

Technologický základ proliferace jaderných zbraní

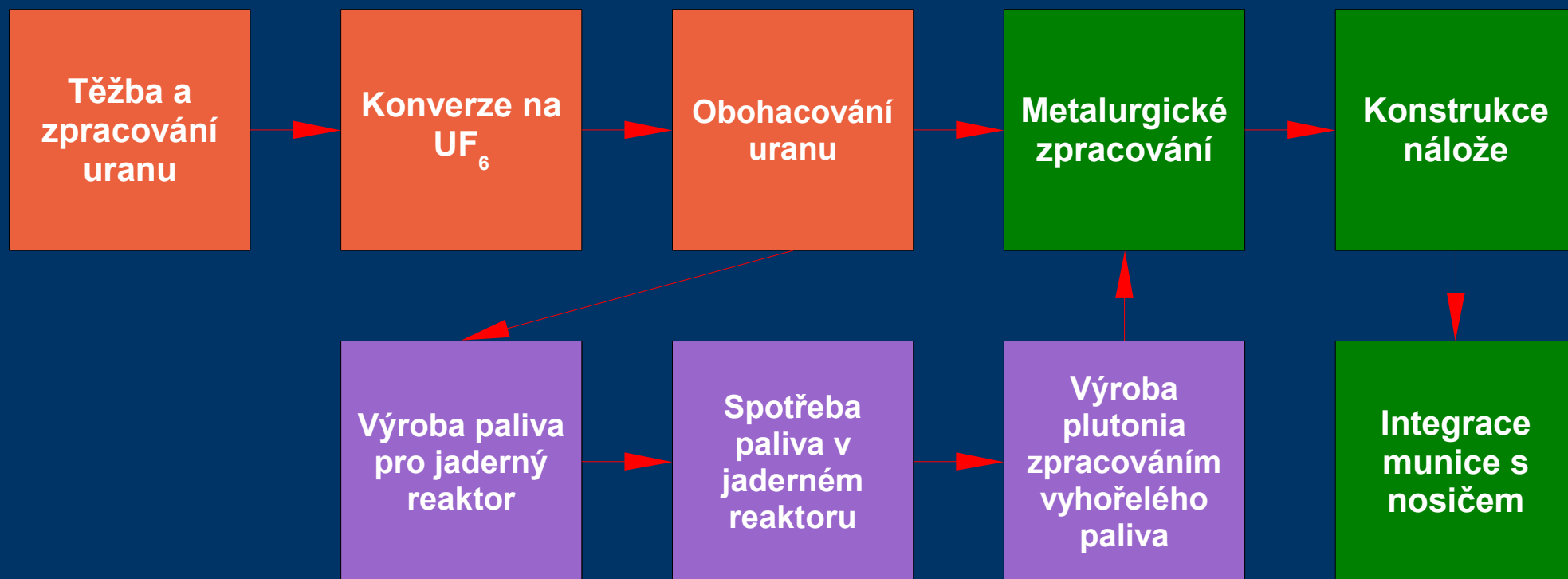


Adam Strauch

Agenda

- Schéma procesu výroby jaderné zbraně
 - Uranová ruda → UF_6
 - Obohacování uranu – přehled a definice
 - Plynová difúze
 - Plynová centrifuga
 - Elektromagnetická metoda
 - Další metody
 - Plutonium
 - Dostatečné množství štěpného materiálu
 - Konstrukce jaderné nálože
 - Jaderná zbraň dělového typu
 - Jaderná zbraň implozního typu
 - Generace jaderných zbraní
 - Tritium
 - Termonukleární zbraň
 - Testování jaderných zbraní – účel
 - Testování jaderných zbraní – aktéři a lokality
 - Integrace s nosičem
-
-

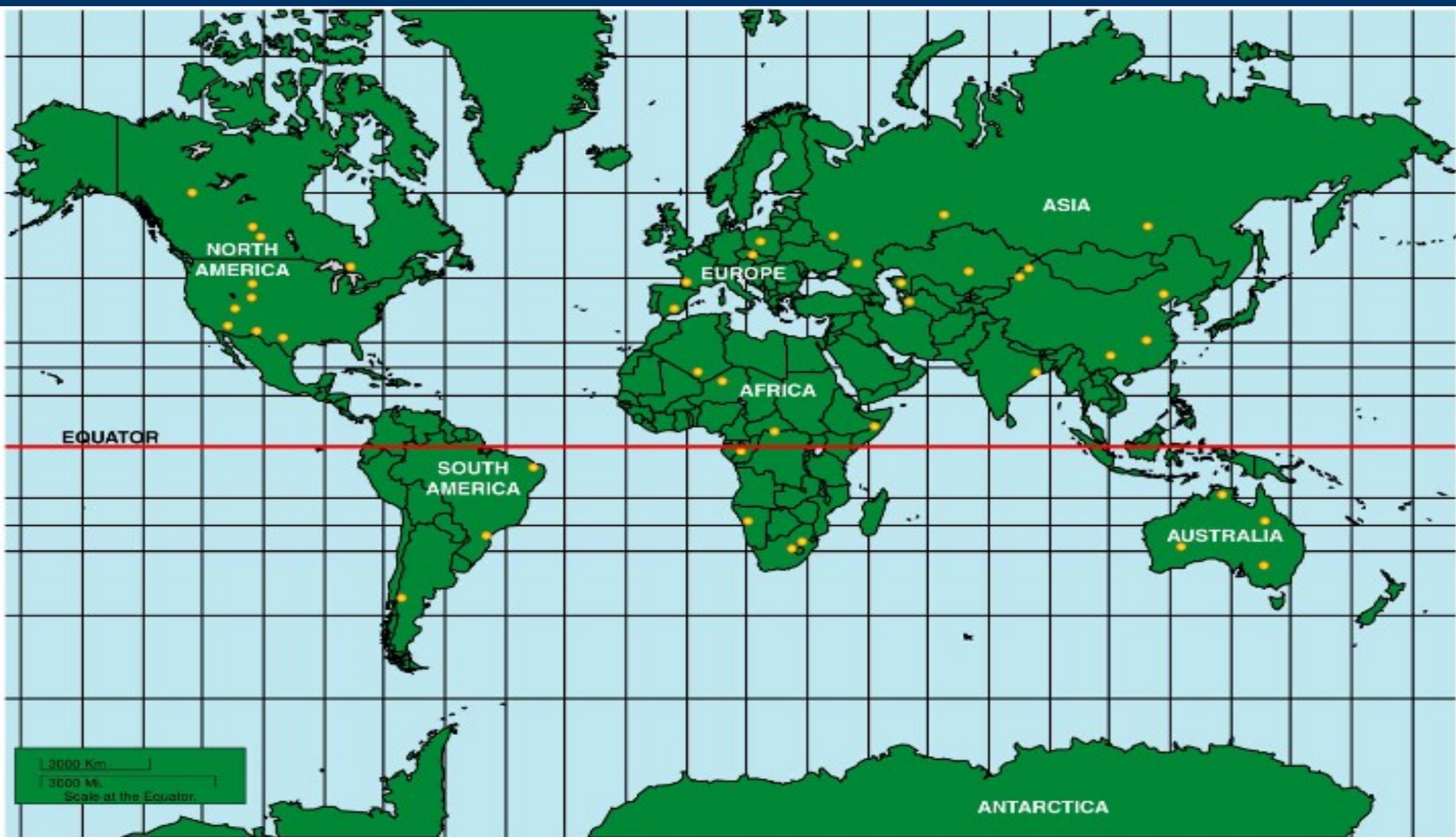
Schéma procesu výroby JZ



Od uranové rudy po hexafluorid uranu

- Uran je relativně běžným kovem, 500x častější výskyt než zlato, je nejtěžším prvkem vyskytujícím se v přírodě
 - Výskyt ve formě mnoha minerálů, nejběžnější ekonomicky využitelné jsou směsi oxidů (smolinec, uraninit, carnotit, monazit)
 - Těžba → extrakce uranu z rudy → tzv. **yellowcake** (prášek s >80 % podílem uranu) → chemický proces **konverze na UF_6**
-
-

Od uranové rudy po hexafluorid uranu



Zdroj: Robert S. Eby (USEC)

Od uranové rudy po hexafluorid uranu

TABLE 7.2

Cumulative Uranium Production, 1945–2006, tU

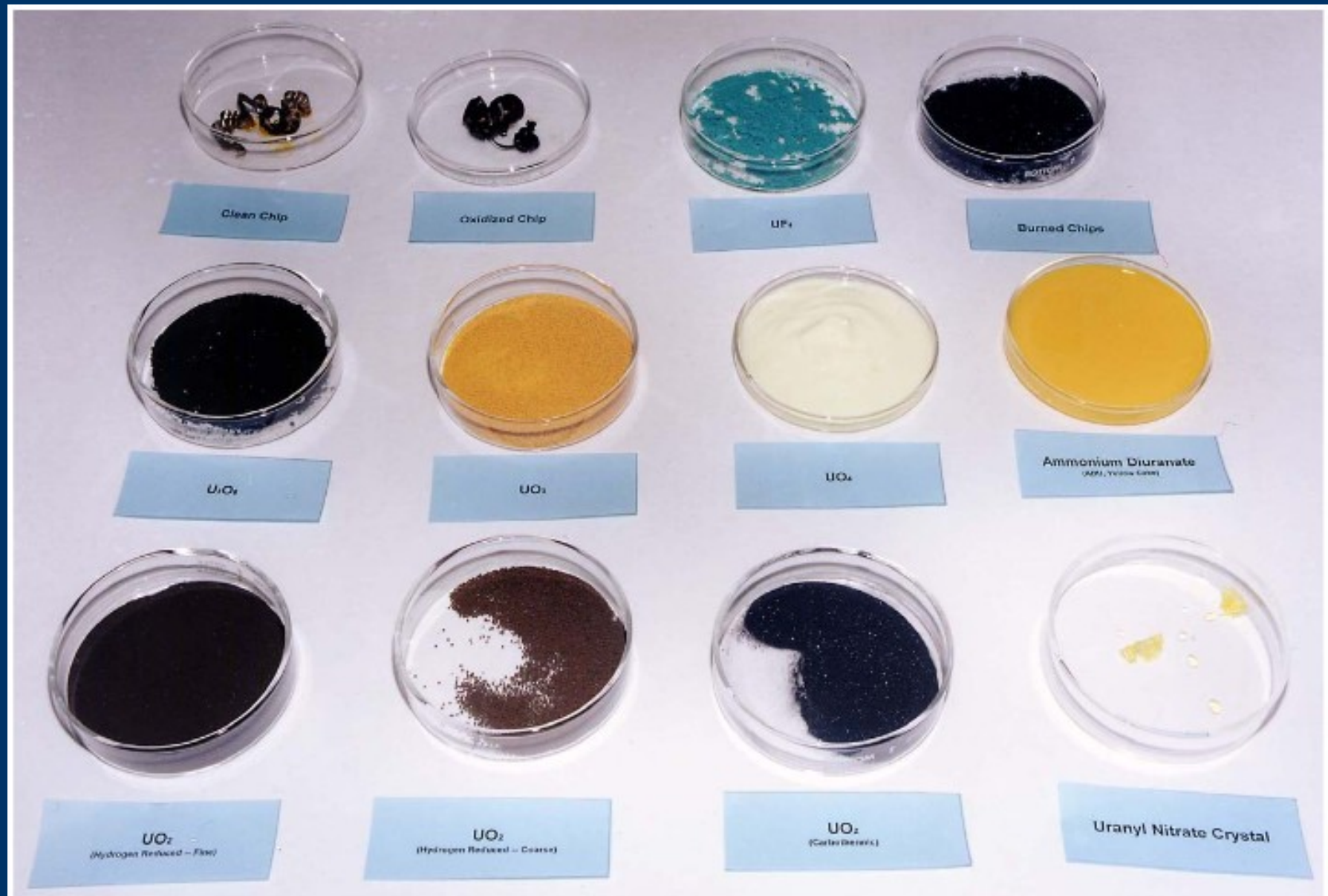
Country/Area	Cumulative Production
Australia	140,000
Canada	409,000
France	77,000
Gabon	26,000
Namibia	88,000
Niger	100,000
South Africa	159,000
USA	358,000
Others	52,000
Total West	1,409,000
Bulgaria	24,000
China ^a	36,000
Former Czechoslovakia ^b	110,000
Former East Germany	217,000
Hungary	18,000
Romania	18,000
Russia ^a	134,000
Central Asian Republics ^a	237,000
Ukraine ^a	56,000
Total East^a	850,000
World total^a	2,259,000

Source: World Nuclear Association.

^a WNA estimate;

^b Czech Republic from 1993.

Od uranové rudy po hexafluorid uranu



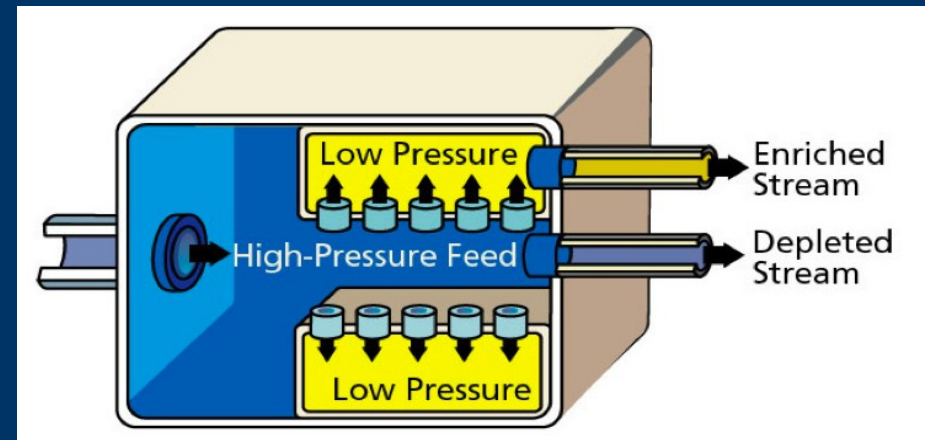
Zdroj: Robert S. Eby (USEC)

Obohacování uranu

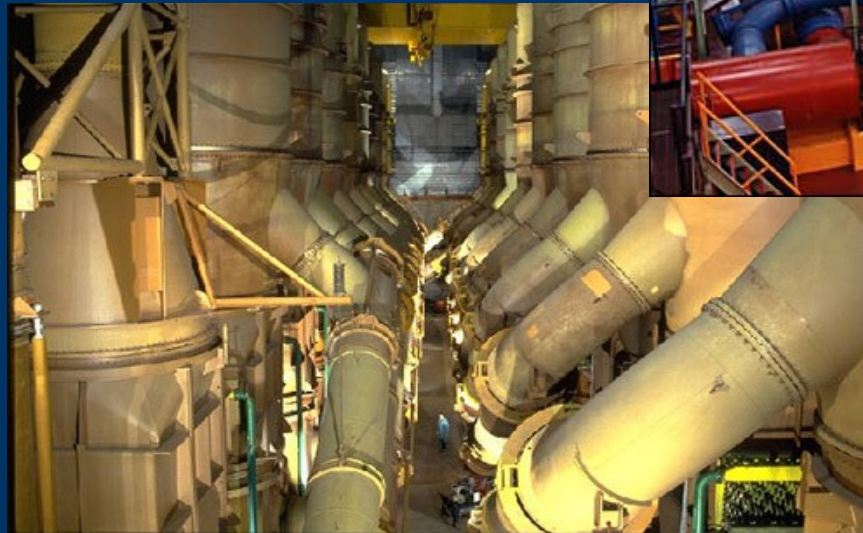
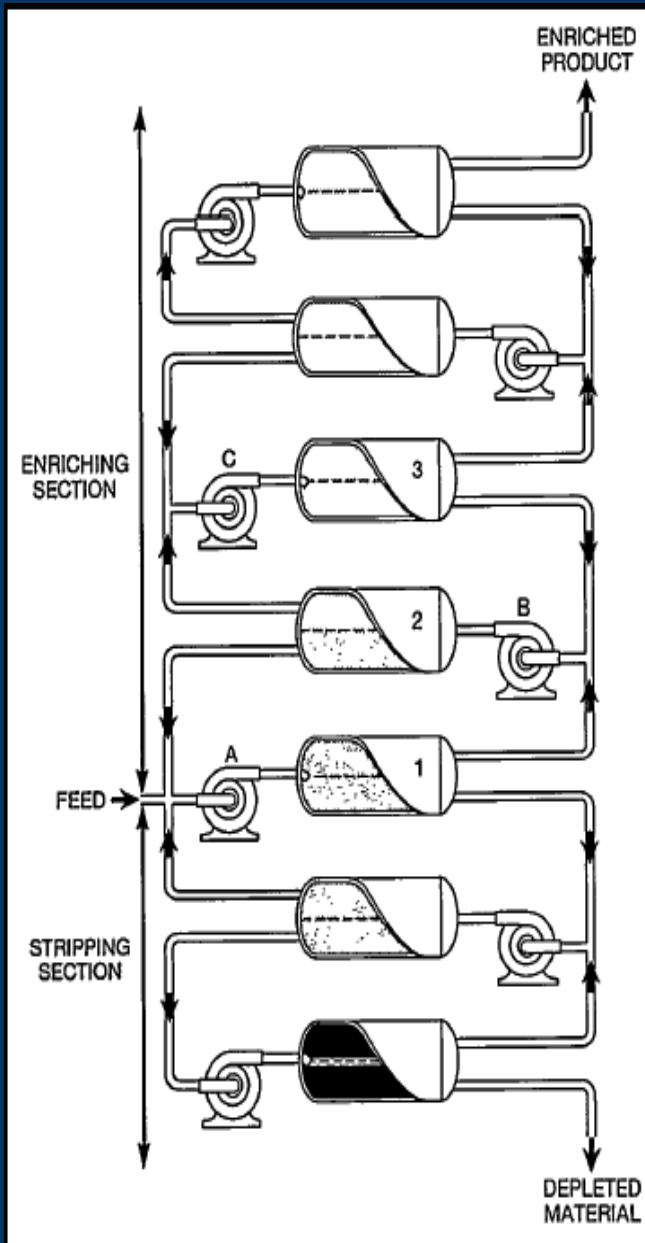
- Přírodní uran: 99,3 % ^{238}U + 0,7 % ^{235}U
 - Pro konstrukci JZ je klíčový izotop ^{235}U
 - **Obohacování je zvyšování poměru izotopu ^{235}U v rámci celkového objemu obohacované látky**
 - Cílem pro JZ je obohacení na úroveň **90 % a výše**
 - V průmyslovém měřítku využívána metoda **plynové difúze** a **plynových centrifug**
 - Vzhledem ke specifickým chemickým a fyzikálním vlastnostem je pro plynovou difúzi i plynové centrifugy **vstupem plynný UF_6**
 - Mezi další metody obohacování patří separace izotopů laserem, plazmová separace, elektromagnetická metoda a aerodynamická metoda
-
-

Plynová difúze

- Je založena na odlišné průměrné rychlosti pohybu molekul plynného skupenství UF_6 - molekuly obsahující izotop ^{235}U jsou rychlejší
- K obohacování dochází pohybem plynu skrze jemnou membránu v rámci jednotlivých úseků seřazených do kaskády
- Proces je extrémně náročný na spotřebu energie, velmi náročný na chlazení a spotřebu lubrikantů. Technická náročnost je na střední úrovni



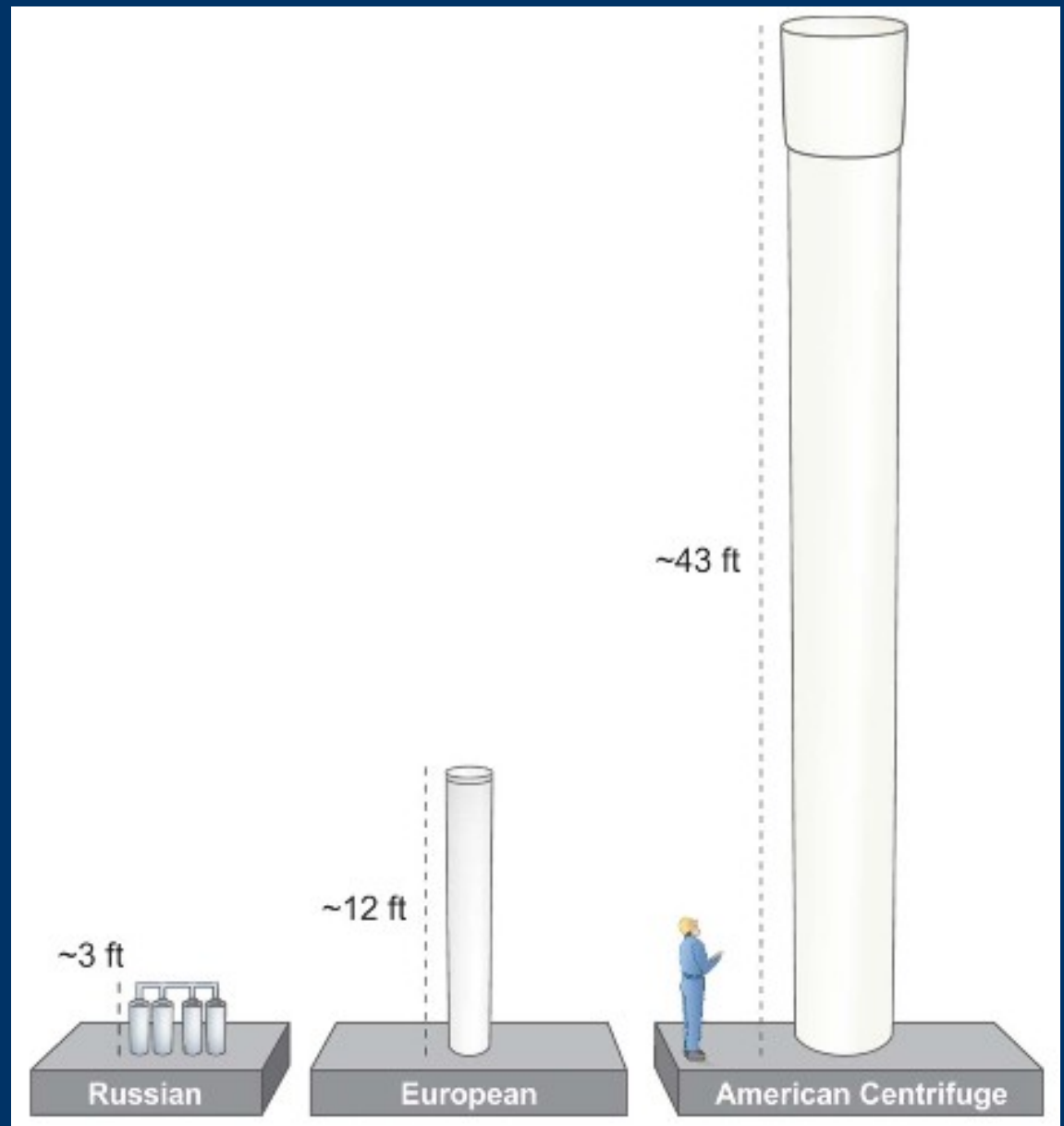
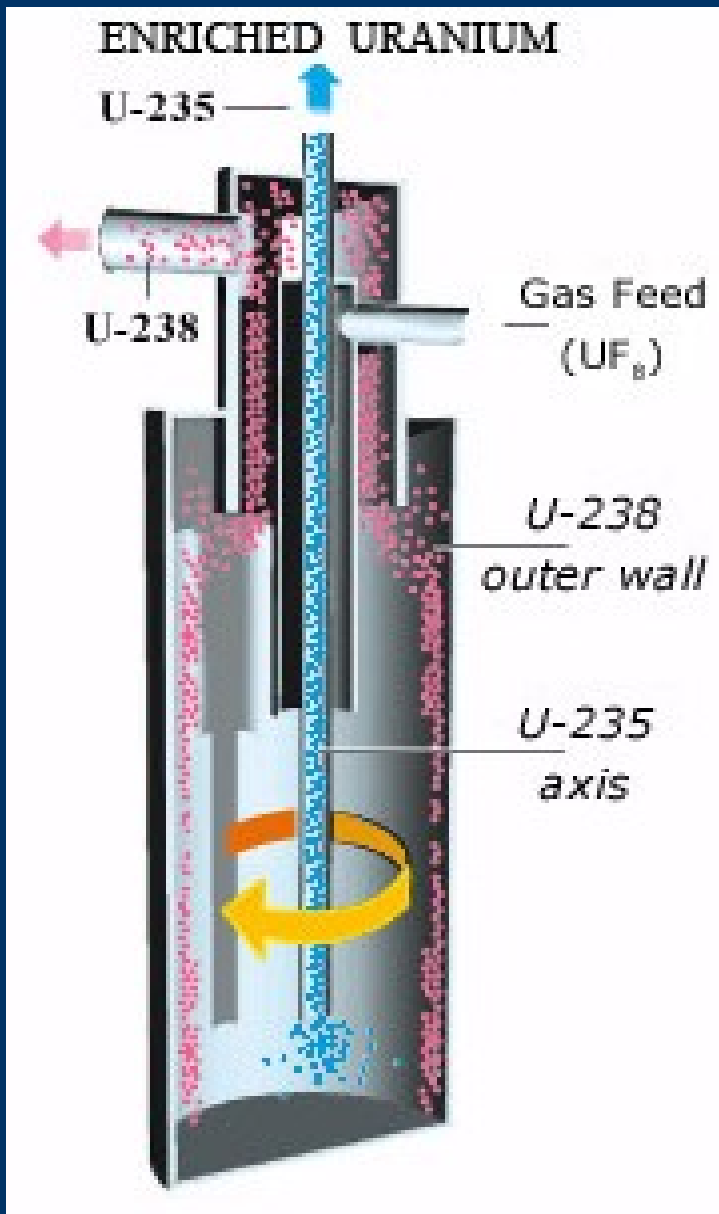
Plynová difúze



Plynové centrifugy

- Obohacování je založeno na odlišné váze molekul plynného skupenství UF_6 - molekuly obsahující izotop ^{235}U jsou lehčí
 - K obohacování dochází postupným oddělováním lehčích molekul od těžších pomocí odstředivé síly vyvolané pohybem rotoru v centrifuze, centrifugy sestaveny do kaskády
 - Metoda výrazně méně náročná na energii i chlazení, technická náročnost ovšem na vysoké úrovni
 - Míra obohacování závislá na délce a rychlosti rotoru centrifugy
 - Momentálně nejtypičtější metoda obohacování
-
-

Plynové centrifugy



Zdroj: Robert S. Eby (USEC)

Plynové centrifugy

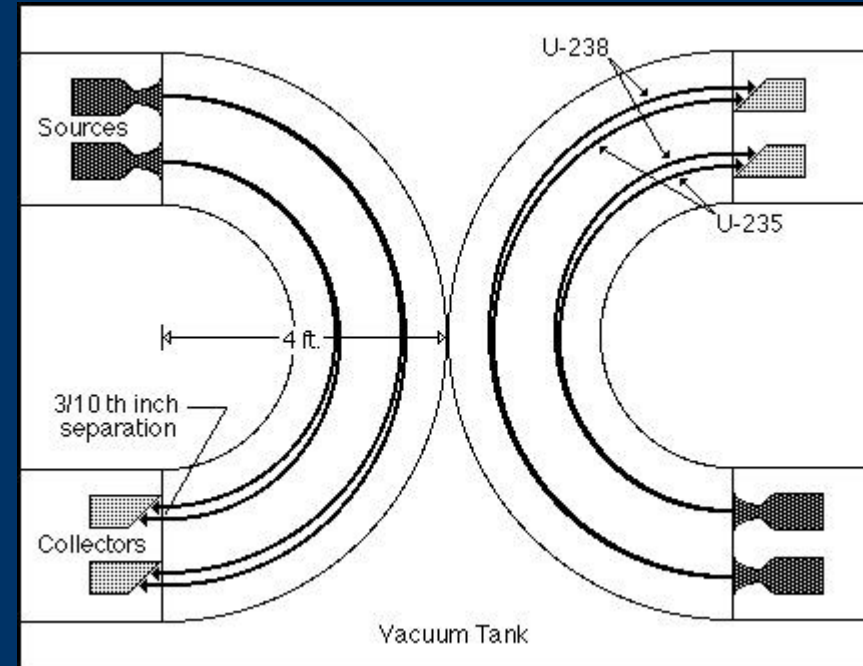
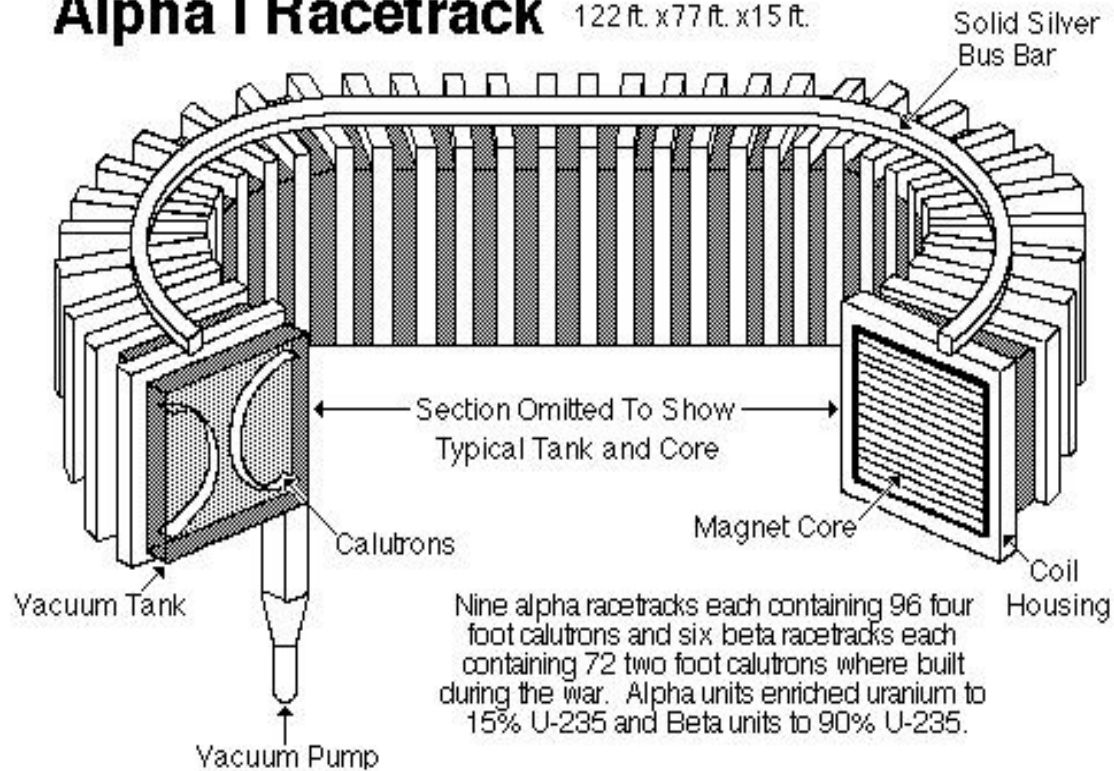


Elektromagnetická metoda

- Metoda je založena na odlišné hmotnosti izotopů uranu
 - Obohacování probíhá na základě odlišných trajektorií pohybu ionizovaných molekul UF_6 (obsahujících jeden ze dvou izotopů) vystavených silnému magnetickému poli v tzv. **calutronu**
 - Neefektivní metoda, nízká úroveň technické náročnosti
 - Štěpný materiál pro Little Boy vyprodukován v calutronu, metoda aplikována v rámci programu Iráku
-
-

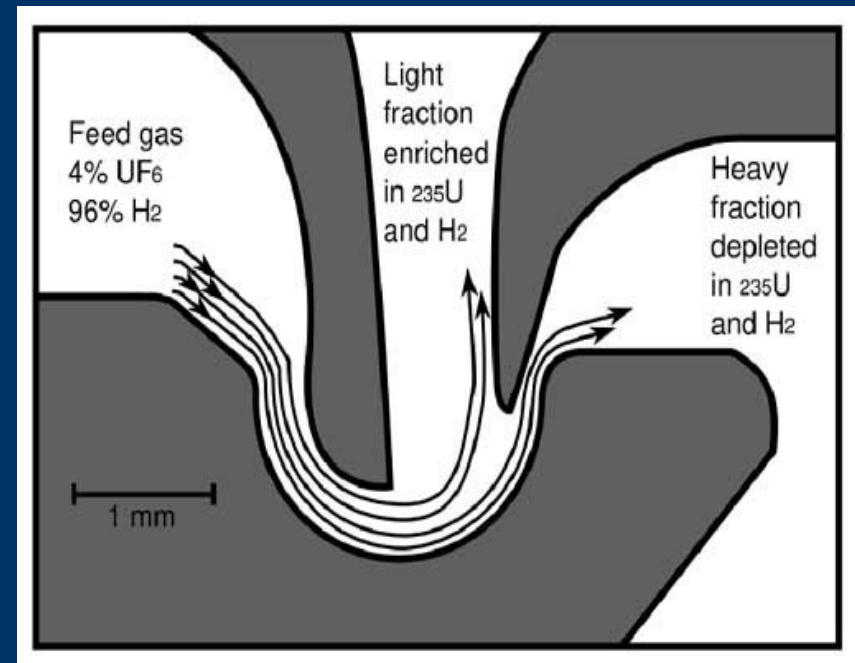
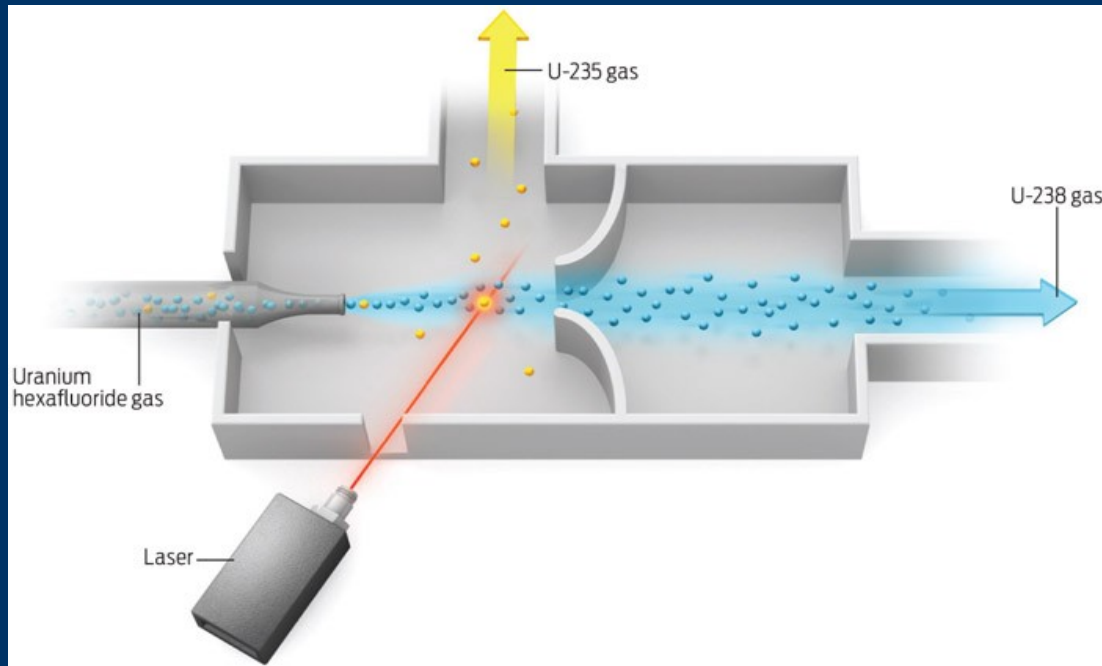
Elektromagnetická metoda

Alpha I Racetrack 122 ft. x 77 ft. x 15 ft.



Další metody

- **Metoda separace izotopů laserem** – tři různé způsoby, prozatím ve vývojové fázi, potenciálně vysoce efektivní



- **Aerodynamická metoda** – využívá principy shodné s plynovými centrifugami („nerotující centrifugy“), aplikovala JAR
- Termální difúze, Plasmová metoda, Chemická metoda

Plutonium

- Pro účely JZ klíčový izotop ²³⁹Pu
 - Tzv. „weapon-grade“ plutonium s poměrem izotopu ²³⁹Pu přes 92 % produkují specifické k tomu určené jaderné reaktory, Plutonium reaktorů určených k výrobě el. energie je pro JZ výrazně méně vhodné
 - ²³⁹Pu se z vyhořelého paliva získává chemickým zpracováním
-
-

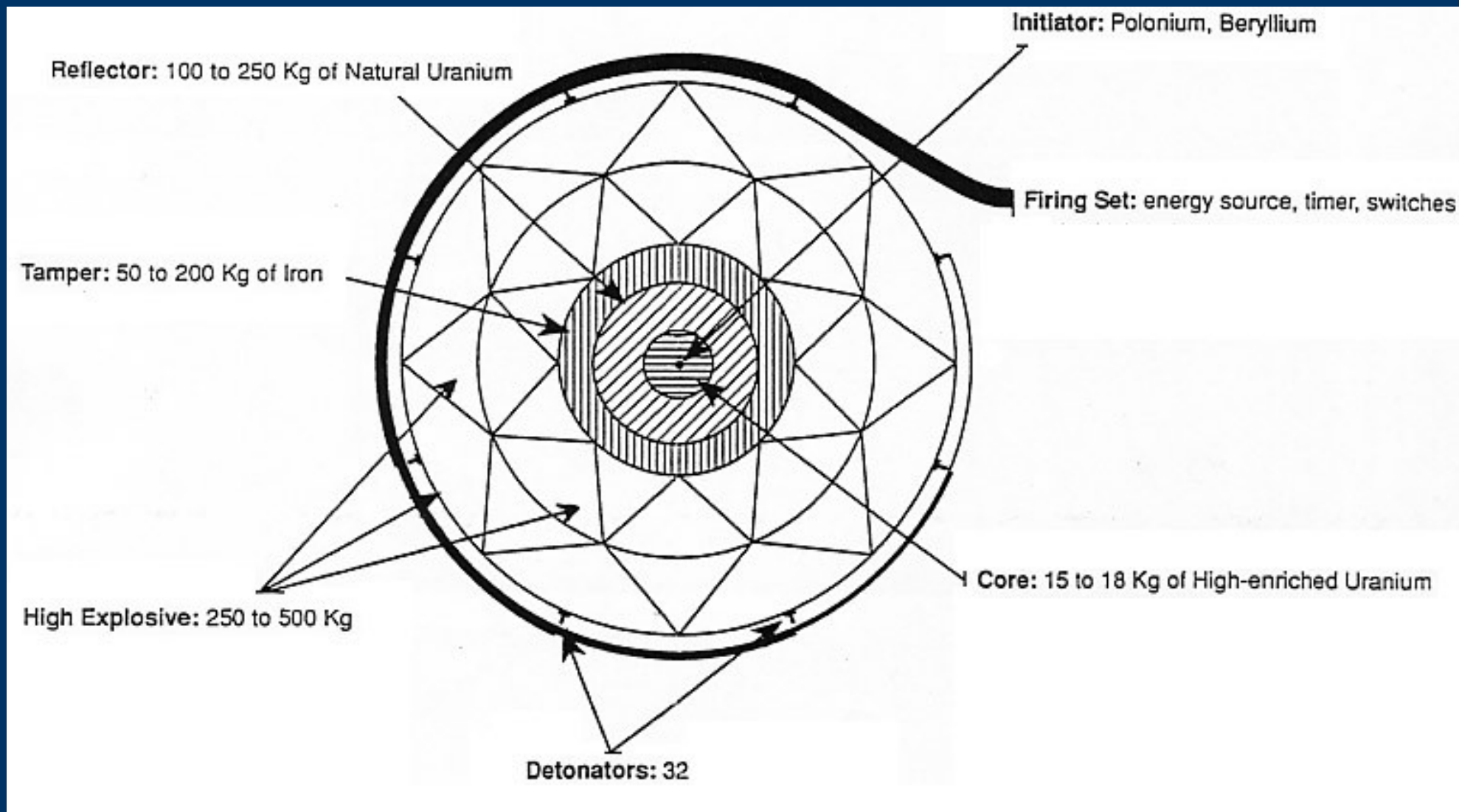
Dostatečné množství štěpného materiálu

	WEAPON-GRADE PLUTONIUM (kg)			HIGHLY-ENRICHED URANIUM (kg)		
Yield	Technical Capability			Technical Capability		
(kt)	Low	Medium	High	Low	Medium	High
1	3	1.5	1	8	4	2.5
5	4	2.5	1.5	11	6	3.5
10	5	3	2	13	7	4
20	6	3.5	3	16	9	5

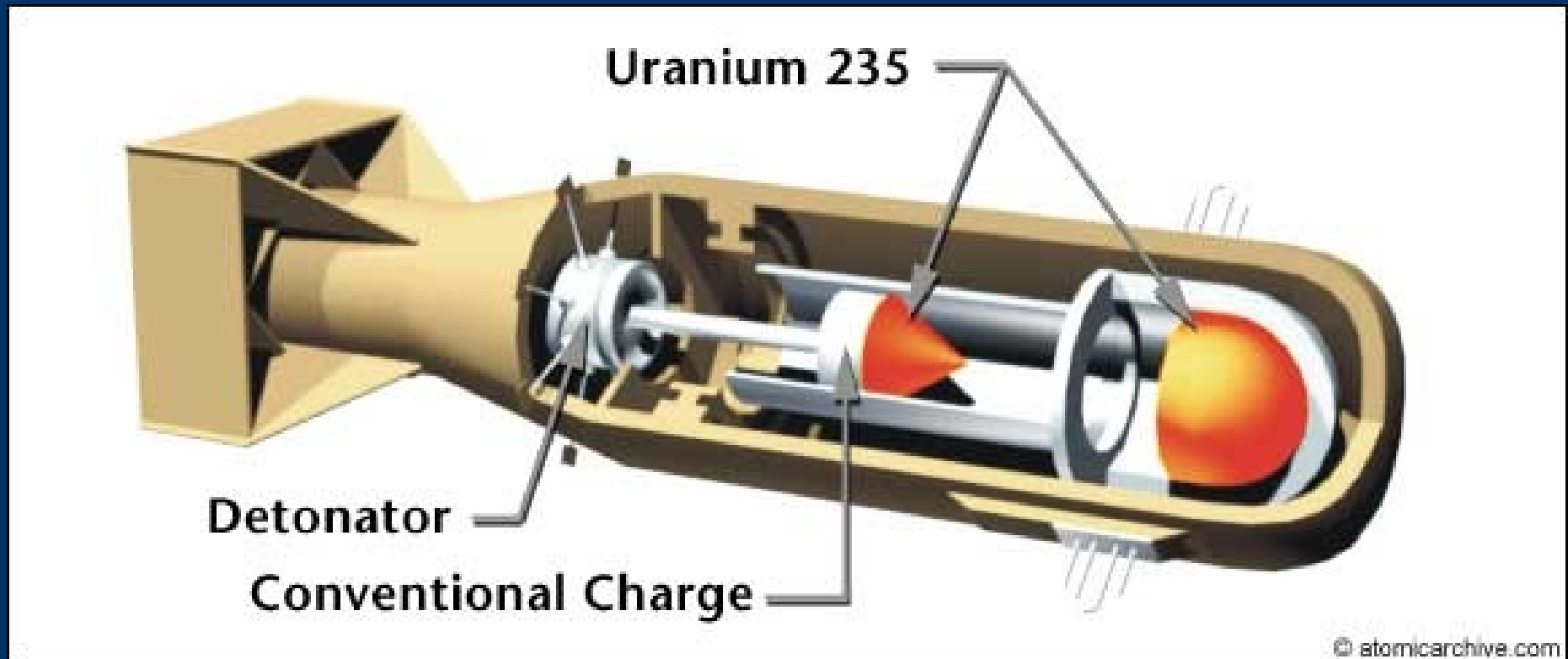
Konstrukce jaderné nálože

- Štěpný materiál dále metalurgicky zpracováván do požadovaného tvaru
- Zásadní význam konvenčních výbušnin – směrových náloží
- Tamper & reflector

Jaderná zbraň implozního typu



Jaderná zbraň dělového typu



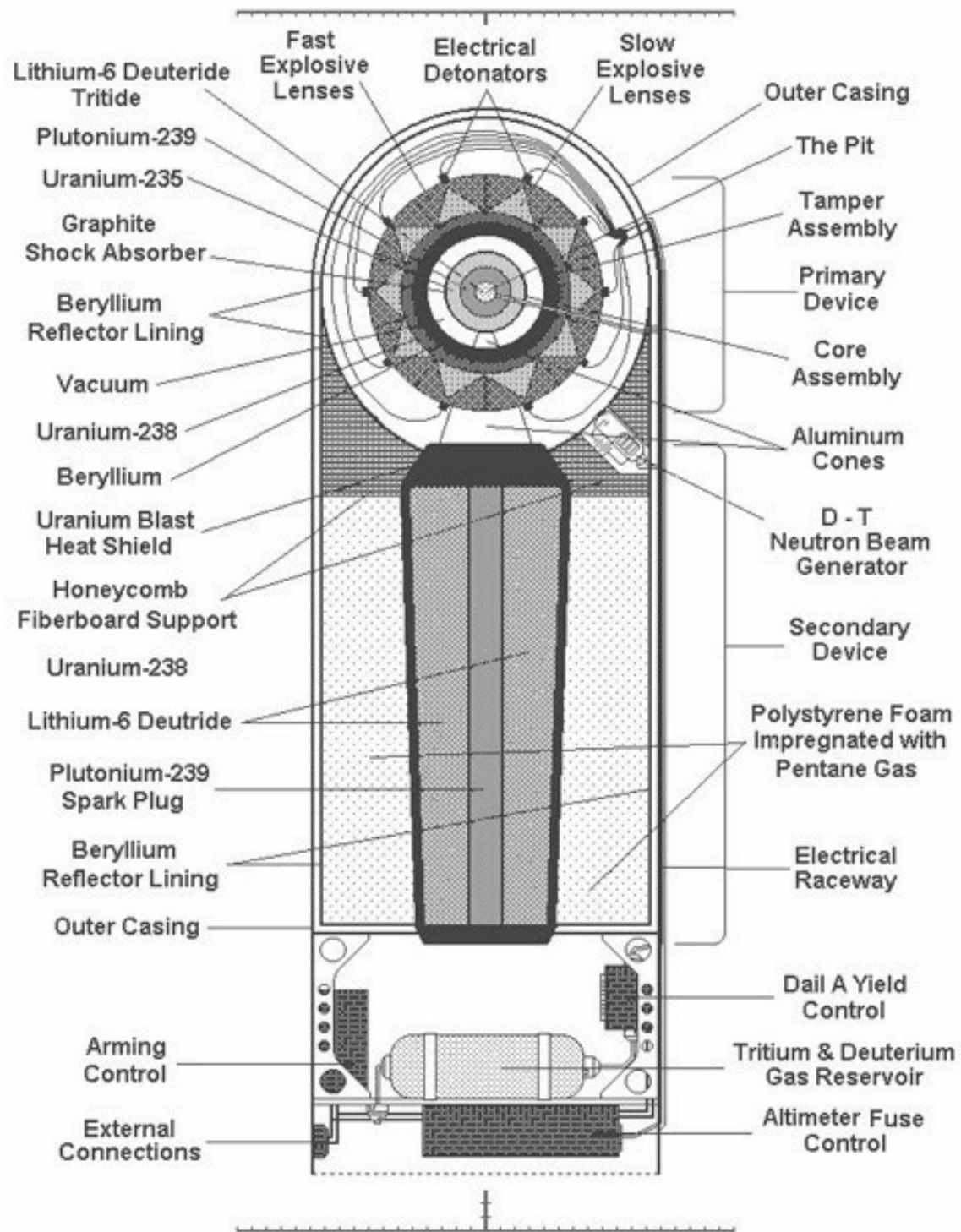
Generace jaderných zbraní

- První generace – čistě „štěpné“ JZ (do 50 kT)
 - Druhá generace – „štěpné“ JZ se zvýšeným účinkem (do 500 kt)
 - Třetí generace – termonukleární JZ (Mt)
-
-

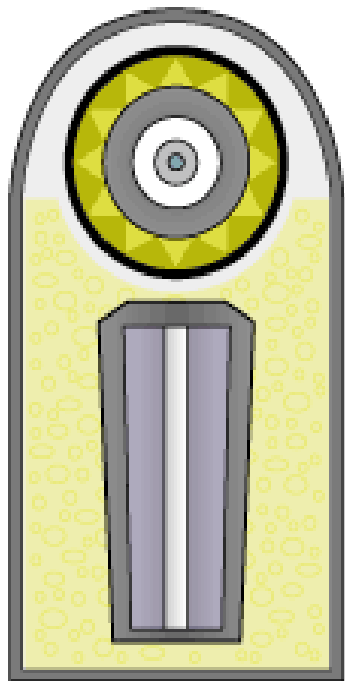
- Supertěžký izotop vodíku – ^3H
- Minimální výskyt v přírodě, výroba v jaderných reaktorech
- Uvolňuje neutron při reakci s deuteriem
- Nezbytné pro zvýšení účinku štěpné JZ
- Funkce tritia v JZ:
 - 1. Generátor neutronů
 - 2. Zvýšení účinku „štěpných“ JZ (směs vysoce čistého tritia a deuteria vstříknuta pod tlakem do dutého středu jaderné nálože) a součást termonukleárních zbraní
 - 3. Umožňuje operační nastavení ničivosti JZ
 - 4. Klíčová součást tzv. neutronových zbraní

Termonukleární zbraň

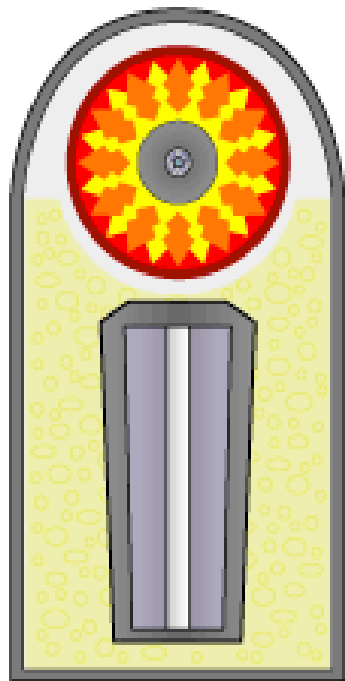
- Dvou a více stupňový design
 - První stupeň „štěpná“ nálož se zvýšeným účinkem
 - Druhý stupeň založen na fúzi izotopů vodíku (tritium a deuterium) za vysoké teploty (sto milionů °C) zajištěné prvním stupněm
 - Fúzním palivem druhého stupně sloučenina lithia a deuteria – produkuje tritium, jež se následně slučuje s deuteriem
 - Zásadní význam rentgenového záření uvolněného prvním stupněm
 - Polovina a více z celkové uvolněné energie je produktem fúze (na rozdíl od „štěpných“ zbraní, i se zvýšenou účinností)
 - Teoreticky neomezená ničivost
-
-



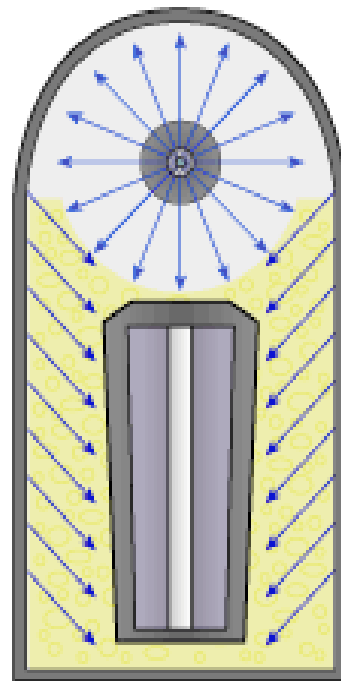
Termonukleární zbraň



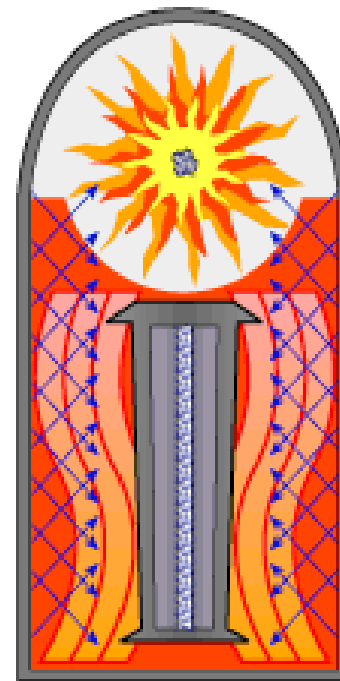
1. Warhead before firing; primary (fission bomb) at top, secondary (fusion fuel) at bottom, all suspended in polystyrene foam.



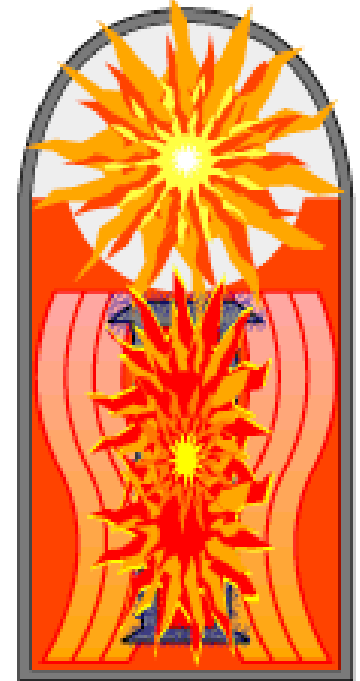
2. HE fires in primary, compressing plutonium core into supercriticality and beginning a fission reaction.



3. Fissioning primary emits X-rays which reflect along the inside of the casing, irradiating the polystyrene foam.



4. Polystyrene foam becomes plasma, compressing secondary, and plutonium sparkplug begins to fission.

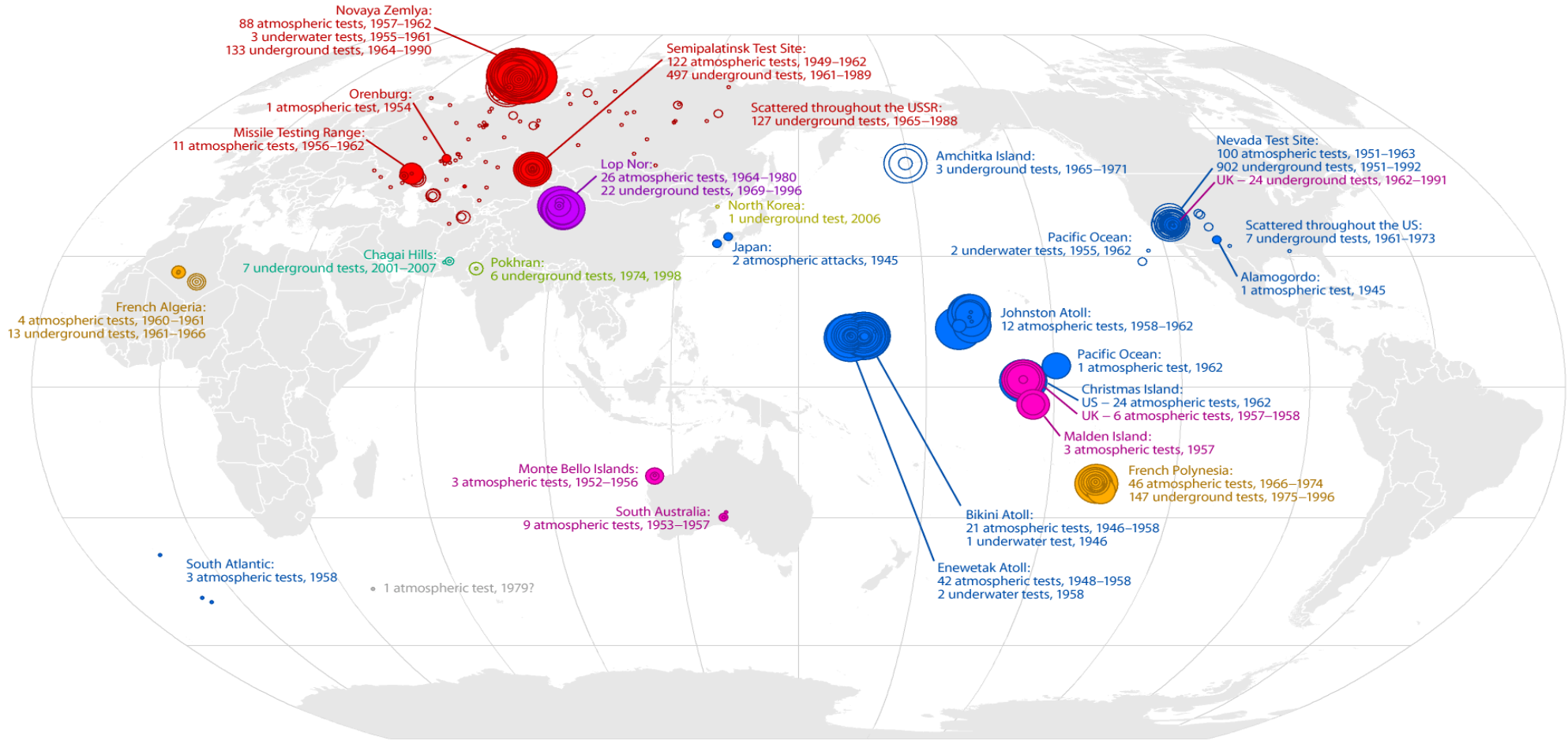


5. Compressed and heated, lithium-6 deuteride fuel begins fusion reaction, neutron flux causes tamper to fission. A fireball is starting to form...

Jaderné testy

- Jaderné testy prováděny za účelem:
 - 1. Vývoje nových jaderných zbraní
 - 2. Pochopení efektů jaderných výbuchů
 - 3. Verifikace spolehlivosti jaderných zbraní ve výzbroji
 - 4. Vývoje mírového užití jaderných výbuchů
- Subkritické testy

Nuclear Explosions since 1945



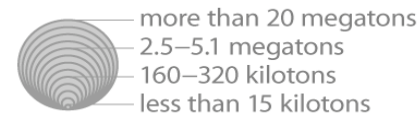
Country:	Year of first detonation:	Number of detonations:		
		atmospheric	underground	underwater
United States	1945	206	912	5
USSR	1949	223	756	3
United Kingdom	1952	21	24	
France	1960	50	160	
China	1964	22	26	
Israel?	1967 ?			
India	1974		6	
South Africa?	1979 ?	1 ?		
Pakistan	1998		7	
North Korea	2006		1	

not all data is official, and some locations are approximate. data source: <http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/tests>

Each explosion is represented by a circle.
Many of these circles overlap.

- Filled circles are atmospheric detonations
- Hollow circles are underground or underwater tests

The size of each circle represents the yield of the blast.
The scale is not linear:



Integrace munice s nosičem

- Weaponizované jaderné zařízení = jaderná munice
- Jaderná munice + nosič = jaderná zbraň
- Různé nosiče vyžadují různé fyzické parametry jaderné munice