91, 15.12.2000, 26.4.86
 - 2x VVER-440 V213, Rovno 1,2
 - 13x VVER-1000 V320 (Chmelnická 1 a 2, Rovno 3 a 4, Jihoukrajinská 1-3 (V302, V338, V320), Zápороží 1-6)
- Litva (2x RBMK):
 - Ignalina 1,2, 85,87, výkon 1185MWe síť, odstaveno: 12.2004, 31.12.2009
- Kazachstán (1): BN-350, Ševčenko-Aktau, odstaveno, v likvidaci



Rusko – prodlužování životnosti, zvyšování výkonu

- Původní životnost elektráren 30 let
- Zvýšení životnosti:
 - VVER-440 a RBMK o 15 let
 - VVER-1000 o 25 let
 - BN-600 o 15 let
- RBMK: výměna kanálů
- VVER–1000: výměna řídicího systému, 80% el. systémů, vylepšení bezpečnostních systémů, ...
- 2011 – prodloužena životnost u 17 bloků
- Zvyšování výkonu plány (současná realita):
 - VVER440 na 107% (105%)
 - VVER1000 104-110% (104%), výjimka Novovoronež 5
 - RBMK 105%

Rusko – nejnovější bloky+ výstavba



- 3 bloky spuštěny, výkon 2,45GWe

Elektrárna	typ	výkon	Poč. výstavby	dokončení
Pevek	KLT-40S, plovoucí	2x40	5. 2009	2019
Novovoronež II – 2	VVER 1200/ V-392M	1200	7. 2009	2019
Lenigrad II – 2	VVER 1200/ V- 491	1200	4. 2010	2020

3 bloky ve výstavbě, výkon 3,6GWe

Elektrárna	typ	výkon	Poč. výstavby	dokončení
Kursk II-1,2	VVER 1200 AES-2010	1200	2018	2022
Baltic1(Kaliningrad)	VVER 1200/ V- 491	1200	2012	??

Rusko - plány

- 31 bloků v plánu, výkon 32,78GWe, příklady:

Elektrárna	typ	výkon	Poč. výstavby	dokončení
Baltik 2 (Kaliningrad)	VVER 1200	1200	2014 zrušeno?	2018
Seversk 1	VVER 1200	1200	2010 (?)	2016 (30)
Seversk 2	VVER 1200	1200	2012 (?)	2018 (30)
Leningrad II – 3	VVER 1200 V491	1200	2011 (2015)	2016 (21)
Leningrad II – 4	VVER 1200 V491	1200	2014 (2016)	2019 (22)
Nižnyj Novgorod 1	VVER 1200-TOI	1300	2012 (14)	2019
Nižnyj Novgorod 2	VVER 1200-TOI	1300	2013 (15)	2022
Kursk II – 3	VVER 1200-TOI	1300		2025
Kursk II – 4	VVER 1200-TOI	1300		2030
Bělojarsk 5	BN1200	1200	2015	2020
Dimitrovgrad	SVBR-100	100	2014	2017 ?

Rusko - plány

- 31 bloků v plánu, výkon 32,78GWe, příklady:

Elektrárna	typ	výkon	Poč. výstavby	dokončení
Smolensk II - 1	VVER1200 V510	1200	2017	2022
Smolensk II - 2	VVER1200 V510	1200	2018	2024
Smolensk II - 3	VVER1200-TOI	1200		2030
Smolensk II - 4	VVER1200-TOI	1200		2030
Kola II - 1	VVER1200-TOI	1300	2015	2025
Kola II - 1	VVER1200-TOI	1300		2030

- 18 navrhováno, cca 16GWe



● NPPs under construction
● Planned NPPs



Export, po roce 1990

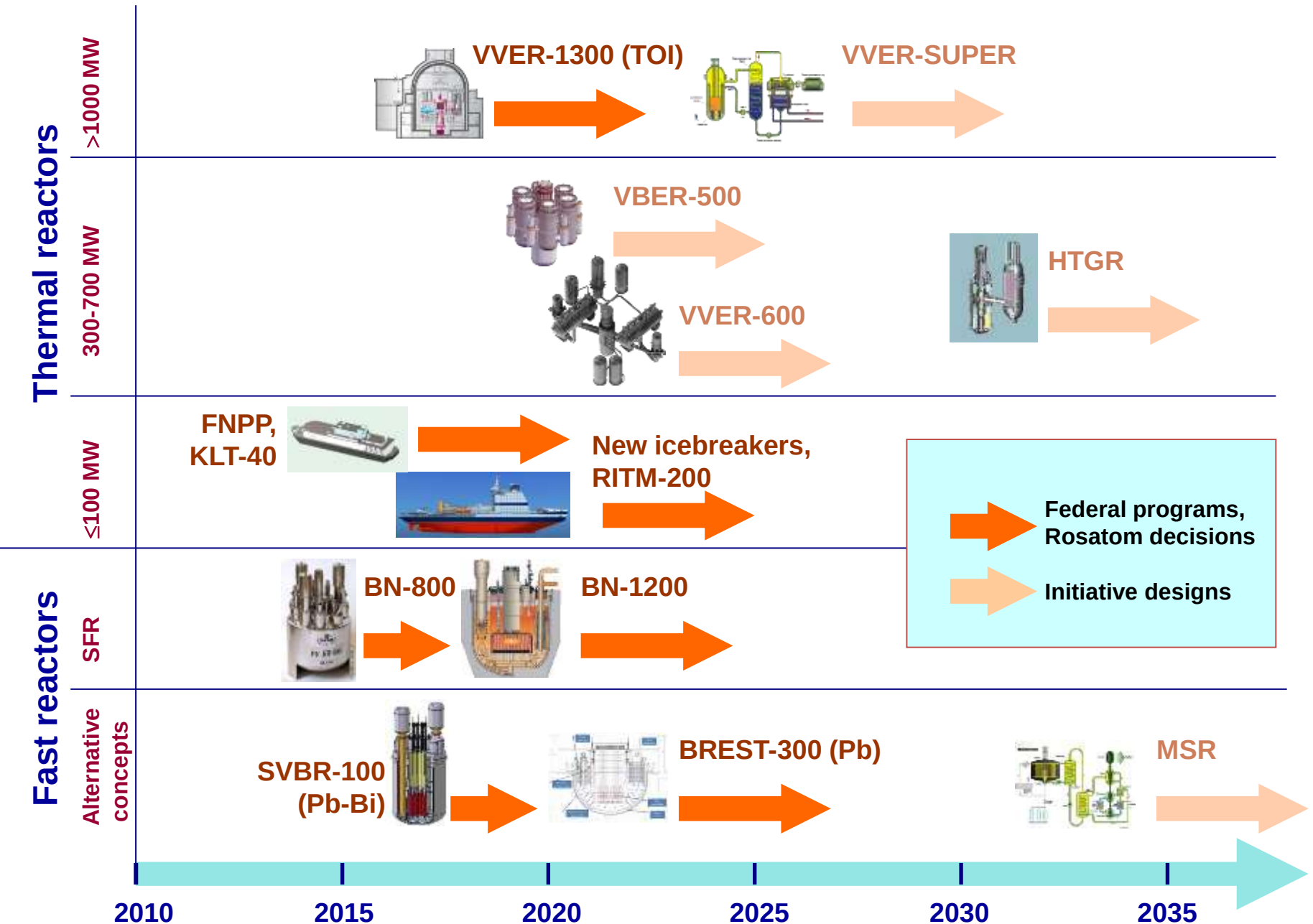
Ukrajina	Khmelnitski 2 & Rovno4	2xV-320 reactors, 1000 MWe	operating
Iran	Bushehr	V-446 reactor, 1000 MWe	operating
China	Tianwan 1&2	2 x AES-91	operating
India	Kudankulam 1&2	2 x AES-92	operating
China	Tianwan 3&4	2 x AES-91	operating
Belarus	Ostrovets	2 x AES-2006	Unit 1 operating, unit 2 in tests
India	Kudankulam 3&4	2 x AES-92	construction started
Bangladesh	Rooppur	2 x AES-92	construction started
Turkey	Akkuyu	4 x AES-2006	construction started
Vietnam	Ninh Thuan 1, 1&2	2 x AES-91	Pending
Finland	Hanhikivi 1	1 x AES-2006	Rosatom 34% equity, construction to be started
China	Tianwan 7&8	2 x AES2006	Planned
Hungary	Paks 5&6	2 x AES2006	Planned, loan organised for 80%
Jordan		2 x AES-92	Planned, BOO, finance organized
India	Kudankulam 5&6	2 x AES-92?	Planned
Bulgaria	Belene	2 x AES-92	cancelled, but may be revived

Rusko - vývoj

Řada	model	příklad	Gen.
VVER-1200	V-392M	AES-2006, Novovoronež	III+
VVER-1200	V-491	AES-2006, Leningrad	III+
VVER-1200A	V-501	AES-2006	III+
VVER-1300	V-488	AES-2006M	III+
VVER-1500	V-448	Ve vývoji	III+

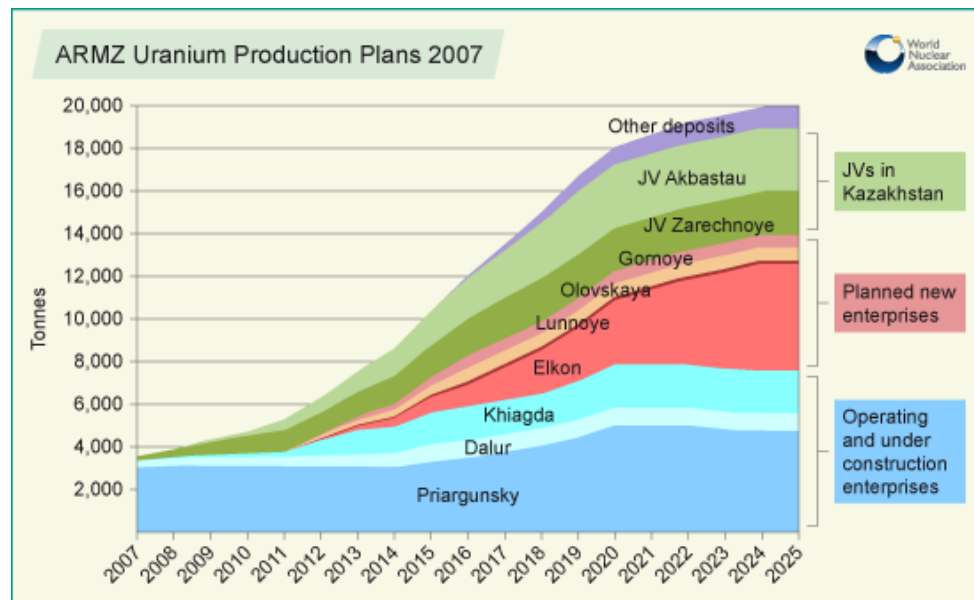
- BREST: Pb rychlý reaktor
- SVBR-100: 100MWe prototyp modulárního Pb-Bi rychlého reaktoru založeného na ponorkových reaktorech
- KLT-40S, KLT-40C a RITM-200: malé reaktory použité na ledoborcích
- VBER-300: PWR malé reaktory pro plovoucí elektrárny
- VK-300: BWR založený na VK50
- MKER-800 – RBMK s vylepšenou bezpečností

Russian nuclear energy technology prospects



Rusko – palivový cyklus

- Vlastní těžba i import (zejména okolní země)
- Rozvoj



	Region	od	hornina	zásoby: tU	kapacita: tU/rok
Priargunsky	Transbaikal/ Chita	1968	volcanic	101 550*	3000-3500
Dalur	Transural/ Zauralsk	2004	sandstone	13 870	800
Khiagda	Vitimsky, Buryatia	2010	sandstone	31 120	1800
Gornoye	Transbaikal/ Chita	(2014)	granite	3 230	300
Olovskaya	Transbaikal/ Chita	(2016)	volcanic	8 210	600
Elkon	Yakutia/ Sakha	(2020)	metasomatite	271 310	5000

Rusko - palivový cyklus

- Konverze $U_3O_8 \rightarrow UF_6$ - celková kapacita 25000tU/rok
 - Angarsk (Irkutsk): 18,700 t U/rok, TVEL - JSC Angarsk Electrolysis & Chemical Combine, uzavřeno od dubna 2014.
 - Čepetskij strojní závod, uzavírá se
 - Sibiřský chemický kombinát (Seversk), od 2016, 20,000 tU/rok + 2000 t recyklovaného U
 - Elektrostal, přepracovávací závod 700 tU/rok
 - Splupráce se západními zeměmi

Závěry

- Podobný program supervelmocí:
 - Vojenský program téměř paralelní (4 roky->nula?)
 - Principy fungování jaderného reaktoru
 - Produkce plutonia
 - Široký program alternativ a materiálový výzkum
 - Masivní energetický program
- Rozdíly:
 - liberalizovaný a centralizovaný energetický systém=> může jaderná energetika fungovat v liberalizovaném systému?
 - Vliv havárií:
 - TMI 1979 zastavilo jadernou energetiku v USA
 - Černobyl 1986 jenom modifikoval vývoj v RF