

**70 ročná história Slovenskej
jadrovej energetiky
(poučenia z historického vývoja pre
zmysluplnú budúcnosť)**

Prof. Vladimír Slugeň, DrSc.
FEI STU Bratislava
SNUS

Zaujímavosti slovenskej jadrovej energetiky

1. Prvý smolinec, z ktorého Mária a Pierre Curie separovali prvé Polónium a neskôr Rádium pochádzal z Jáchymova (teda od nás z Rakúsko – Uhorska, spolu 3t ťahané na 3 vozoch volmi. O pôvode volov sa nič nevie...).
2. SR ani ČSR, ČSSR, či ČSFR nemalo nikdy jadrový zbrojný program (v tom čase výnimočné).
3. ČSR v roku 1957 boli pri založení IAEA vo Viedni.
4. Dnes sme so 62% (2025) EE z JE na 2. mieste za Francúzskom (71%).
5. Výroba elektriny na Slovensku je na 80% dekarbonizovaná. Vďaka JE sme na 7. najlepší na svete v dekarbonizácii.
6. Slovensko je po Holandsku na 2. mieste v Európe v plynofikácii. 94% obyvateľstva má doma plyn (zatiaľ). Spolu 33000 km potrubí.
7. Vďaka dobrovoľnému predčasnému odstaveniu V-1 sme v porovnaní s Loviisou (plánovaná prevádzka do 2050) prišli kvalifikovaným odhadom dodnes o 9 mld Euro, do 2050 o cca 22 mld Euro (Slovensko je najbohatšia krajina...).
8. V roku 2023 sme spustli MO3, (MO4-2026?) a ukončili spaľovanie uhlia v uhoľných elektrárňach (posledné boli Nováky).
9. Ukončili sme spoluprácu s RF, dobrovoľne sme zavrhlí GD VVER, chceme prejsť na iné palivo, iný typ reaktorov, iné technológie, kódy s tými istými ľuďmi ...

... Bez akýchkoľvek investícií do infraštruktúry !!!

Filip Lenard (1862 -1947)

- Rodák z Bratislavy (Kozia ul.), inak nemecký fyzik...
- 1905 Nobelova cena za fyziku!
- Štúdium fosforescencie, neskôr katódového žiarenia
- Skonstruoval špeciálnu katódovú trubicu s malým otvorom (tzv. Lenardovo okienko), čo umožnilo nielen preskúmať vlastnosti katódových lúčov, ale tiež odseparovať elektróny a stanoviť ich hmotnosť. Jedno zo svojich „okienok“ F. Lenard zapožičal aj W.C Röntgenovi (NC-1903), čím nepriamo prispel k objavu lúčov X (Röntgenového žiarenia)
- *Anóda je na obrázku v tvare maltézskeho kríža a na stene trubice je obrázok vytvorený fluorescenciou, na ktorom sa demonštrovalo, že žiarenie sa z katódy šíri priamočiaro*

Na STU prednášali 2 nositelia NC:

1943 – Werner K. Heisenberg (pozvanie prof. Ilkoviča)

2012 – Douglas D. Osheroff (pozvanie prof. Slugeňa + SE,a.s.)



Míľniky slovenskej jadrovej fyziky, techniky a energetiky

1956 – Podpísaná Dohoda so ZSSR o výstavbe prvej JE v Jaslovských Bohuniciach (A1)

1957 - Na základe spoločnej československo-sovietskej expertízy bol schválený úvodný projekt výstavby jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniciach. Ako nositeľ (investor) projektu bol založený národný podnik Jadrová elektráreň Bohunice.

1958 – Zahájená výstavba A1

1972 (24. 10.) Na reaktore KS 150 Jadrovej elektrárne A-1 Jaslovské Bohunice bola spustená prvá štiepna reakcia.

1972 (25.12.) Prvá československá jadrová elektráreň A-I v Jaslovských Bohuniciach bola prifázovaná k energetickej sieti.

1976, 1977 – jadrové havárie v rámci výmeny paliva

1979 – Rozhodnutie o nepokračovaní v prevádzke a postupnom vyradovaní
(v súčasnosti 5. etapa)

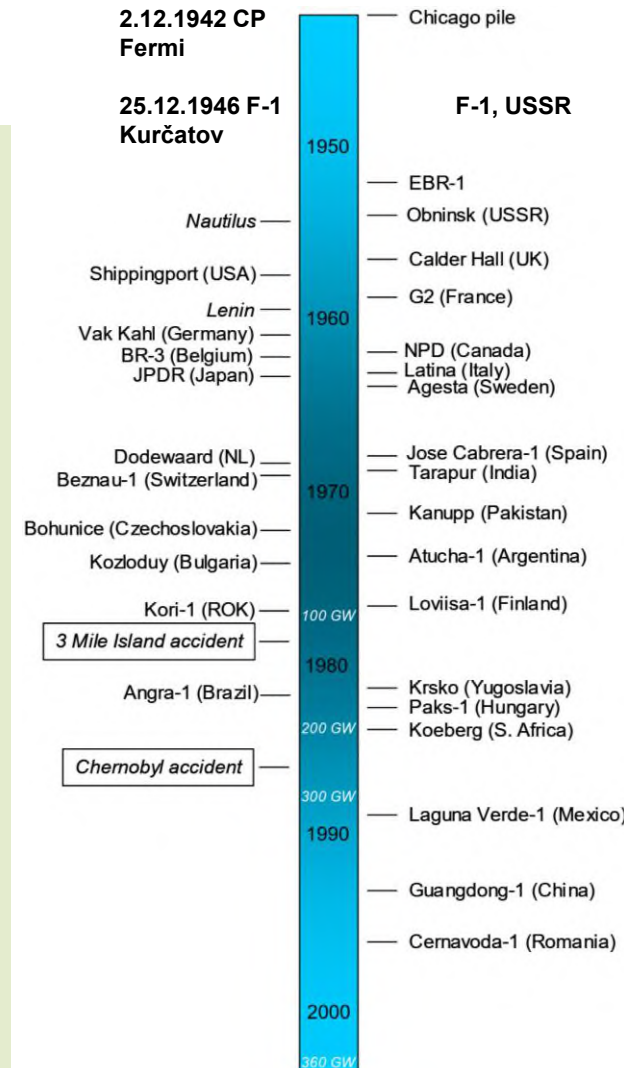
A prečo na Slovensku? A prečo v Bohuniciach?

- Lebo ČSR sa zapojilo do jadrového programu
- Lebo hlavné energetické (uholné) zdroje boli v sev. Čechách
- Bohunice sú v centre ČSR
- Vysoká únosnosť pôdy
- Nízka hladina spodných vôd
- Na rovine s dobrými veternými /rozptylovými podmienkami
- Dostatok technickej vody z Váhu
- Relatívny dostatok strojárov na Považí
- Predpoklady vysokej spotreby v zbrojovkách, či chemických závodoch
- Podmienky pre potravinárstvo a cukrovarníctvo (zamestnanosť žien)

- *Lebo seizmické požiadavky ešte neboli tak prísne*

Historický kontext výstavby A-1

- 1951 – EBR-1 (Experimental breeder reactor), demonštrácia výroby elektriny prvýkrát na svete 4x200W žiarovky, chladiivo NaK tekutý kov,
- 1954 – ZSSR prvá JE na svete - Obninsk (LWGR reaktor, 5 MWe, komerčný turbogenerátor MAN)
- 1955 – Medzinárodná konferencia OSN v Ženeve o Mierovom využití JE
- 1956 – JE Colder Hall, UK (**GCR Magnox, grafit+CO₂**, netto 35 MWe)
- 1957 – JE Shippingport, USA (**PWR, voda+voda**, netto 60 MWe)
- 1958 – JE Marcoule G2, Francúzsko (**GCR**, 36 MWe)
- 1962 – JE ROLPHTON NPD, Kanada (**CANDU**, 17 MWe)
- 1967 – AVR Jülich, Nemecko (**HTGR, He - 950°C, 16 MW**, guľové palivo Ø6 cm z karbidu uránu – pebble bed, cca. 100 000 guľičiek-kamienkov s 1g U-235)
- **HWGCR sesterské projekty k A-1:**
 - **EL-4 Brennilis**, Francúzsko EdF (70 MWe, 1966 - 1985)
 - **1975 a 1979 dva teroristické útoky.** Výbuchy poškodili turbínu a telefónny rozvod, ale nedošlo k úniku rádioaktivity. K útoku sa prihlásil **Oslobodzovací front Bretónska** (Bretagne). Bol to v histórii ojedinelý počin, keď **teroristi** dokázali zastaviť prevádzku JE na nejaký čas.
 - **KKN – Niederaichbach**, Nemecko (100 MWe, 1973 - 1974), reaktor bol v prevádzke celkom 18,3 dňa. Vyrađený na zelenú lúku v 1995.



Míľniky slovenskej jadrovej fyziky, techniky a energetiky

1961 - Z Oddelenia atómovej fyziky na PF UK, ktoré viedol prof. Usačev, vznikla v septembri Katedra jadrovej fyziky UK.

1961 - Na SVŠT vznikla Katedre jadrovej fyziky a techniky pod vedením prof. Ciráka.

1963 - V Bratislave vznikol Fyzikálny ústav SAV.

1963 - Pod vedením J. Dubinského zahájila svoju činnosť aj Katedra jadrovej fyziky Prírodovedeckej fakulty Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach

1977 – Vznik VUJE, a.s. spočiatku štátnej výskumnej, dnes súkromnej inžinierskej organizácie.

Míľniky slovenskej jadrovej fyziky, techniky a energetiky

1973 - Začali sa stavebné práce na hlavnom výrobnom bloku Jadrovej elektrárne V-1 v Jaslovských Bohuniciach.

1978 - (17. 12.) 1. blok jadrovej elektrárne V-1 v Jaslovských Bohuniciach bol prifázovaný k energetickej sieti.

1980 - (26. 3.) 2. blok jadrovej elektrárne V-1 v Jaslovských Bohuniciach bol prifázovaný k energetickej sieti.

1980 – rozhodnutie o výstavbe 4 blokov VVER- 440, V-213 v Mochovciach.

1981 – zahájené zemné práce (spustené 1998 MO1, 2000 MO2, 2023 MO3)

Mílniky slovenskej jadrovej fyziky, techniky a energetiky

2000 – Bohunické spracovateľské centrum RAO v prevádzke

2001 – Republikové úložisko RAO v Mochovciach v prevádzke

2006, 2008 – odstavenie 1. a 2. bloku JE V-1 v Jaslovských Bohuniciach

2008 – Vznik JESS, a.s. za účelom výstavby NJZ v Bohuniciach

2011 – zahájenie vyradovania V-1

2015 – Vláda SR schválila Vnútroštátny program nakladania s vyhoretým jadrovým palivom a rádioaktívnymi odpadmi v SR (aktualizácia z 2022 stále nebola schválená...)

2023 – spustenie MO3

2024 – (30.5.) JESS, a.s. získala právoplatné povolenie na umiestnenie NJZ v lokalite Bohunice

Atómy na Slovensku, (ed. SNUS) ISBN:80-88682-62-2, (2007), 318 pp.



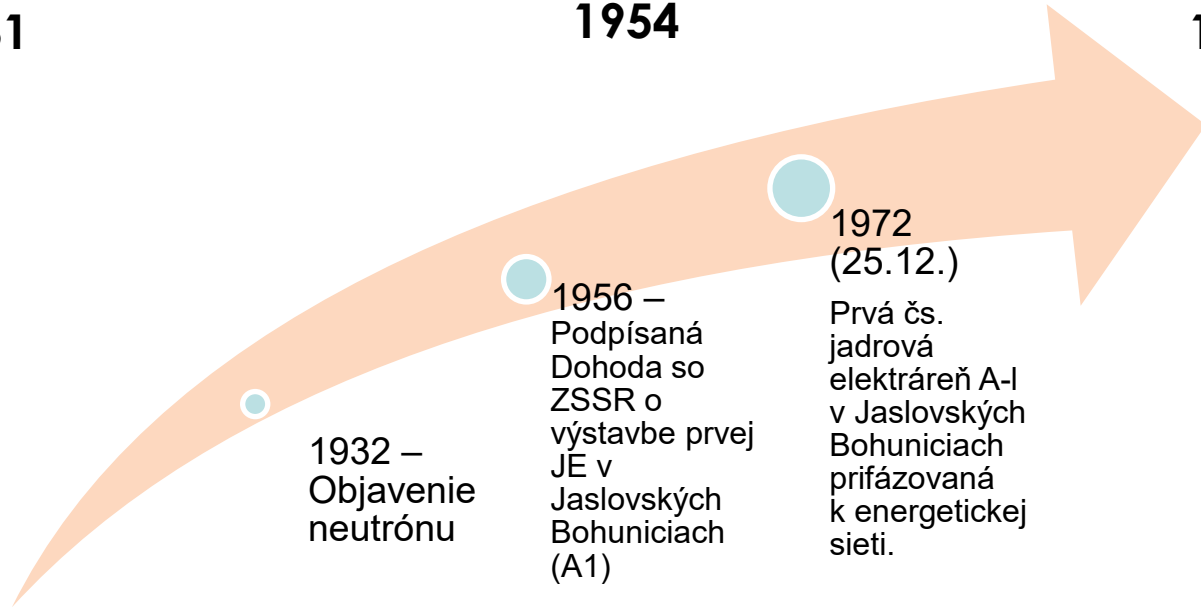
1931



1954



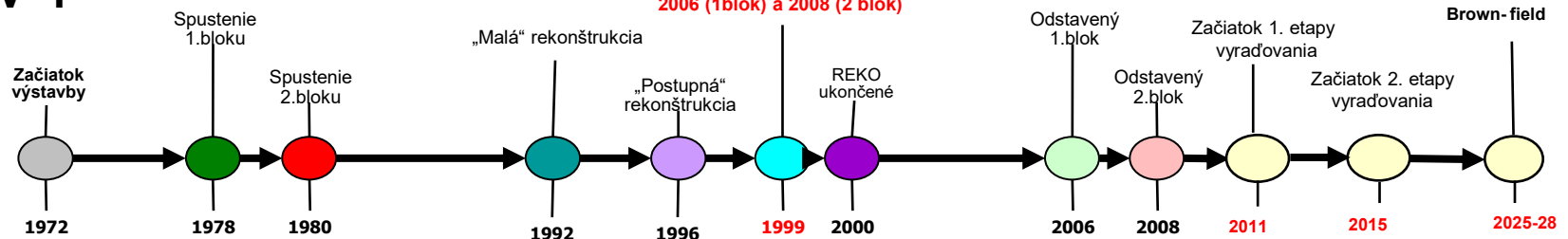
1972



JE V-1



Rozhodnutie vlády 801/1999 o predčasnom odstavení JE V1 2006 (1blok) a 2008 (2 blok)



Nové slovenské projekty v JE

JESS

New Nuclear Source (Conventional NPP)

- **Site:** Jaslovské Bohunice
- **Investor:** state (target - 100%)
- **Output:** 1200 MW
- **Type:** PWR
- **Budget:** EUR 10-14 bil.
- **Commissioning:** 2040+
- **Utilization:** baseload

Javys + Newcleo LFR

- **Site:** Jaslovské Bohunice
- **Investor:** state (51% SR, 49% Newcleo)
- **Output:** 4 x 200 MW
- **Type:** LFR
- **Budget:** EUR 3,2 bil. (estimation by newcleo)
- **Commissioning:** 2040-2045
- **Utilization:** SNP reprocessing / baseload / flexibility

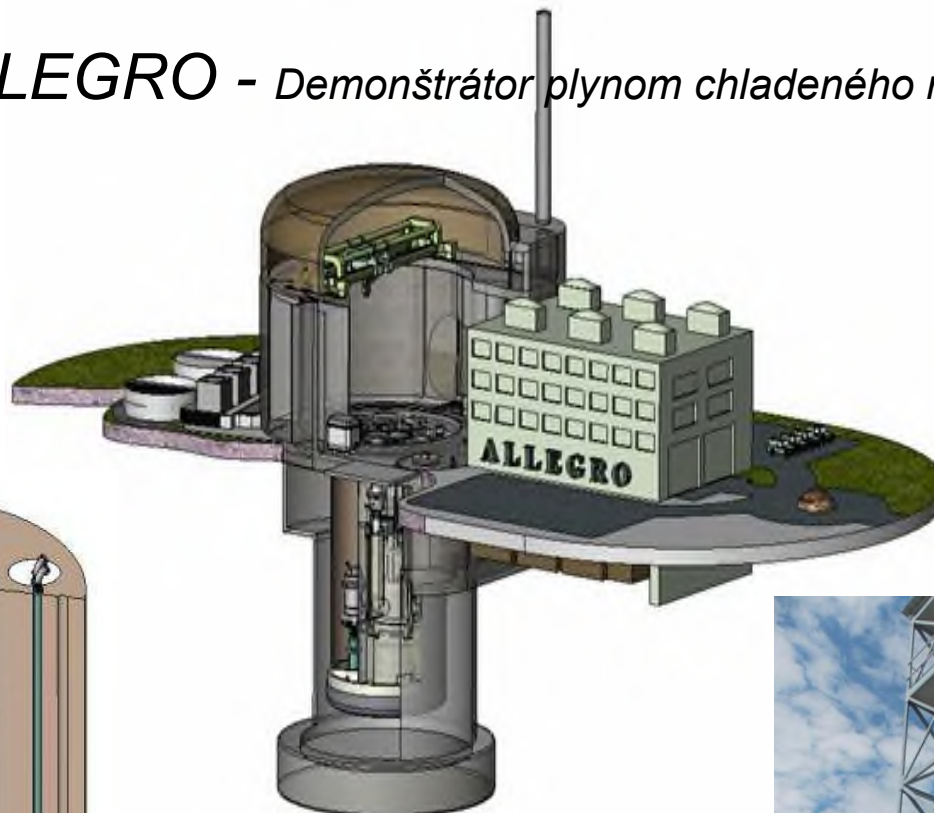
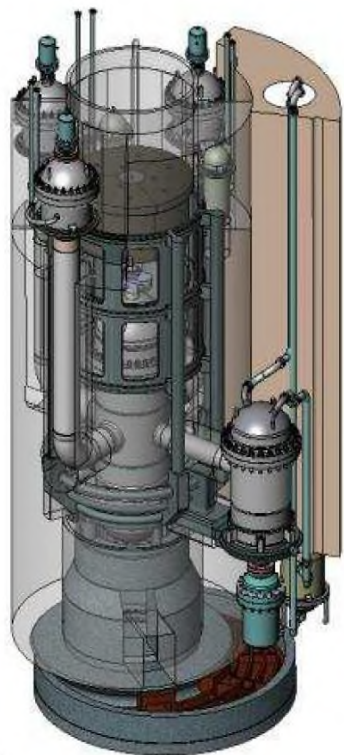


SMR Slovenské elektrárne

- **Site:** EMO/EBO/EVO
- **Investor:** SE (66% EPH, 34% SR)
- **Output:** 300-470 MW (1 unit) or double unit
- **Type:** PWR / BWR
- **Budget:** EUR 2,5 - 3,0 bil.
- **Commissioning:** 2038+
- **Utilization:** baseload / flexibility

- ALLEGRO
- Hlbinné úložisko

Reaktor ALLEGRO - Demonstrátor plynem chlazeného rychlého reaktora (70 MWt)



EC – V4 projektovaný do lokality Bohunice



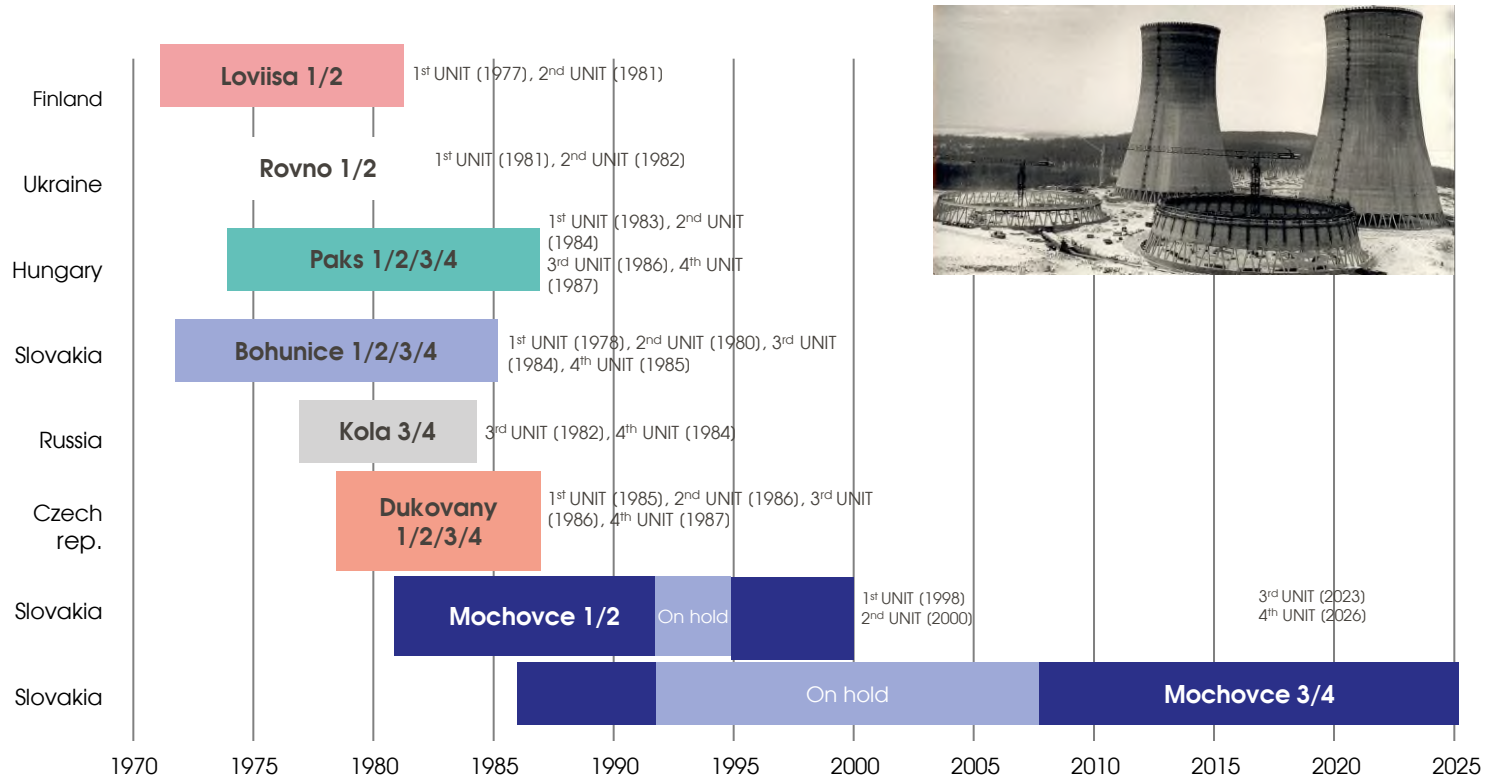
*Ústav jadrového a fyzikálneho
inžinierstva*

Slovenská technická Univerzita



Slovenský vedecko-technický tím (2014)

Dôvod pre hlboké slovenské know-how o VVER



Reaktory VVER

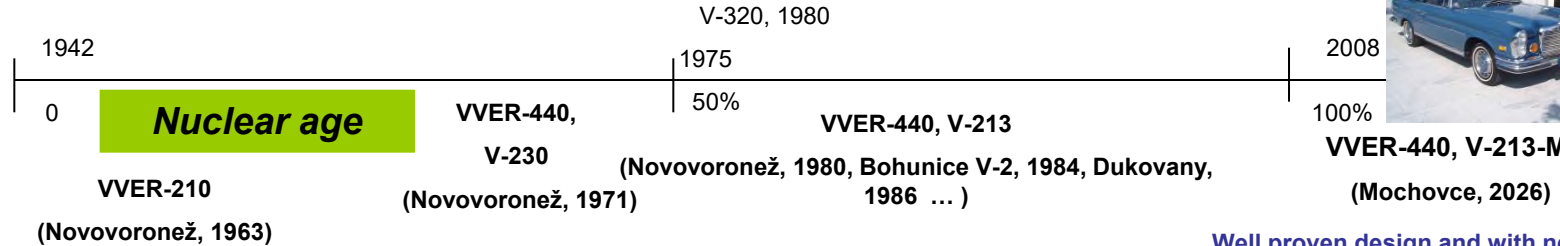
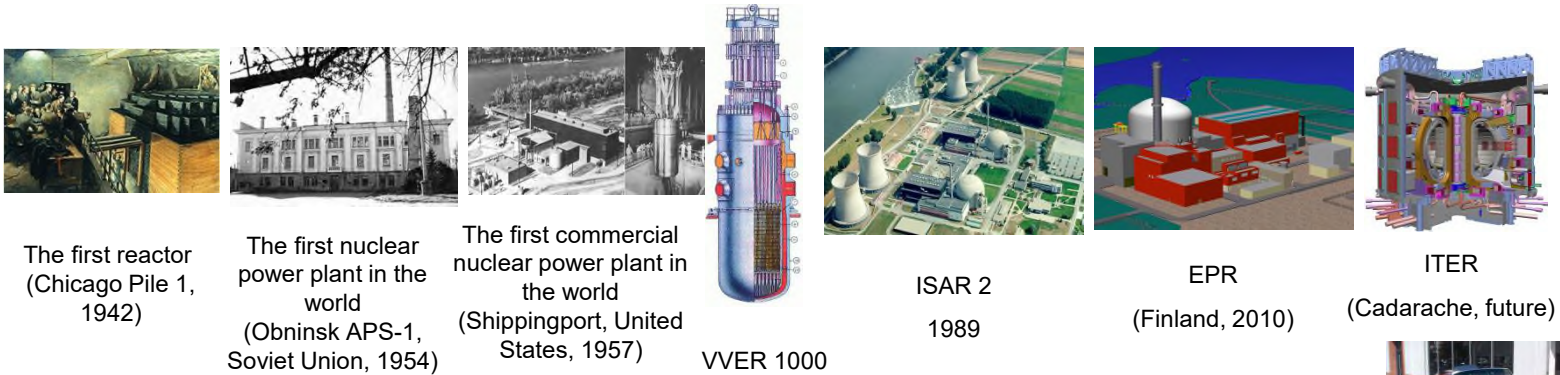
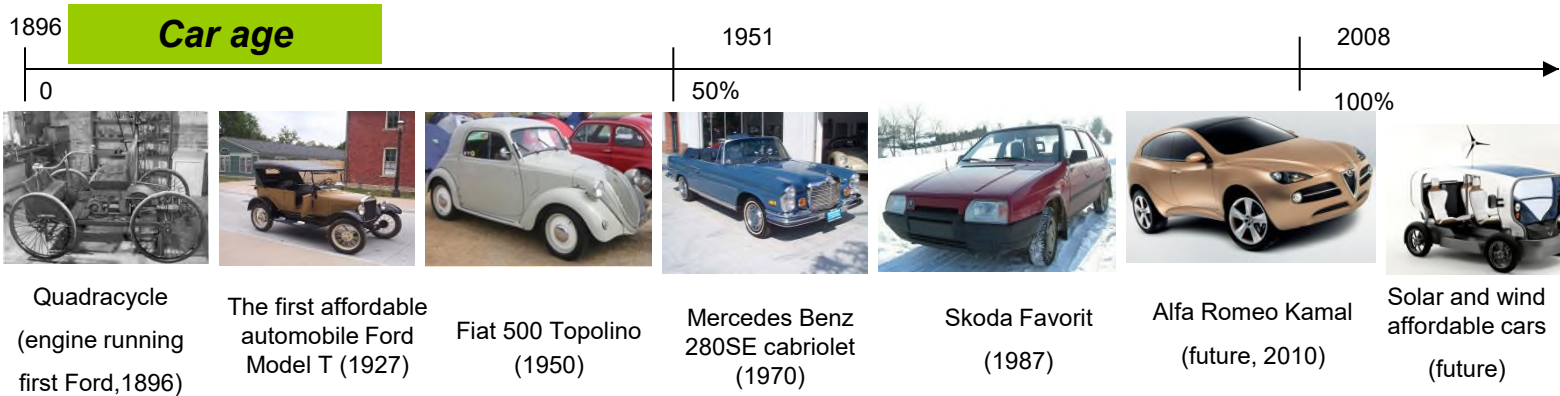
- V priemyselnej prevádzke od 1963 (Novovoronež V-210, Rheinberg V-70)
- 67 blokov prevádzkuje 12 krajín sveta (najrozšírenejší typ)
- 20 blokov vo výstavbe
- 19 blokov (z toho 15 VVER-440) prevádzkujú štáty EU (Sk, F, CR, Bul, H)
- 15 (2 VVER-440 v Rovne) sa nachádza na Ukrajine

Predĺžená prevádzka VVER (60-100 rokov) bez ich generálneho dizajnéra OKB (Gidropress) je nielen pre Slovensko veľkou výzvou najmä pre VVER-440, V-213!

Na zachovanie know-how „posledného Mohykána VVER-440“ – Slovenska - treba vyčleniť a odkladať peniaze zo zisku už teraz (nielen na decommissioning, ale aj know-how).

SLUGENĚ, V.: Safety of VVER-440 reactors: barriers against fission products release. Springer-Verlag London limited, 2011, ISBN 978-1-84996-419-7, 178pp.

SLUGENĚ, V.- BOŽIK, M. - MIKLOŠ, M. – HATALA, B. – FARKAS, G.: Nuclear fuel cycle, (ed. SNUS) Didaktis, ISBN:80-88682-62-2, (2015) 180pp.



Well proven design and with newest I&C technique safe and economical

Nový jadrový zdroj v lokalite Bohunice – historické ponaučenia:

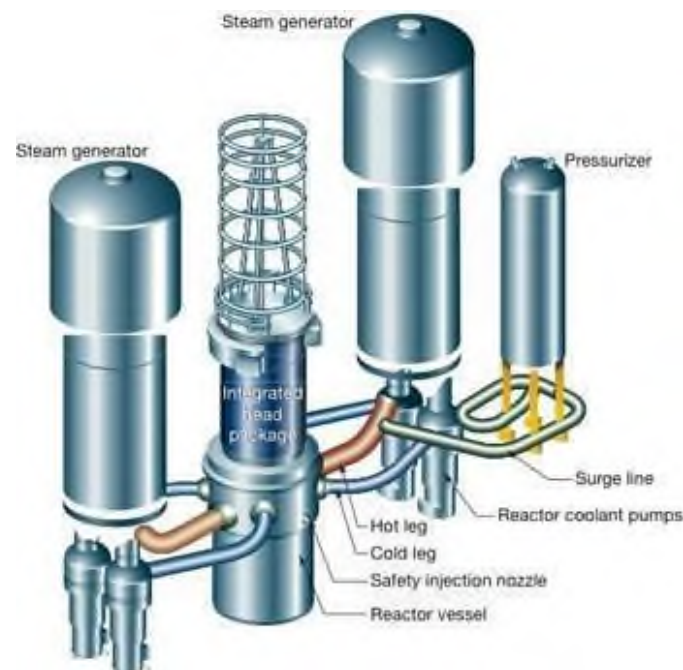
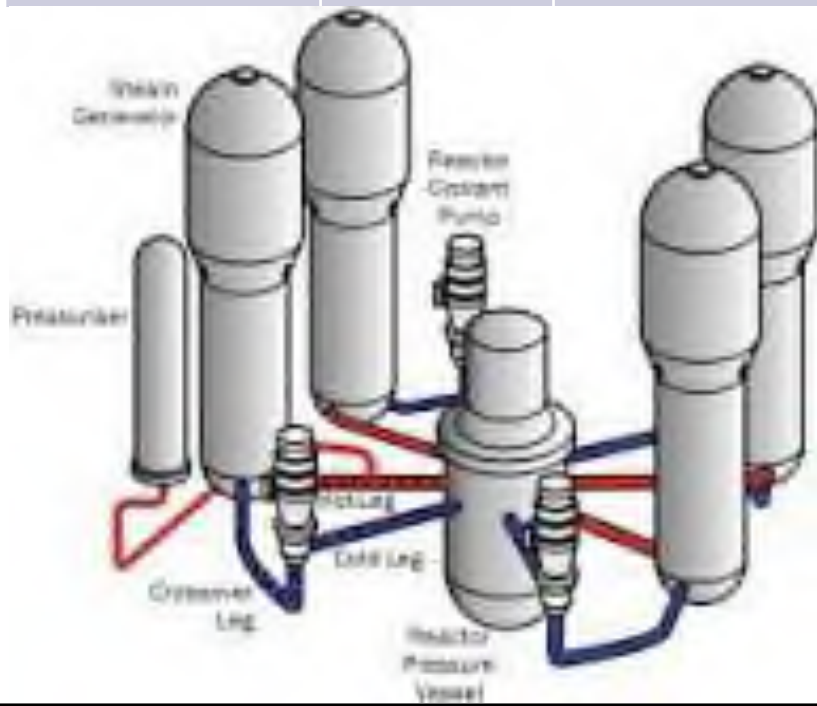
- Nové lokality nie sú – treba žiť s exist. výhodami a nevýhodami
- Rýchle vyradovanie je najlacnejšie a má smerovať k opätovnému využitiu lokality a infraštruktúry (indiv. ef. dávka $<0,01$ mSv, výnimočne $<0,05$ mSv, kolekt. ef.dávka < 1 manSv)
- Najdôležitejší sú ľudia
- Jadrová hrdosť (nuclear proudness)



Simulácia - Bohunice site

Porovnanie transportovateľnosti komponentov jednotlivých projektov

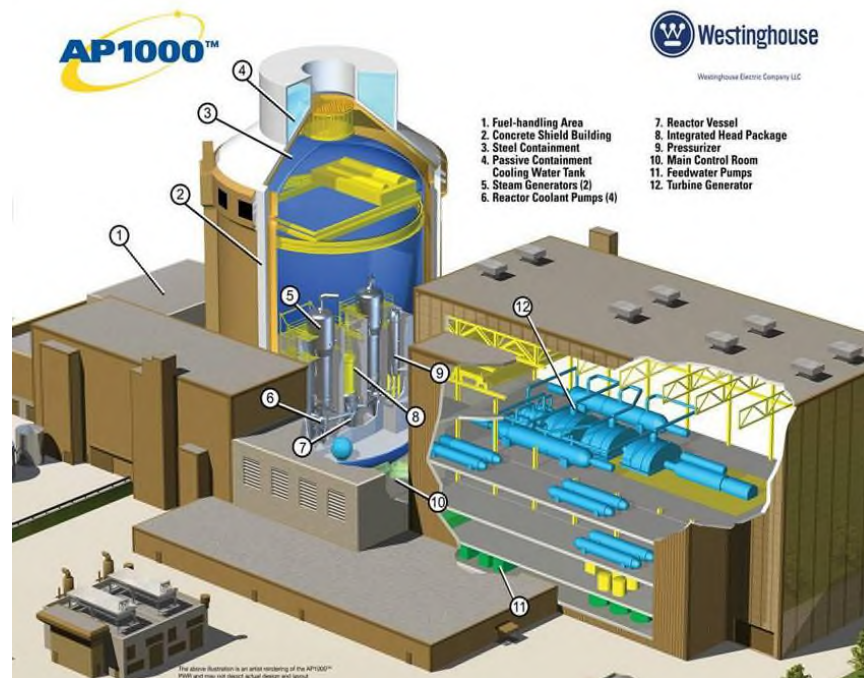
Projekt	Výkon brutto [MWe]	TNR Priemer/výška [m]	TNR Hmotnosť [t]	PG Priemer/dĺžka [m]	PG Hmotnosť [t]
EPR	1750	5,4 / 12,7	526	5,168 / 24,2	550
AP1000	1200	4,4 / 12,1	295	5,6 / 22,5	664
VVER-1000 (Mir-1200)	1198	4,6 / 10,6	330	4,6 / 13,8	330



AP1000 - SWOT

+ Spĺňa požiadavku na výkon do 1200 MW aj že ide o osvedčený prevádzkovaný blok
+ rýchla výstavba vďaka modularite
+ relatívne najmenšia zastavaná plocha, najnižšie požiadavky na tech. vodu
+ maximum pasívnych bezpečnostných prvkov (elegantly zvláda ťažké havárie, ale ťažšie zvláda straty elektrického napájania vlastnej spotreby)
+ minimum komponentov, zjednodušená údržba

- Potreba frekvenčných meničov zo 60 na 50 Hz
- Chýba core catcher – nahradený 2 obálkami
- Schémy, jednotky i montážne náradie v inch.
- Vonkajší kontajntment je otvorený – problém s požiadavkami na ochranu proti pádu lietadla
- Problém s transportom PG o váhe 664 ton a dĺžke 22,4 m.
- PG budú počas celej životnosti asi nevymeniteľné (podobne ako TNR)
- Pri pasívnych systémoch dochádza k širokému zaplaveniu – náročnejšie na dekontamináciu
- Westinghouse bude zadávať výrobu jednotlivých komponentov po celom svete – náročná koordinácia dodávateľov



Neistoty v slovenskej jadrovej energetike

- Infraštruktúra, ľudské zdroje, znalosti!!!
- Medzinárodné trendy, limity a tlaky sa v čase zvyšujú... Časový faktor
- Predĺženie životnosti JE o 20 rokov prinesie zisk > 3 mld Euro
- Náklady na vyradovanie a HU rastú rýchlejšie ako kumulácia peňazí z povinných odvodov do NJF
- Odstavenie JE pred plánovaným termínom.

V. Sugeň: Potential sources of uncertainties in actual Slovak nuclear power policy. In: Clean Energy Science and Technology 2026, 4(1), 520.

Opatrenia

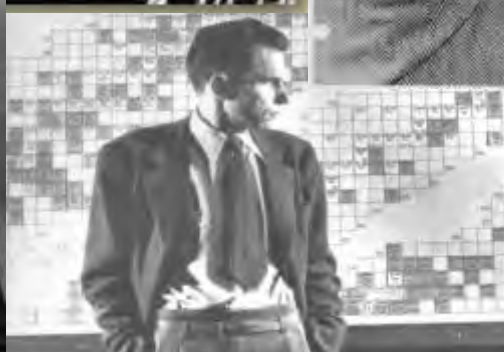
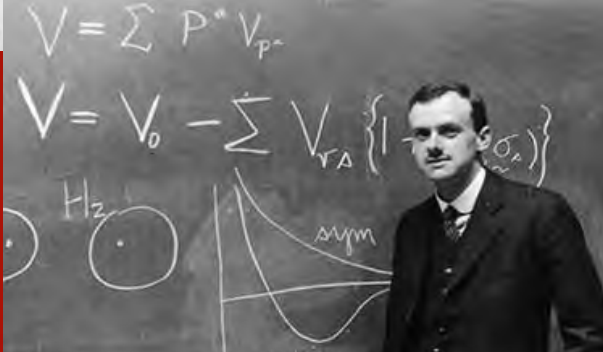
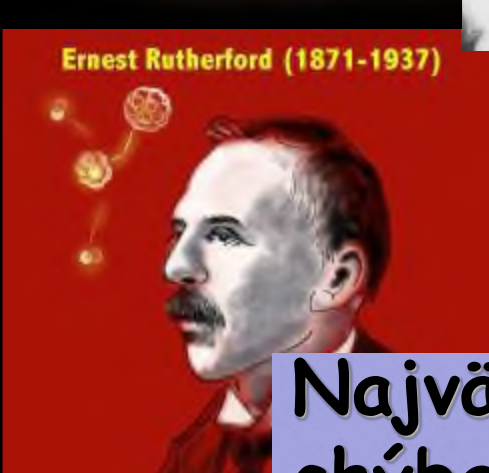
Zmysluplné investície v reálnom čase (lakomstvo stojí veľa peňazí...).

Rýchle a pragmatické riešenia sú najlacnejšie. (kto príde neskoro ku stolu, tomu sa nič neujde).

Časť zo zisku treba vložiť do vzdelávania a infraštruktúry (nezmyselnosť predaja SE, resp. nevykúpenia podielu ENELu, keď to bolo možné)

Aktualizácia vnútroštátneho programu a vládnych nariadení.

- Prevádzkovateľ je povinný znášať náklady. Bude ale aj toho schopný?
- Vláda SR musí nájsť financie (...zdaní obyv.)



Najväčším rizikom v jadrovej energetike sú chýbajúce vedomosti

