



**ENERGIE**

**?!?**



**POZOR !**

**NÍŽE UVEDENÁ DATA MAJÍ  
OBČAS „POLITICKÝ“  
CHARAKTER.**

**AUTOR NENÍ OCHOTEN DÁT  
ZA UVÁDĚNÁ DATA RUKU  
DO OHNĚ.**

# UVÁDĚNÉ JEDNOTKY

**1 BTU = British thermal unit = 1.055 kJ**

**1 toe = tonne oil equivalent = ekvivalent ropné tuny**

**= 7.4 barelů ropy**

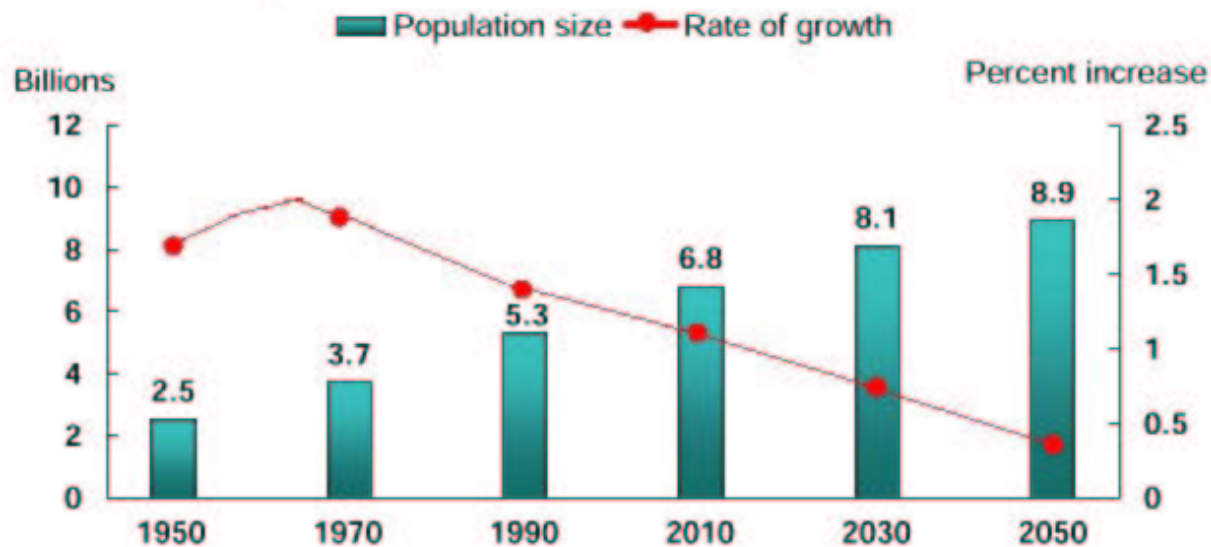
**= 1270 m<sup>3</sup> zemního plynu**

**= 2.3 tun uhlí**

**= 41.9 GJ**

## Population Size and Rate of Growth

Worldwide, 1950-2050

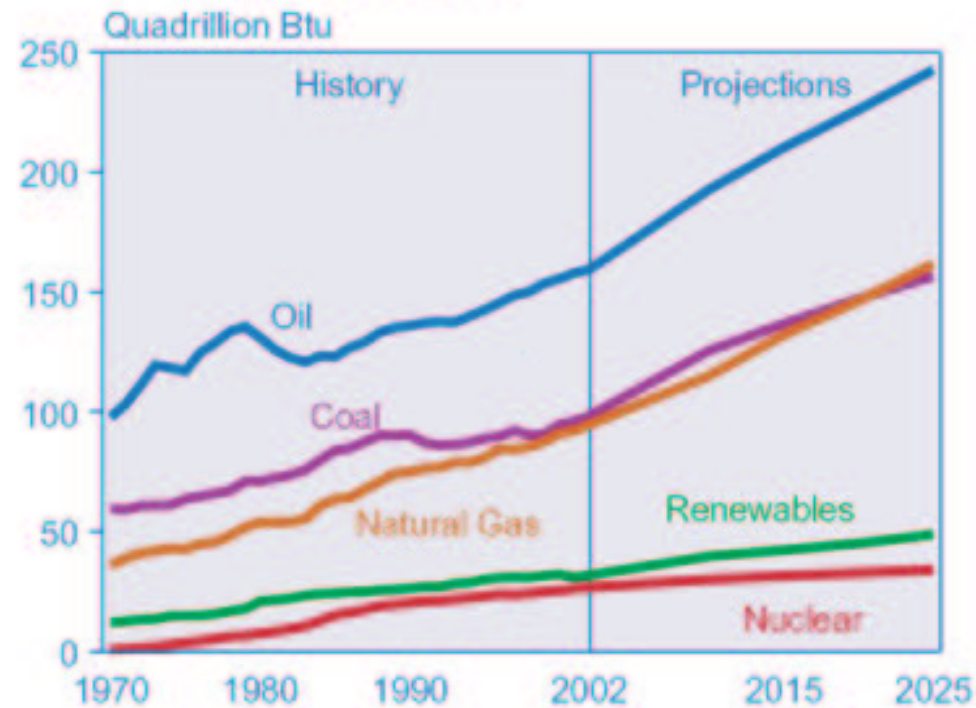


Source: UN, *World Population Prospects: The 1998 Revision*, 1998 (medium scenario).

**PRB**

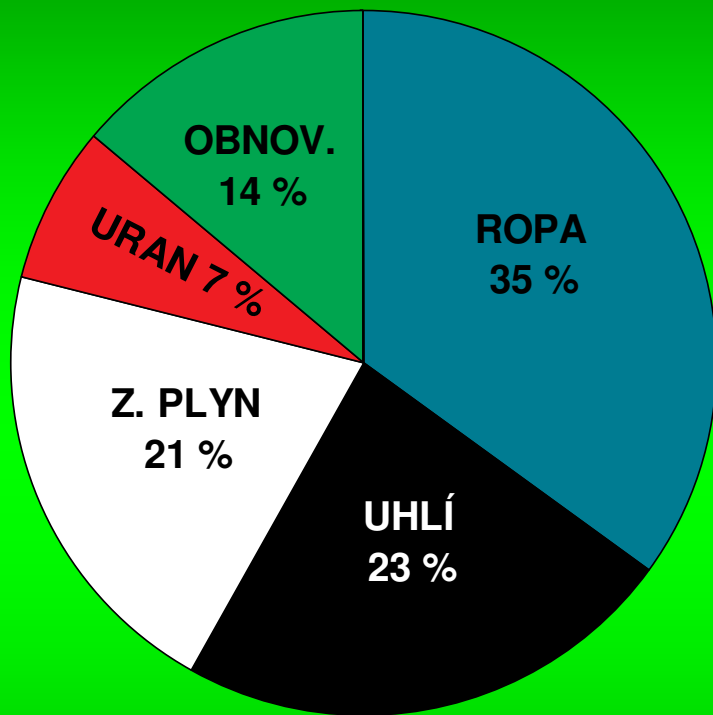
**POPULACE ROSTE A POROSTE –  
DNES 6.5 MLD A PŘÍRŮSTEK 1.3 % / ROK**

**Figure 10. World Marketed Energy Use by Fuel Type, 1970-2025**

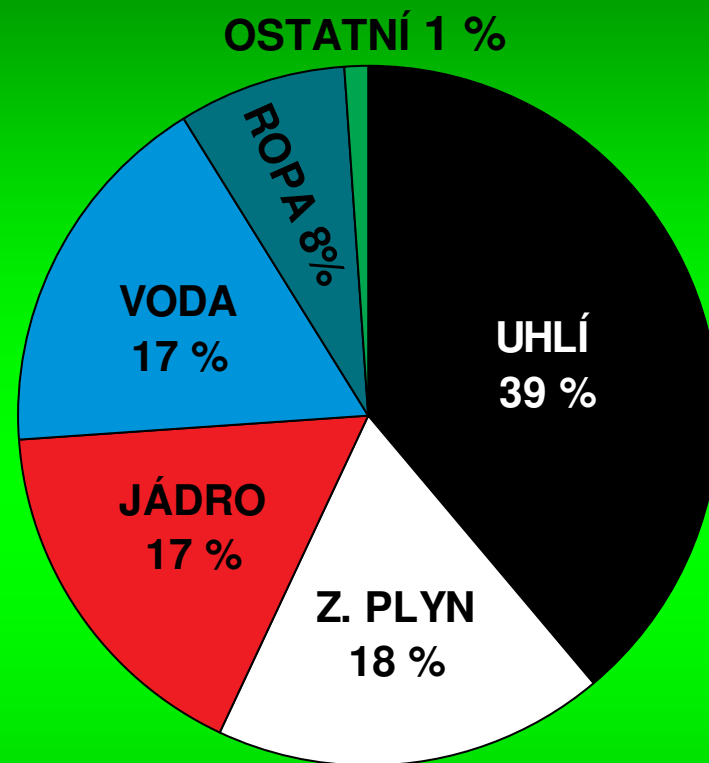


Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2002*, DOE/EIA-0219(2002) (Washington, DC, March 2004), web site [www.eia.doe.gov/iea/](http://www.eia.doe.gov/iea/). **Projections:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2005).

**SPOTŘEBA ROSTE A POROSTE –  
DNES  $430 \times 10^{15}$  BTU = 10.2 Gtoe  
A PŘÍRŮSTEK 1.4%/ROK**

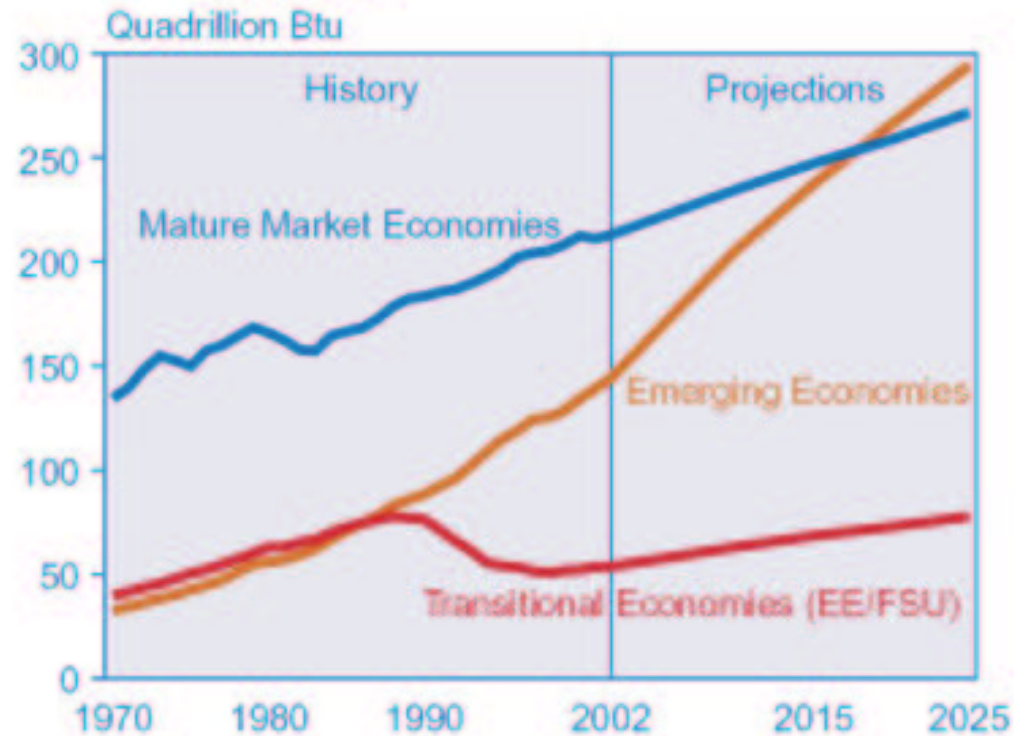


**PRIMÁRNÍ ZDROJE  
CELKOVÁ SPOTŘEBA  
450 x 10<sup>15</sup> BTU**



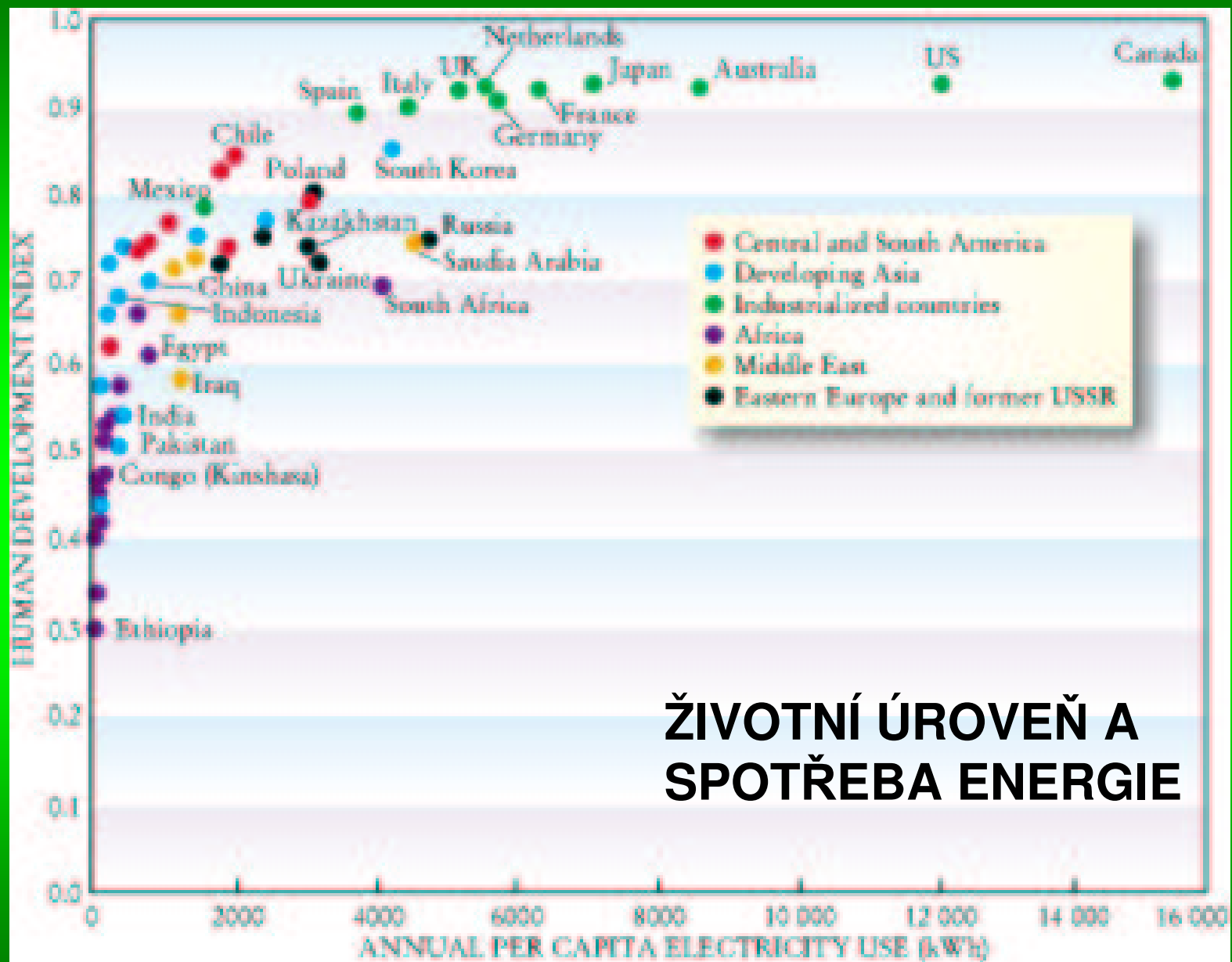
**VÝROBA ELEKTŘINY  
CELKEM 16 TWh**

**Figure 8. World Marketed Energy Use by Region, 1970-2025**



Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2002*, DOE/EIA-0219(2002) (Washington, DC, March 2004), web site [www.eia.doe.gov/iea/](http://www.eia.doe.gov/iea/). **Projections:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2005).

**ZVLÁŠTĚ CHUDÍ CHTĚJÍ ŽÍT LÉPE  
DNES cca 1.2 MLD CHUDÝCH ( 20 % )**



## ŽIVOTNÍ ÚROVEŇ A SPOTŘEBA ENERGIE



# ENERGETICKÉ ZÁSoby

ROPA 1 BLN BARELŮ  
SPOTŘEBA 26 MLD/ROK – VYDRŽÍ MAX 39 LET

ZEMNÍ PLYN 160 BLN m<sup>3</sup>  
SPOTŘEBA 2.6 BLN m<sup>3</sup> – VYDRŽÍ MAX 62 LET

UHLÍ 1 BLN t  
SPOTŘEBA 5 MLD t – VYDRŽÍ MAX 200 LET

URAN 4 Mt  
SPOTŘEBA 35 kT – VYDRŽÍ MAX 115 LET  
( DNEŠNÍ ZPŮSOB VYUŽITÍ )

# FOSILNÍ PALIVA PRODUKUJÍ CO<sub>2</sub>

ZEMNÍ PLYN

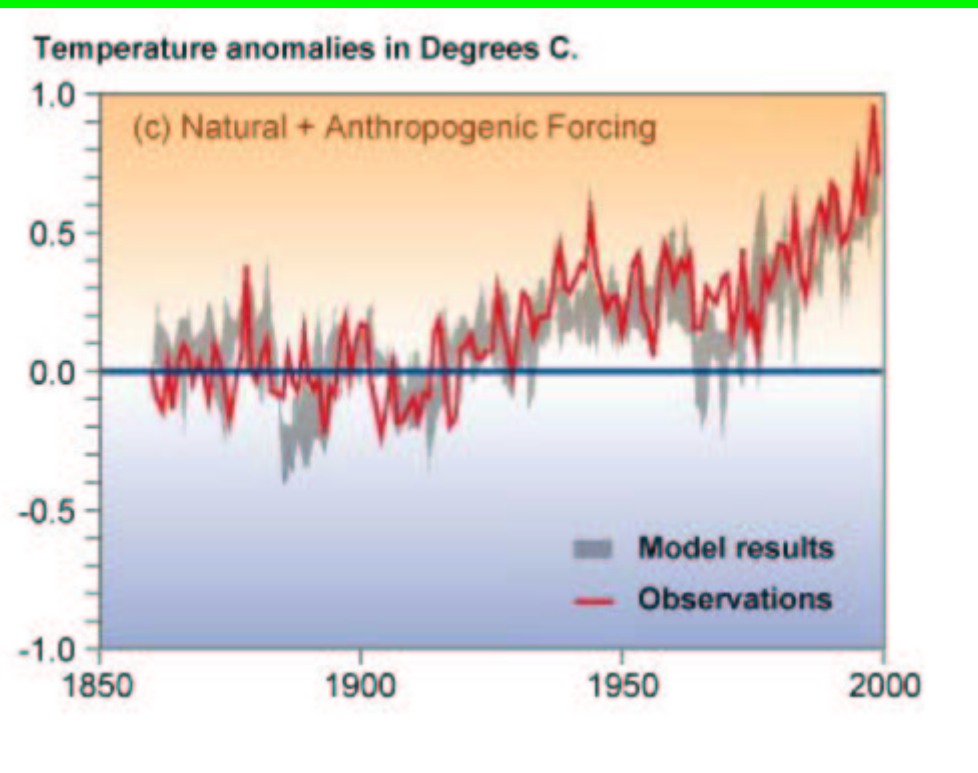
2.3 tCO<sub>2</sub>/toe

ROPA

2.8 tCO<sub>2</sub>/toe

UHLÍ

3.8 tCO<sub>2</sub>/toe



A TEPLOTA  
ROSTE

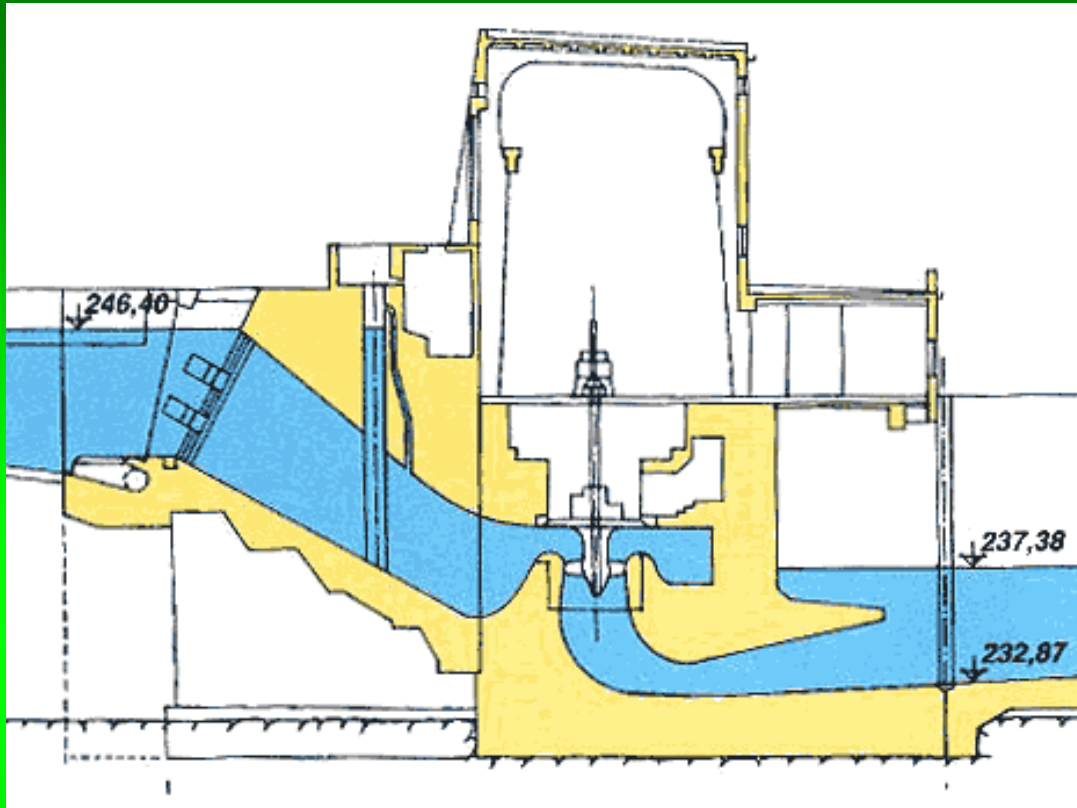
# VODNÍ ELEKTRÁRNY

SOUČASNÁ ROČNÍ VÝROBA	cca	3 PWh
TEORETICKÝ POTENCIÁL	cca	14 PWh
EKONOMICKÝ POTENCIÁL	cca	8 PW

VELKÉ ELEKTRÁRNY NEGATIVNĚ OVLIVŇUJÍ ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

PŘEHRADNÍ NÁDRŽE JSOU ZDROJEM CO<sub>2</sub> A CH<sub>4</sub>

MALÉ ELEKTRÁRNY JSOU MÉNĚ ÚČINNÉ



## ME Smiřice Labe

ZDE :

$$\eta = 0.8$$

$$Q = 34 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta h = 9 \text{ m}$$

TAKŽE

$$P = 2.4 \text{ MW}$$

$$\text{VÝKON } P = \eta Q \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$\eta$  = ÚČINNOST,  $Q$  = PRŮTOK,  $\rho$  =  
HUSTOTA VODY,  $g$  = GRAVITAČNÍ  
ZRYCHLENÍ,  $\Delta h$  = SPÁD

# VĚTRNE ELEKTRÁRNY

POTENCIÁL	50 TWh/a tj. 6 TW
INSTALOVÁNO	60 GW - VYUŽITÍ ?

## PROBLÉMY :

RELATIVNĚ MALÁ HUSTOTA ENERGIE  
VĚTRU

ÚČINNOST cca 15 %

VÍTR NEFOUKÁVÁ PRAVIDELNĚ

## JEDNODUCHÁ TEORIE :

VÝKON VĚTRU  $P = 1/2 \rho A V V^2$

SÍLA NA VRTULI  $F = \Delta p A = 1/2 \rho A (V^2 - V'^2)$

RYCHLOST VRTULE  $V_v = 1/2 (V + V')$

VÝKON NA VRTULI

$$P_v = F \cdot V_v = 1/4 \rho (V^2 - V'^2) \cdot (V + V')$$

JE MAXIMÁLNÍ PRO  $V' = 1/3 V$  A ROVEN

$$P_v = 16/27 P$$

REÁLNÝ VÝKON JE MENŠÍ.

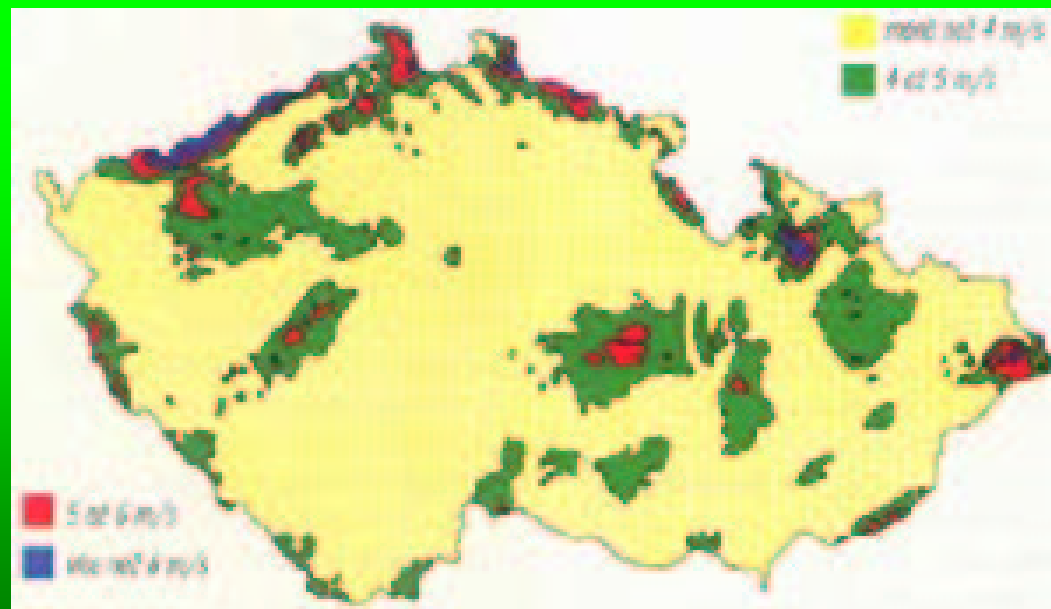
$P = 650 \text{ W/m}^2$   
pro  $V = 10 \text{ m/s}$  !

$P_{VM} = 270 \text{ kW}$  pro  
vrtuli o  $\phi = 30 \text{ m}$

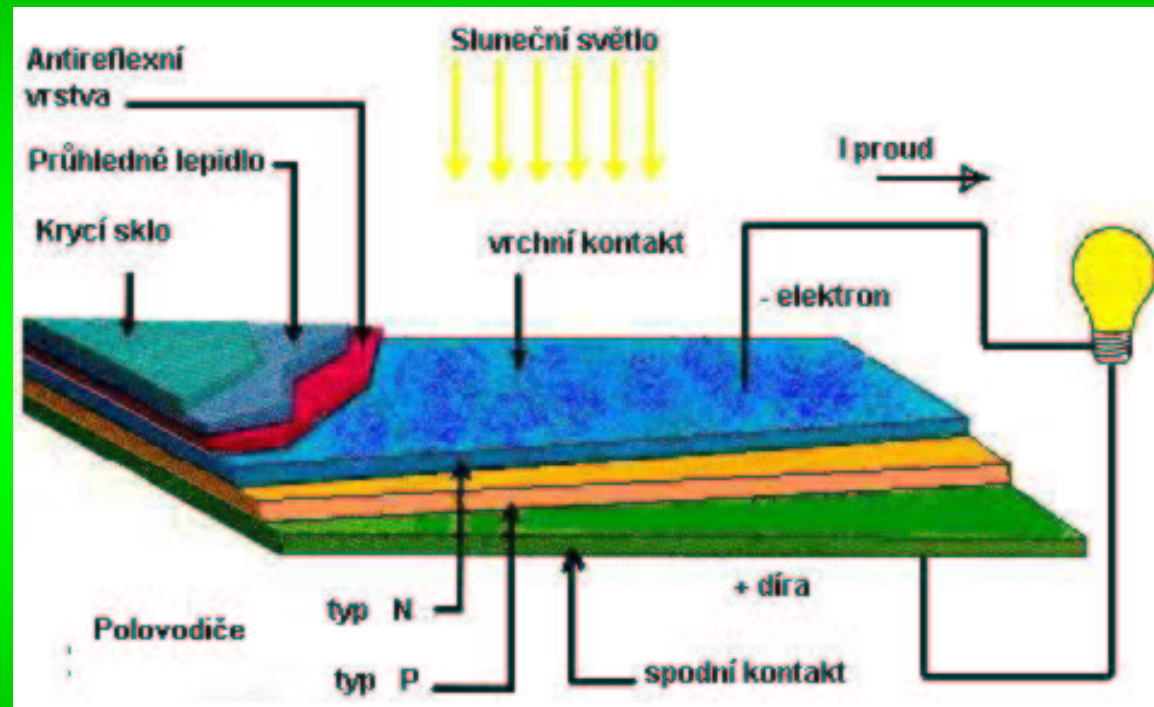


## FARMA V COLORADU

## MOŽNOSTI V ČESKU



# FOTOVOLTAIKA



DOPADAJÍCÍ FOTONY VYTVÁŘEJÍ PÁR  
ELEKTRON-DÍRA – TEN VYTVÁŘÍ PROUD



# JEDNODUCHÁ TEORIE

PROUD PŘI OSVĚTLENÍ  $I_f = e \int \gamma(\omega) E(\omega) d\omega$

$E(\omega) =$  OSVĚTLENÍ,

$\gamma(\omega) =$  KVANTOVÁ VÝTĚŽNOST

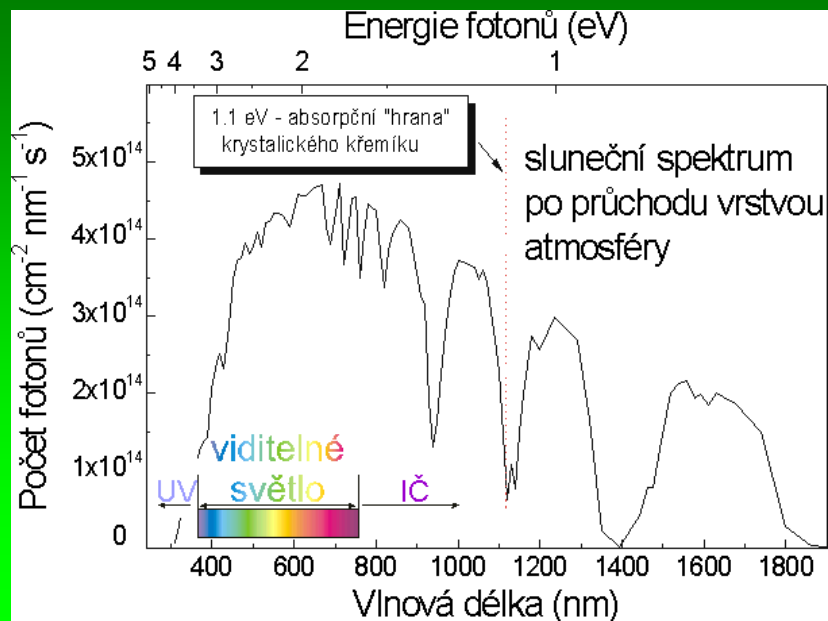
PŘI ZATÍŽENÍ  $I = I_f - I_o(\exp(eU/k_B T) - 1)$

ODTUD NAPĚTÍ NA PRÁZDNO

$$U_\infty = k_B T / e \ln(1 + I_f / I_o)$$

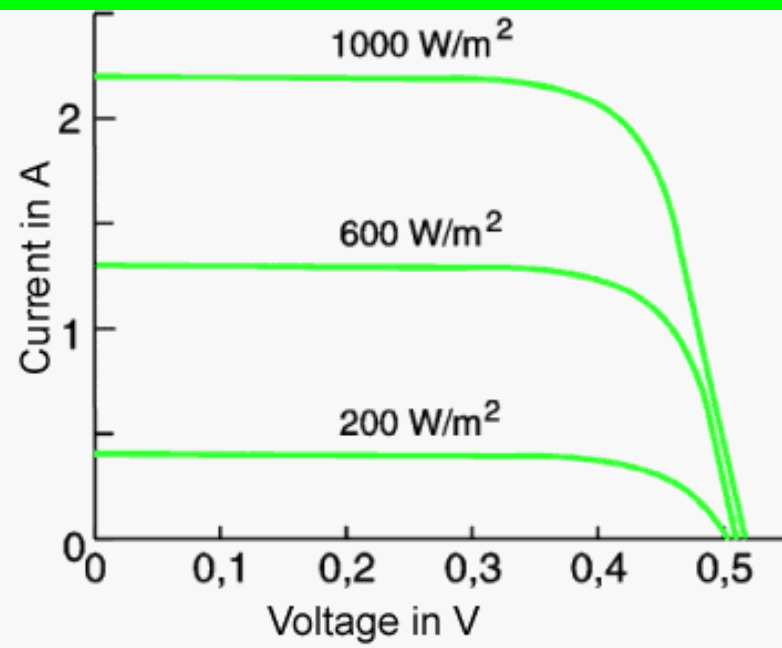
MAX VÝKON  $P_M = FF \cdot I_f U_\infty$

FF = FAKTOR ZAPLNĚNÍ



**KŘEMÍKOVÝ  
ČLÁNEK  
REAGUJE JEN  
NA FOTONY  
S ENERGIÍ NAD  
1.1 eV**

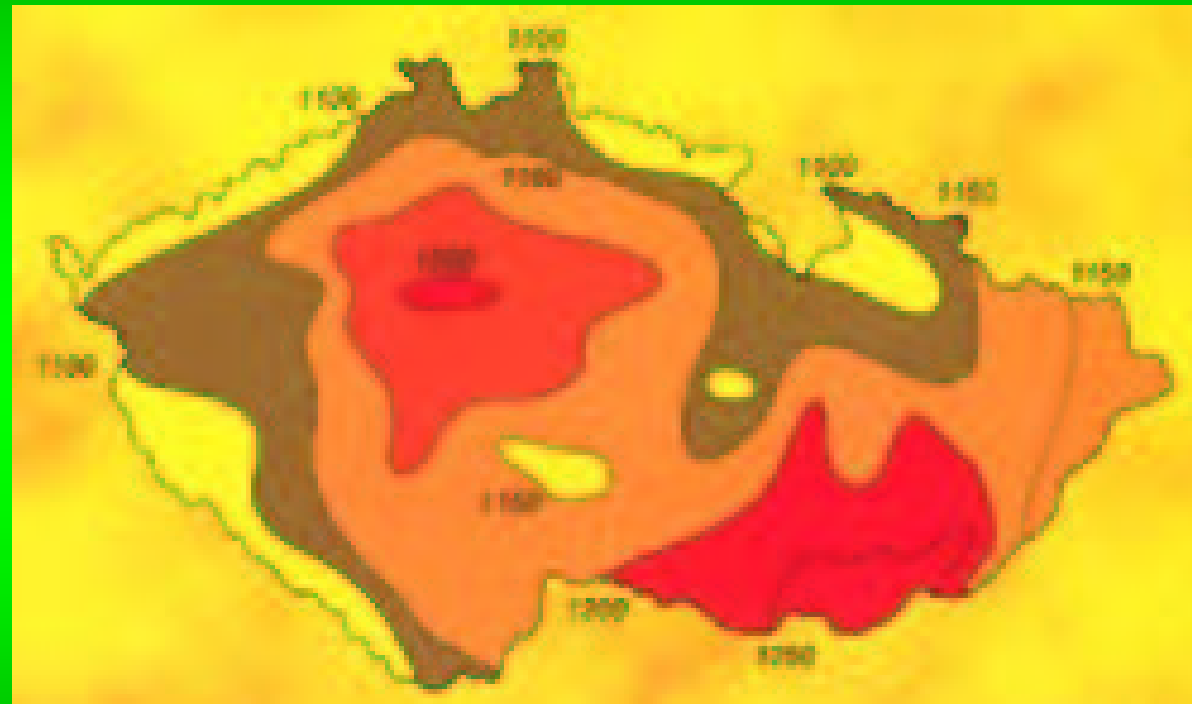
**TYPICKÉ  
VA CHARAKTERISTIKY**



## PARAMETRY ČLÁNKŮ

TYP	$I_f$ A/dm <sup>2</sup>	$U_\infty$ V	FF %	ÚČIN %
Kryst Si	4.2	0.71	83	25
poly Si	3.8	0.65	80	20
amorfní Si	1.9	0.89	74	13
kryst GaAs	2.8	1.02	87	25
CdTe	2.6	0.85	75	16
CuInGaSe <sub>2</sub>	3.6	0.67	77	19

# PROBLÉM : MALÁ HUSTOTA TOKU SLUNEČNÍ ENERGIE



**1000 kWh/m<sup>2</sup>a odpovídá 228 W/m<sup>2</sup> ve dne**

**A CENA !**

# BIOMASA

**ŘEPKA NA SLÁMU**

**VÝHŘEVNOST**

**13.5 MJ/kg**

**VÝNOS**

**4 t/ha**



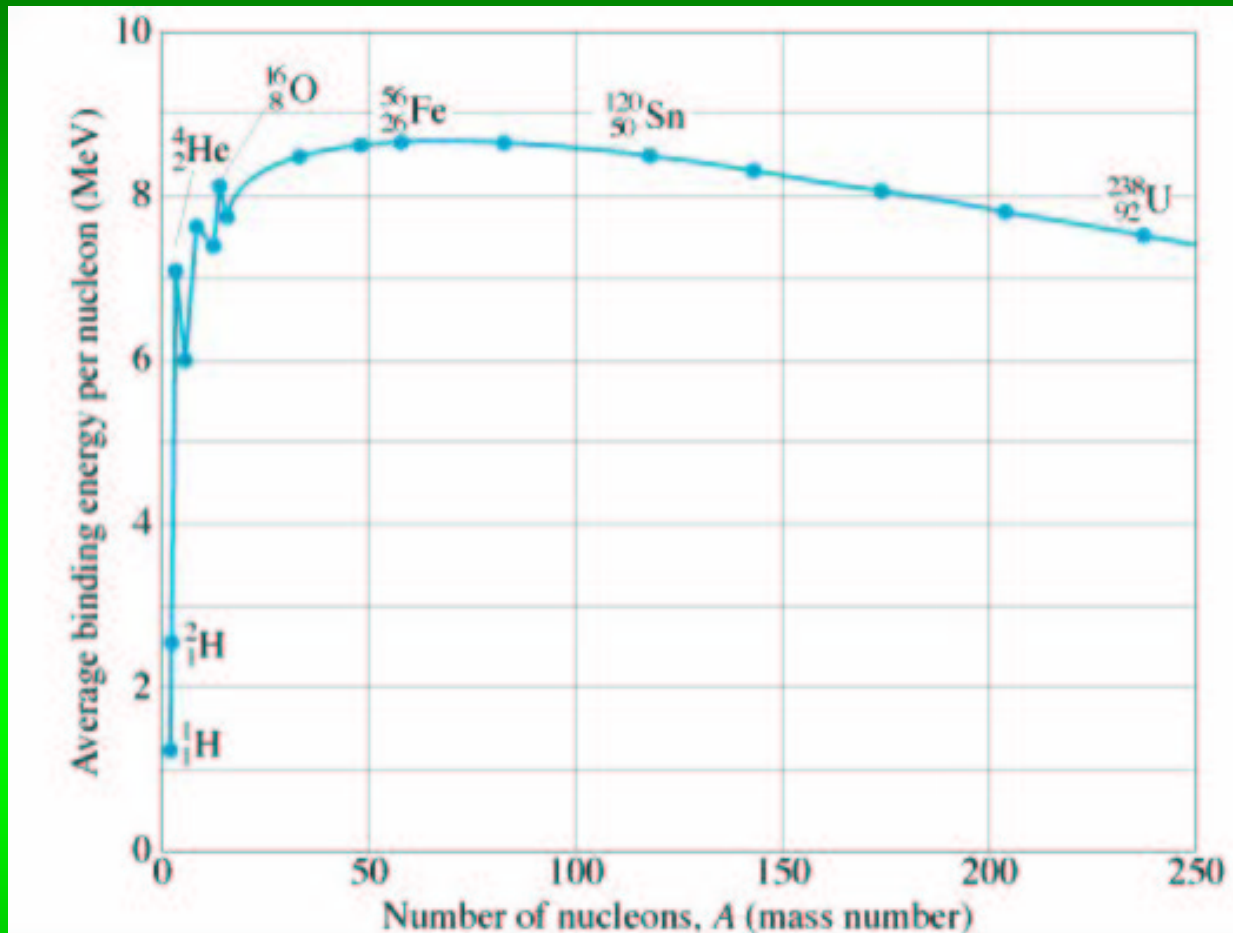
**PRO VÝROBU 1 MWa  $\approx$  32 TJ ( VÝKON 1 MW )  
POTŘEBUJEME 2370 t SLÁMY a TEDY 590 ha PŮDY**

ENERGIE



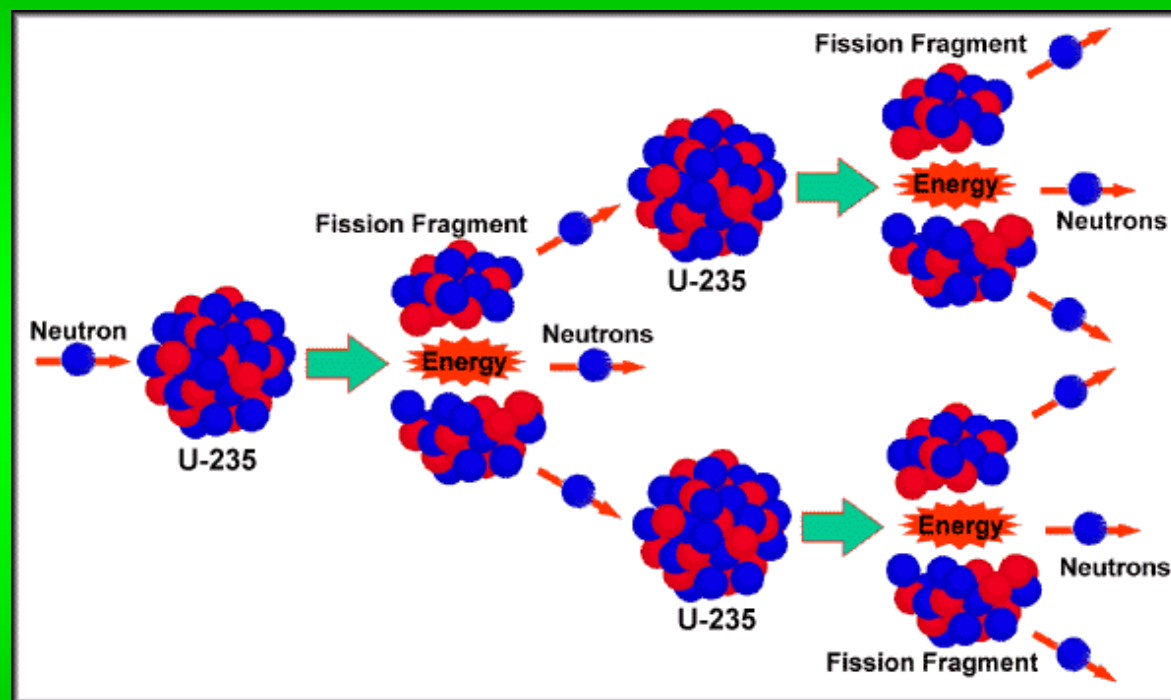
Z JÁDRA

FERMI – CHICAGO 2. 12. 1942, 15:20 MÍSTNÍHO ČASU



VÝHODNÉ JE ŠTĚPENÍ TĚŽKÝCH  
A SLUČOVÁNÍ LEHKÝCH JADER

# ŠTĚPENÍ



PŘI ŠTĚPENÍ URANU ( PLUTONIA, THORIA ) SE UVOLŇUJÍ 2–3 NEUTRONY, KTERÉ VYVOLAJÍ DALŠÍ ŠTĚPENÍ – DOCHÁZÍ K ŘETĚZOVÉ REAKCI



## UVOLNÍ SE ENERGIE

$$Q = A\varepsilon - (A_1\varepsilon_1 + A_2\varepsilon_2) = A(\varepsilon - \varepsilon_s)$$

$$\approx 240 \times 0.8 \text{ MeV} \approx 200 \text{ MeV}$$

cca 160 MeV FRAGMENTY, 6 MeV NEUTRONY,  
30 MeV OSTATNÍ (  $\gamma$ ,  $e^-$ ,  $\nu$  )

VZNIKLÉ FRAGMENTY MAJÍ POMĚRY  
NÁBOJŮ A HMOTNOSTÍ PŘIBLIŽNĚ 3 : 2

PODMÍNKA MOŽNOSTI ŠTĚPENÍ -  
Z WEIZSÄCKEROVY FORMULE  $\gamma Z^2/A^{1/3} > \beta A^{2/3}$ ,  
tj.  $Z^2/A > 17$

VE SKUTEČNOSTI – DÍKY ENERGETICKÉ  
BARIÉŘE AŽ JÁDRA OD  $A \approx 210$

## ÚČINNÝ PRŮŘEZ $\sigma$

STŘEDNÍ POČET REAKCÍ ZA 1 ČASU  
NA 1 REAKČNÍM CENTRU PŘI JEDNOTKOVÉM  
TOKU DOPADAJÍCÍCH ČÁSTIC

POČET REAKCÍ / ČAS =  $N \cdot j \cdot \sigma$

$N$  = POČET REAKČNÍCH CENTER

$j$  = TOK DOPADAJÍCÍCH ČÁSTIC

$\sigma$  = ÚČINNÝ PRŮŘEZ

ÚČINNÝ PRŮŘEZ ZÁVISÍ NA ENERGII

ROZMĚR  $\text{m}^2$

V JADERNÉ FYZICE V BARNECH:  $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$

## BILANCE NEUTRONŮ

EFEKTIVNÍ POČET NEUTRONŮ NA ZÁCHYT

$$\eta = \nu \cdot \sigma(n,f) / (\sigma(n,f) + \sigma(n,\gamma))$$

$\nu$  = POČET UVOLNĚNÝCH NEUTRONŮ

$\sigma(n,f)$  = ÚČINNÝ PRŮŘEZ ŠTĚPENÍ

$\sigma(n,\gamma)$  = ÚČINNÝ PRŮŘEZ RADIAČNÍHO  
ZÁCHYTU

## U 235

NEUTRONY S ENERGIÍ 2-3 MeV ( RYCHLÉ)

$$\nu^5 = 2.65, \quad \sigma^5(n,f) = 2 \text{ b}, \quad \sigma^5(n,\gamma) = 0.2 \text{ b}$$

DÁ  $\eta = 2.4$  NEUTRONŮ

JE TÉŽ ÚNIK NEUTRONŮ DO OKOLÍ

PRO DOSTATEČNĚ VELKÝ – KRITICKÝ – OBJEM  
DOCHÁZÍ K SAMOVOLNÉMU ŠTĚPENÍ

PRO U235 JE KRITICKÝ OBJEM cca 2.5 l,  
ODPOVÍDAJÍCÍ KRITICKÁ HMOTNOST JE cca 47 kg

## U 238

$$\nu^{\text{eff}} = 2.5$$

JEN cca 60% NEUTRONŮ MÁ ENERGIÍ  
DOSTATEČNOU PRO ŠTĚPENÍ ( > 1.4 MeV )

Z NICH JEN cca KAŽDÝ PÁTÝ VYVOLÁ  
ŠTĚPENÍ

$$\text{ODTUD } \eta^{\text{eff}} \approx 0.3$$

K SAMOVOLNÉMU ŠTĚPENÍ NEDOCHÁZÍ

**PŘIROZENÝ URAN =  
99.3% U 238 + 0.7% U 235**

**U 238 DÁ – viz výše -  $\eta^8 \approx 0.3$**

**U 235 DÁ  $\eta^5 = 2.65 \times 2 / (2 + 0.2 + 140 \times 0.1) \approx 0.3$   
(  $\sigma^8(n,\gamma) = 0.1$  )**

**CELKEM  $\eta^{\text{nat}} = \eta^8 + \eta^5 \approx 0.6$**

**ANI PŘIROZENÝ URAN SE SAMOVOLNĚ  
NEŠTĚPÍ**

**CHCEME-LI VYVOLAT ŠTĚPENÍ, MUSÍME  
BUĎ**

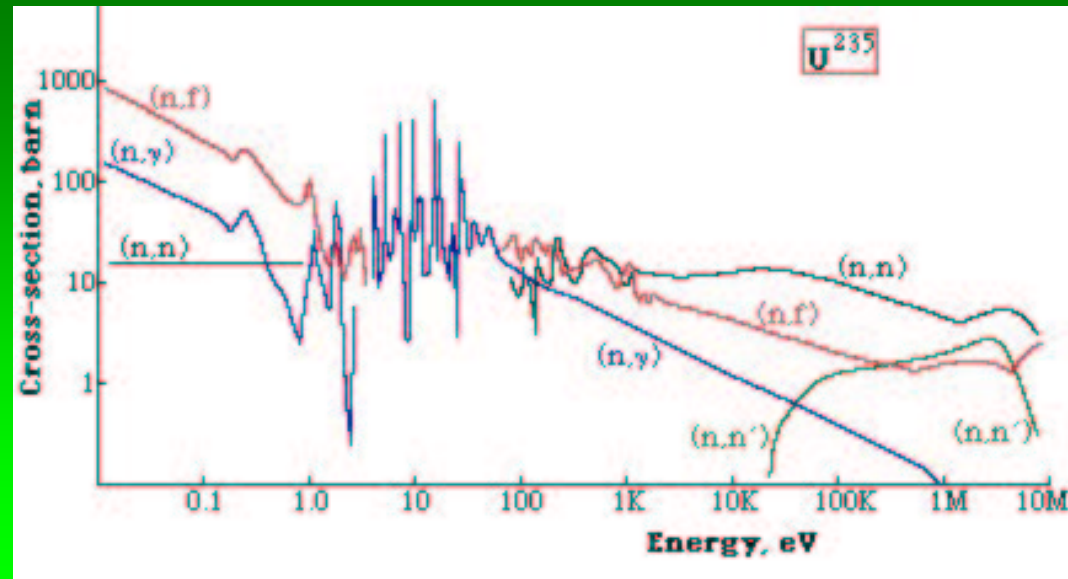
**OBOHATIT PŘIROZENÝ URAN**

**( BUĎ URANEM 235 ( ASPOŇ 7 % ) NEBO  
PLUTONIEM 239 ( ASPOŇ 5 % )**

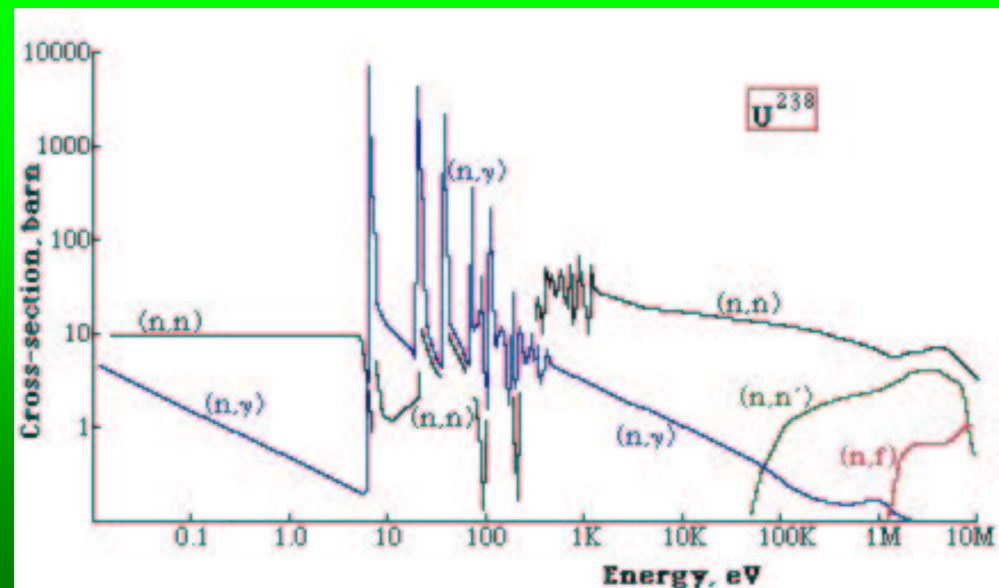
**NEBO**

**ZPOMALIT NEUTRONY**

**DRUHÉ VEDE KE STANDARDNÍM REAKTORŮM,  
PRVNÍ K REAKTORŮM MNOŽIVÝM**



ÚČINNÉ  
PRŮŘEZY  
V ZÁVISLOSTI  
NA ENERGII





# MODEROVÁNÍ

SNÍŽENÍ ENERGIE NEUTRONŮ NA cca 0.05 eV

PAK  $\nu^5 = 2.47$ ,  $\sigma^5(n,f) = 580 \text{ b (!)}$ ,

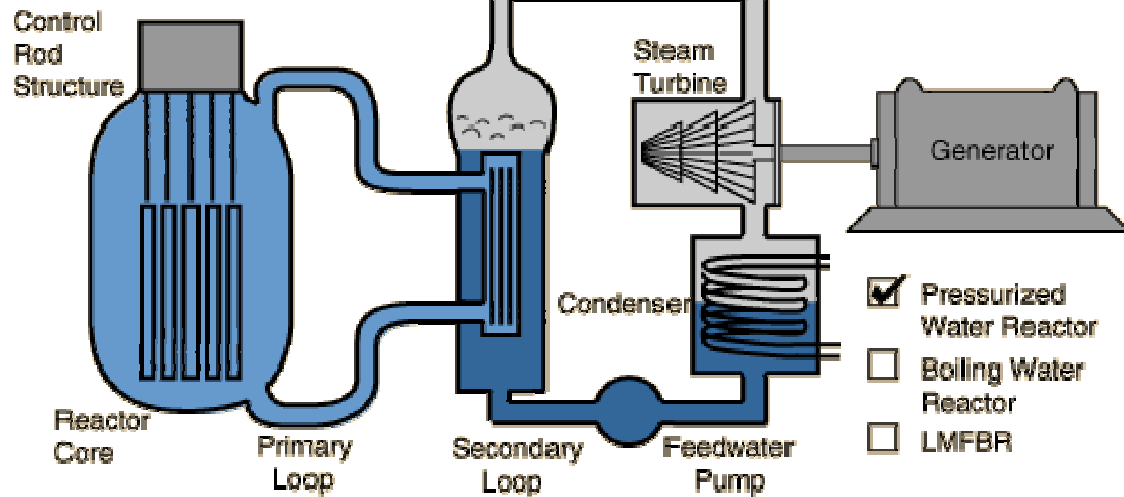
$\sigma^5(n,\gamma) = 112 \text{ b}$ ,  $\sigma^8(n,\gamma) = 2.8 \text{ b}$

A  $\eta \approx 1.3$

JSOU OVŠEM ZTRÁTY NEUTRONŮ PŘI  
MODEROVÁNÍ

VHODNĚ MODERÁTORY JSOU TĚŽKÁ VODA  
(  $\sigma_{\text{abs}} = 1.1 \text{ mb}$  ) A GRAFIT (  $\sigma_{\text{abs}} = 3.8 \text{ mb}$  )  
( LEHKÁ NEABSORBUJÍCÍ JÁDRA )

OBYČEJNÁ VODA (  $\sigma_{\text{abs}} = 670 \text{ mb}$  ) VYŽADUJE  
OBOHACENÍ ( ASPOŇ 3 % U 235 )

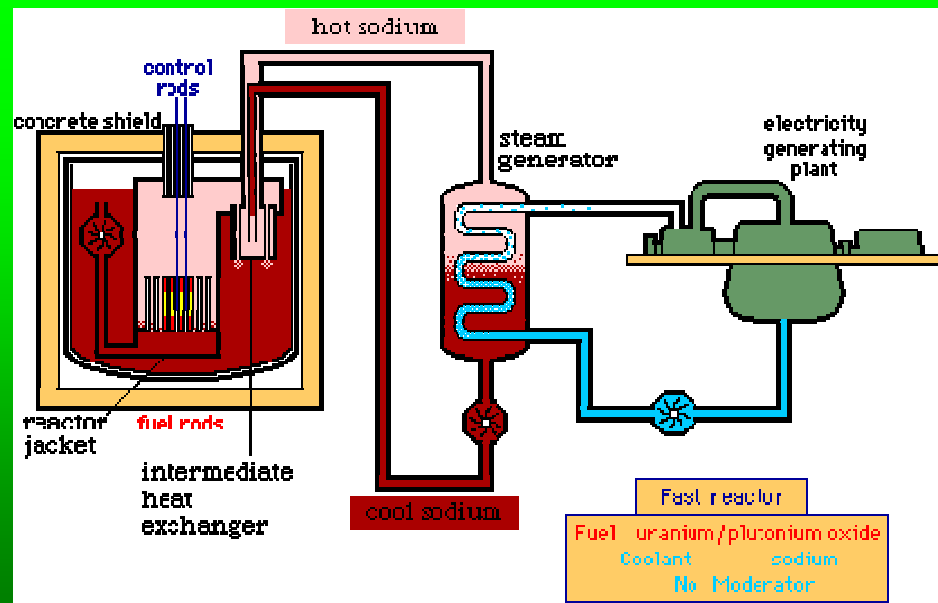


PWR

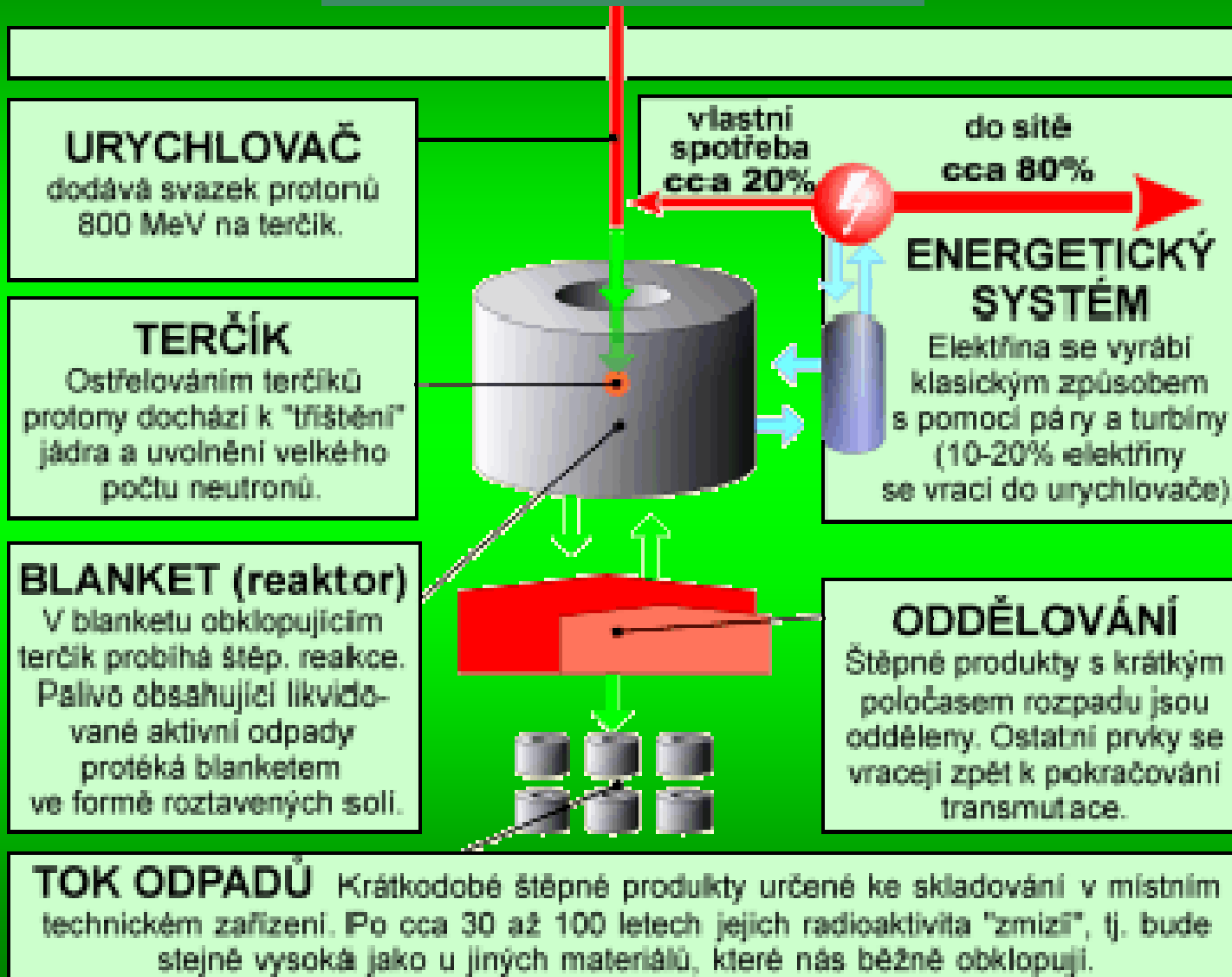
300°C, 15 MPa

BREEDER

ZMNOŽUJE PALIVO



# ADTT





# ЧОРНОБИЛЬ

АЭС им. ЛЕНИНА

**GRAFITEM  
MODEROVANÝ,  
VODOU CHLAZENÝ  
REAKTOR**

**26. DUBNA 1986  
1:23:58  
MÍSTNÍHO ČASU**

**CO BYLO POTŘEBA K TOMU, ABY  
BYL JADERNÝ REAKTOR PŘINUCEN  
VYBUCHNOUT**

**ŠPATNÁ KONSTRUKCE ELEKTRÁRNY :  
CITLIVÁ NA VZNIK BUBLIN, BEZ DVOU  
STANDARDNÍCH OCHRAN ( NÁDOBA, OBÁLKA ),  
S ODPOJITELNÝM BEZPEČNOSTNÍM ZAŘÍZENÍM  
A ŠPATNĚ KONSTRUOVANÝMI ŘÍDÍCÍMI TYČEMI**

**NEKVALIFIKOVANÝ PERSONÁL :  
ŘEDITEL, OSÁDKA ELEKTROINŽENÝRŮ**

# EXPERIMENT

VYSTAČÍ DOBĚH TURBÍN JAKO ZDROJ ENERGIE,  
NEŽ SE NASTARTUJÍ DIESEL-AGREGÁTY ?

**PRŮBĚH :** 14 H - SNÍŽENÍ VÝKONU REAKTORU, VYPNUTÍ HAVARIJNÍHO CHLAZENÍ (!), ODKLAD TESTU, 23 H - RYCHLEJŠÍ POKRAČOVÁNÍ → PŘÍLIŠNÉ SNÍŽENÍ VÝKONU ( AŽ NA 30 MW MÍSTO 700 MW ! ) → VYSUNUTÍ REGULAČNÍCH TYČÍ (!) ( 200 MW ), ZAPNUTÍ ČERPACÍ → TLAK A TEPLOTA MIMO POVOLENÉ MEZE → ZABLOKOVÁNÍ HAVARIJNÍCH SIGNÁLŮ (!), DALŠÍ POKLES VÝKONU → DALŠÍ TYČE VYTAŽENY RUČNĚ (!), SNÍŽENÍ NAPÁJENÍ VODOU → PÁRA, HLÁŠENÍ O MÁLO TYČÍCH  
**ZAHÁJENÍ TESTU (!)** - ODPOJENÍ REAKTORU A HAVARIJNÍHO SYSTÉMU 2. TURBÍNY (!), PO 36 s „NĚCO“ V NEPOŘÁDKU - POKUS O RUČNÍ VYPNUTÍ REAKTORU – TYČE SE ZABLOKUJÍ. 2 VÝBUCHY

## DŮSLEDKY

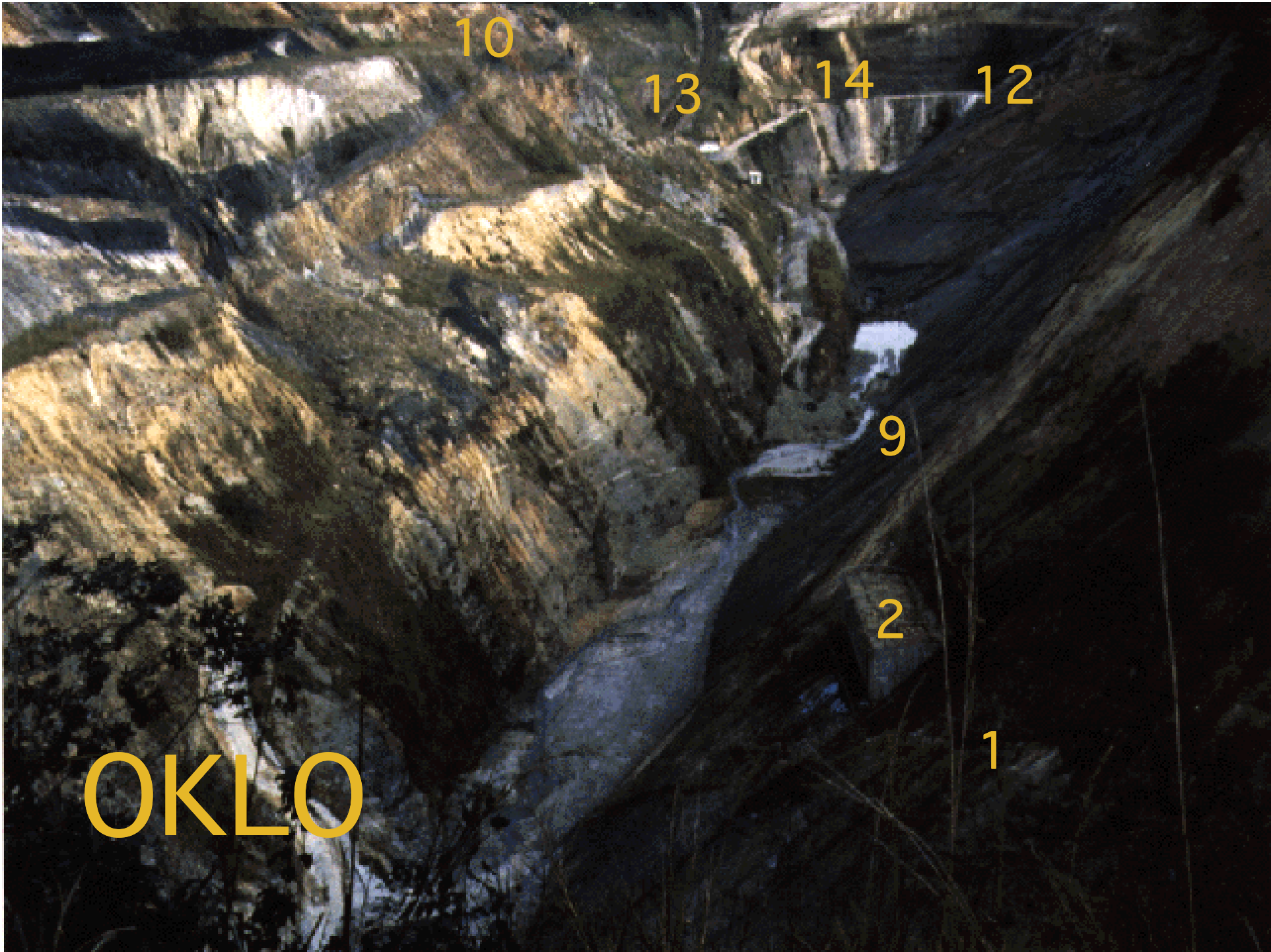
5 MLN OSOB OZÁŘENO, Z TOHO 135 TISÍC  
VÝZNAMNĚJI

PŘEDPOKLÁDANÁ ÚMRTÍ : 4000 OSOB  
( 3 % VÝZNAMNĚJI OZÁŘENÉ POPULACE –  
„PŘIROZENÁ RAKOVINA“ cca 25 % )

JIŽ ZEMŘELO 56 OSOB ( 47 ČLENŮ OSÁDKY  
A ZÁCHRANÁŘŮ + 9 DĚTÍ – RAKOVINA  
ŠTÍTNÉ ŽLÁZY )

UVOLNILO SE 5-12 EBq RADIOAKTIVITY  
( MÉNĚ NEŽ 1 % JADERNÝCH ZKOUŠEK )

MÉNĚ NEŽ UVÁDĚNO !



10

13

14

12

9

2

1

OKLO



# OKLO

**ŘEKA V GABUNU U NÍŽ JSOU URANOVÉ DOLY**

**OD ROKU 1972 ZDE BYLO IDENTIFIKOVÁNO  
16 VYHOŘELÝCH PREHISTORICKÝCH REAKTORŮ  
( Z DOBY PŘED cca 1.8 MLD LET**

**REAKTORY PRACOVALY S OBOHACENÝM  
URANEM A BYLY MODEROVÁNY VODOU**

**SYSTEM FUNGOVAL VÍCE NEŽ 150 TIS. LET  
S PRŮMĚRNÝM VÝKONEM cca 100 KW**

**REGULACE : VYPAŘOVÁNÍ VODY  
( 0.5 + 2.5 H CYKL )**

JÍL

PÍSKOVEC

UO<sub>2</sub>

ZÓNA 15



# REAKTOR VODOU MODEROVANÝ S OBOHACENÝM URANEM ?

VODA Z ŘEKY,  
URAN V RUDNÝCH ČOČKÁCH O PRŮMĚRU cca  
10 – 20 m a TLOUŠTČE cca 1 m,  
OBOHACENÝ ?

U238 MÁ POLOČAS ROZPADU 4.5 MLD LET,  
U235 JEN 0.7 MLD LET → DŘÍVE BYL RELATIVNÍ  
PODÍL U235 VĚTŠÍ

$$p(-t) = p_0 \exp(t/T_5) / ( p_0 \exp(t/T_5) + (1-p_0) \exp(t/T_8) )$$

$$P_0 = 0.7 \% \rightarrow p(-1.8 \text{ MLD LET}) = 5.8 \% !$$

## DŮSLEDKY

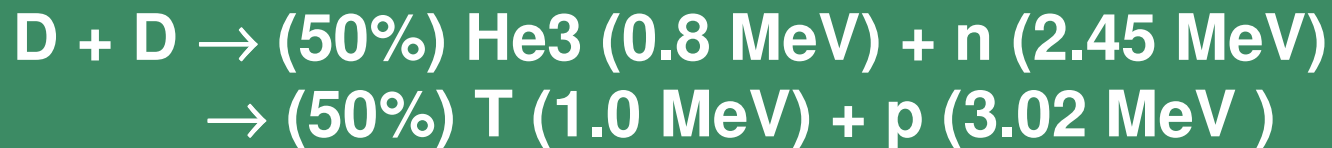
PŘED 2 MLD LET PLATILA STEJNÁ FYZIKA  
JAKO DNES

RADIOAKTIVNÍ ODPAD ( KROMĚ Kr ) LZE  
UDRŽET NA JEDNOM MÍSTĚ SKORO 2 MLD LET

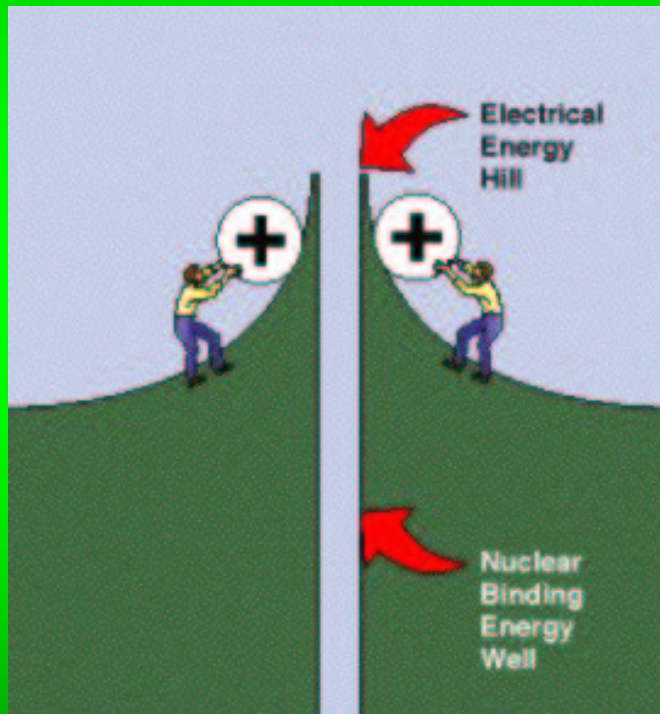
TAKOVÝCH REAKTORŮ BYLO ZŘEJMĚ VÍCE  
+ V UVEDENÉ DOBĚ SE OBJEVILY PRVNÍ  
EUKARYONTY ( BUŇKY S JÁDREM )  
= NÁHODA ?

# FÚZE

## DOBŘÉ REAKCE :



# PROBLÉM : ODPUZOVÁNÍ



**POTŘEBNÁ ENERGIE**  
 $E = e^2/4\pi\epsilon_0 R \approx 360 \text{ keV}$   
 $\approx 4 \text{ MLD K}$

**POMOHOU :**  
**RYCHLÉ ČÁSTICE**  
**TUNELOVÝ JEV**

## PODMÍNKA UDRŽENÍ - LAWSON

DOBA UDRŽENÍ  $\tau$  ZE VZTAHU  $P_{\text{out}} = E / \tau$

ZÍSKANÁ ENERGIE  $n_D n_T \langle \sigma v \rangle E_{\text{ch}} = 1/4 n_e^2 \langle \sigma v \rangle E_{\text{ch}}$   
PRO DT ( resp.  $1/2 n_e^2 \langle \sigma v \rangle E_{\text{ch}}$  PRO DD )

PŘI TEPLITĚ  $T$  JE ENERGIE  $E = 2 \times 3/2 n_e k_B T$

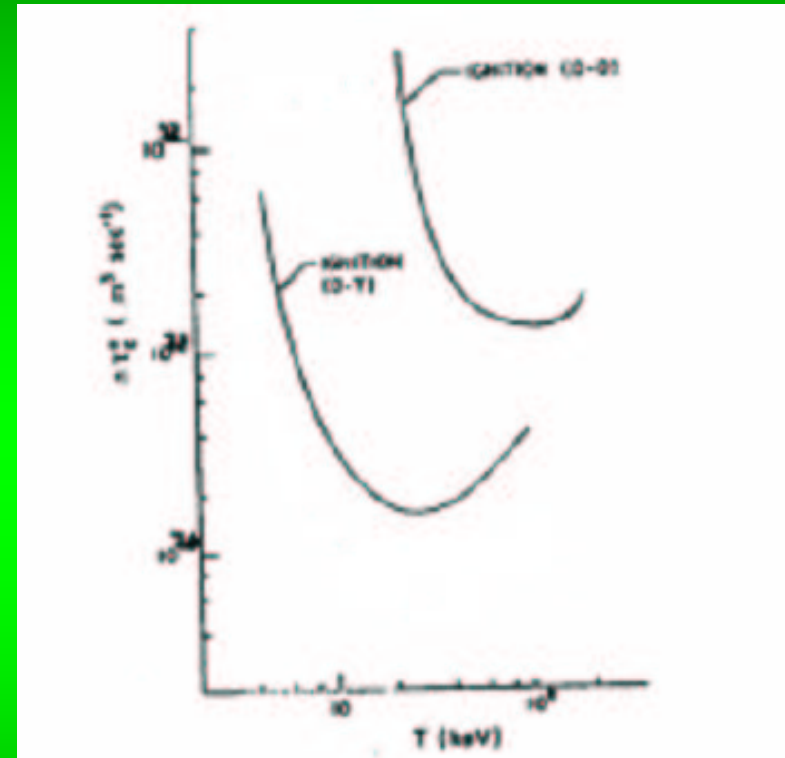
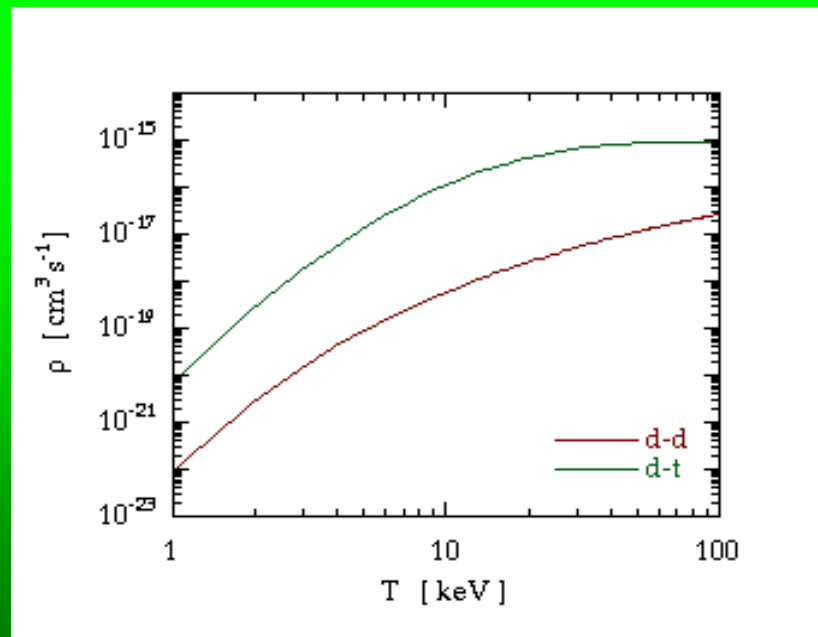
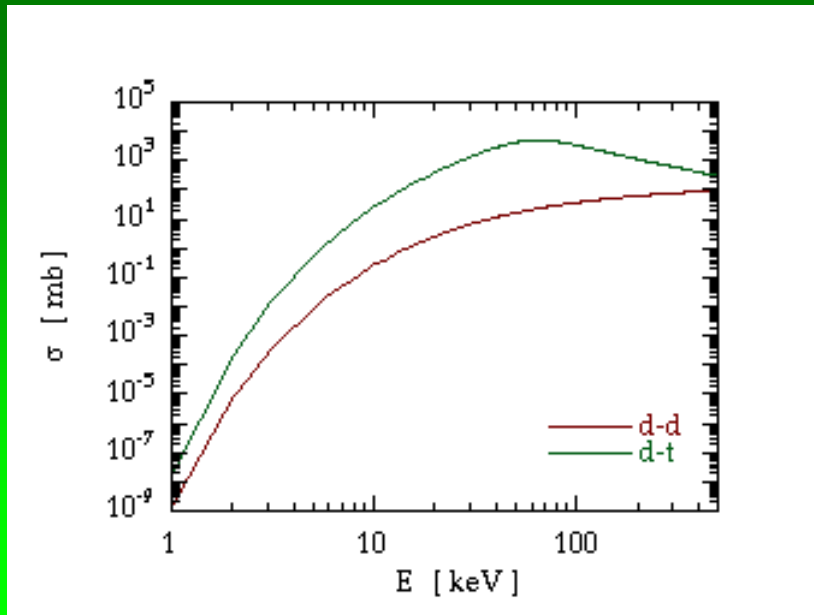
PODMÍNKA : ZÍSKANÁ ENERGIE > ZTRÁTY

$1/4 n_e^2 \langle \sigma v \rangle E_{\text{ch}} > 3 n_e k_B T / \tau$  DÁ

$n_e \tau > 12 k_B T / \langle \sigma v \rangle E_{\text{ch}}$

PRO DT  $n_e \tau > 10^{20} \text{ m}^{-3} \text{ s}$  PŘI 300 MLN K

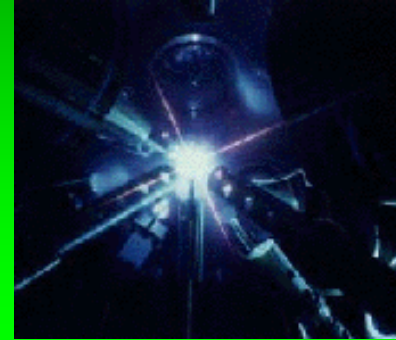
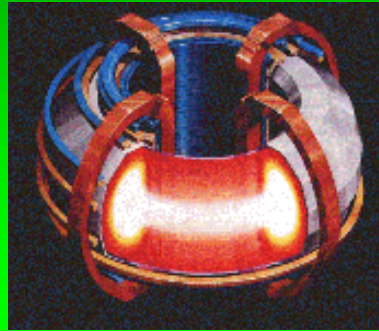
PRO DD  $n_e \tau > 10^{22} \text{ m}^{-3} \text{ s}$  PŘI 1 MLD K



$\sigma, \langle \sigma v \rangle, L$



## 3 METODY UDRŽENÍ

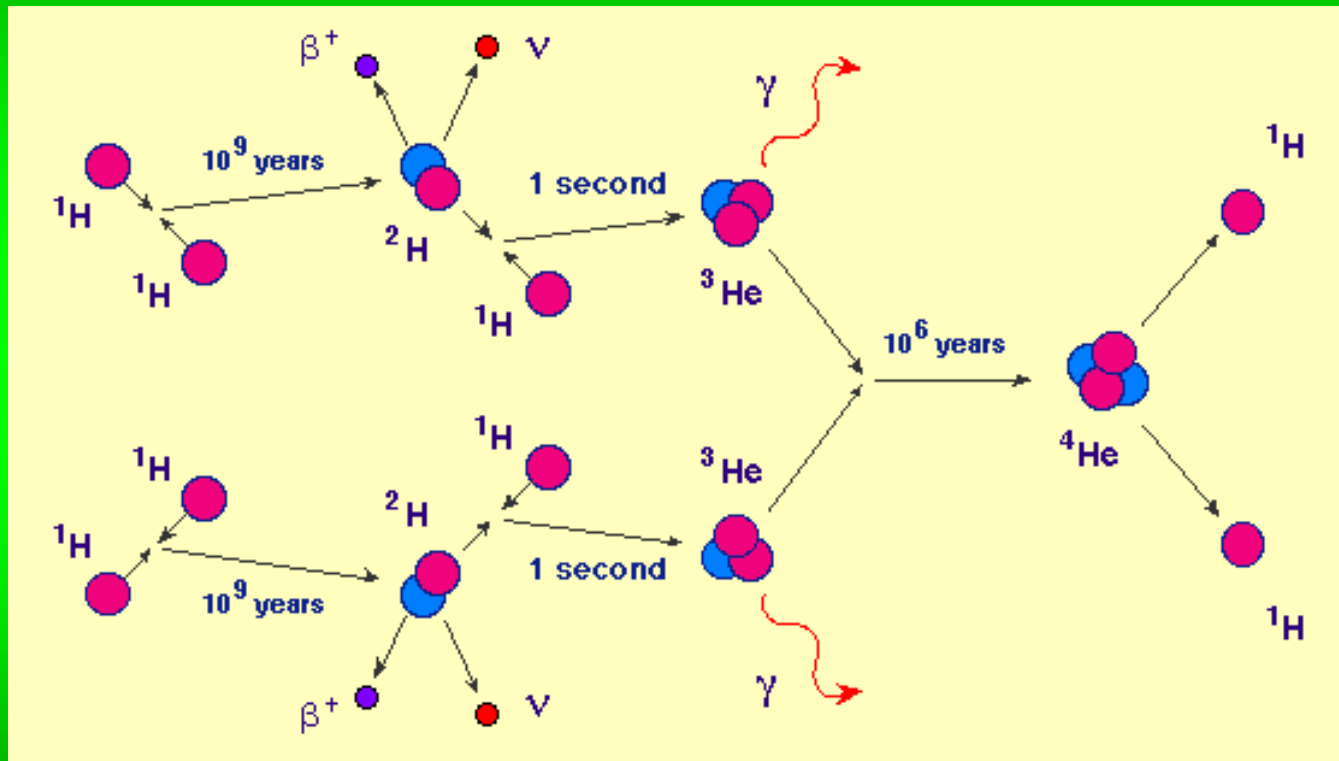


**GRAVITAČNĚ - UMĚJÍ HVĚZDY**

**V MAGNETICKÉM POLI - obvykle TOKAMAKY**

**INERCIÁLNĚ S OHŘÁTÍM – obvykle LASERY**

# HVĚZDY SLUNEČNÍHO TYPU



pp-CYKLUS

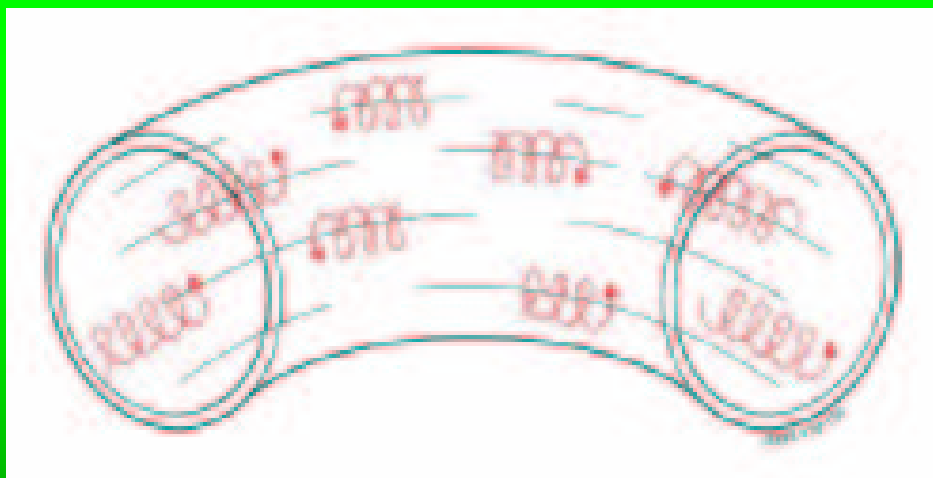
$0.08 M_{\odot} < M < 1.1 M_{\odot}$

# TOKAMAK

TAMM, SACHAROV  
≈ 1950

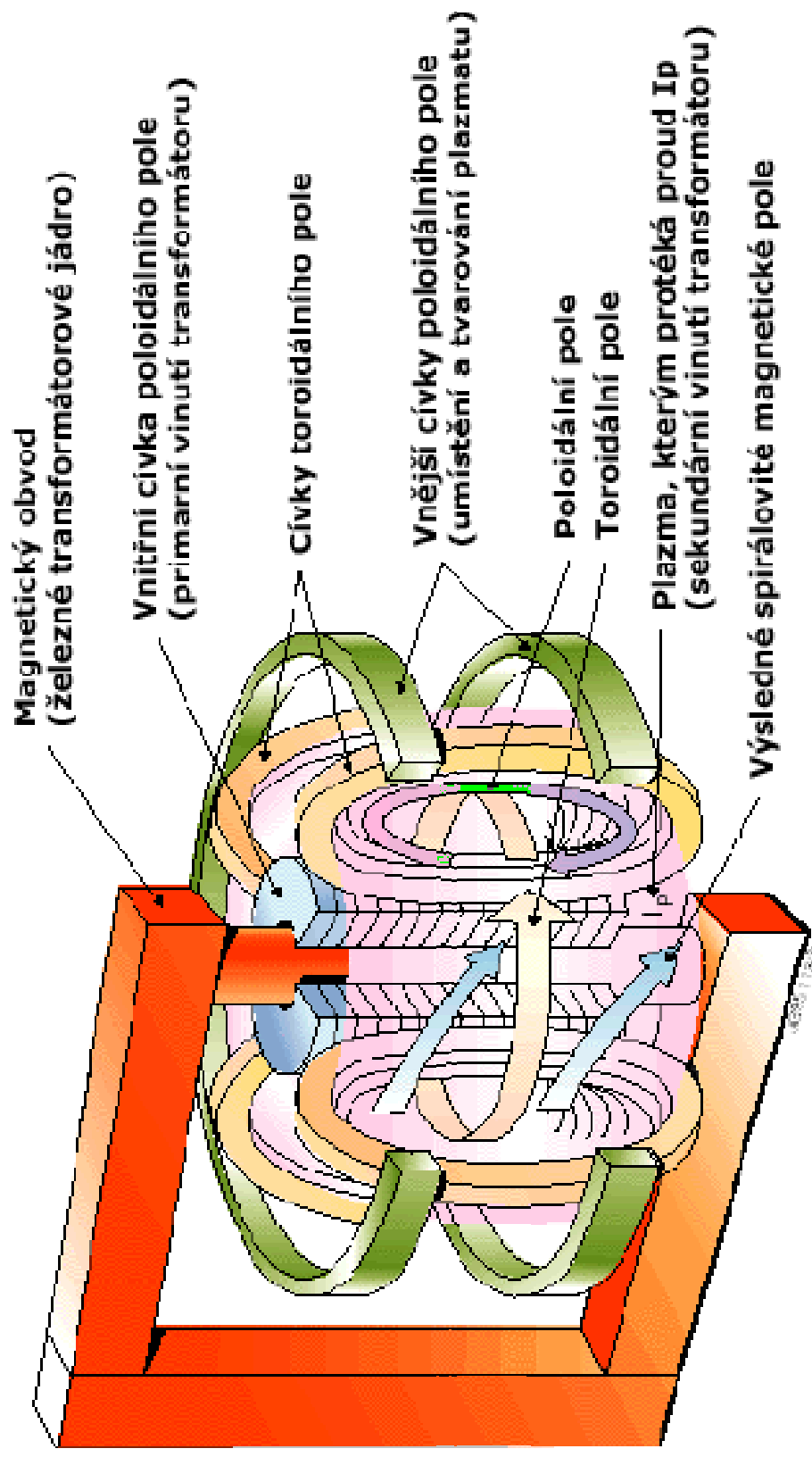
## PLAZMA V MAGNETICKÉM POLI STABILIZACE PROTÉKAJÍCÍM PROUDEM

PRINCIP :



$n \approx 10^{20}-10^{21} \text{ m}^{-3}$  ( $10^{-5}-10^{-4}$  VZDUCHU)

$\tau \approx 1-10 \text{ s}$



# OHŘEV

**OHMICKÝ OHŘEV**  
( NESTAČÍ : ODPOR KLESÁ S TEPLOTOU )

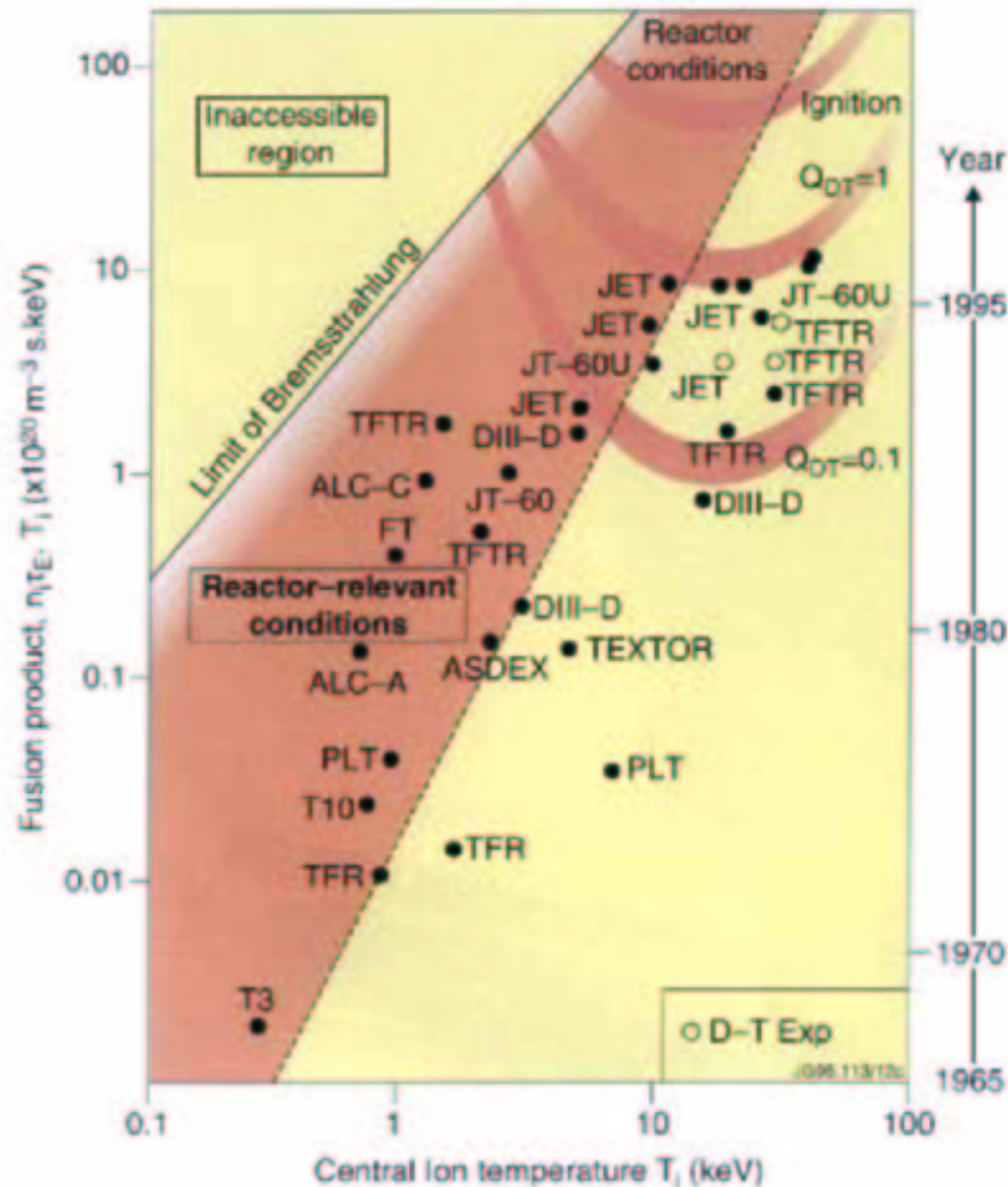
**NEUTRÁLNÍ SVAZKY**  
( NEUTRALIZOVANÉ URYCHLENÉ IONTY H )

**RADIOFREKVENČNÍ OHŘEV**  
( 25-55 MHz )

**VLASTNÍ OHŘEV PŘI FÚZI**

## PARAMETRY TOKAMAKŮ JET A ITER

HLAVNÍ POLOMĚR [m]	3	6.2
VEDLEJŠÍ POLOMĚR [m]	1.25	2
OBJEM [m <sup>3</sup> ]	155	837
PROUD [MA]	5-7	15
MAGNETICKÉ POLE [T]	3.4	5.3
TRVÁNÍ PULZU [s]	10	> 300
TERMONUKL. VÝKON [MW]	10	500
Q = TNV/PŘÍKON	1	> 10
ENERGIE NEUTRONŮ [kW/m <sup>2</sup> ]	60	600



← VÝSLEDKY

**REKORD :  
JET 1997**

**DT PLAZMA  
UVOLNĚNO 14 MJ  
VÝKON 13 MW  
Q = 0.6**

## STLAČENÉ TERČÍKY

UDRŽENÍ JE DÁNO DOBOU ROZLETU

$$\tau \approx R/\sqrt{(3/2 k_B T/M)}$$

DOSAZENÍ DO KRITÉRIA  $\rho R > 10 \text{ kg/m}^2$

ZA DOBU  $\tau$  JE TŘEBA TERČÍK OHŘÁT

POTŘEBNÁ ENERGIE  $E \approx 4/3\pi R^3 \cdot 3nk_B T$

VHODNÉ PARAMETRY :

0.5 mm DT KULIČKA ( 0.01 mg ) STLAČENÁ NA  
POLOMĚR 0.05 mm

DOBA OHĚVU cca 1 ns

DODANÁ ENERGIE 0.3 MJ

ZÍSKANÁ ENERGIE 3.4 MJ



→ Radiation



Laser beams or laser-produced x rays rapidly heat the surface of the fusion target, forming a surrounding plasma envelope.

→ Blowoff



Fuel is compressed by the rocketlike blowoff of the hot surface material.

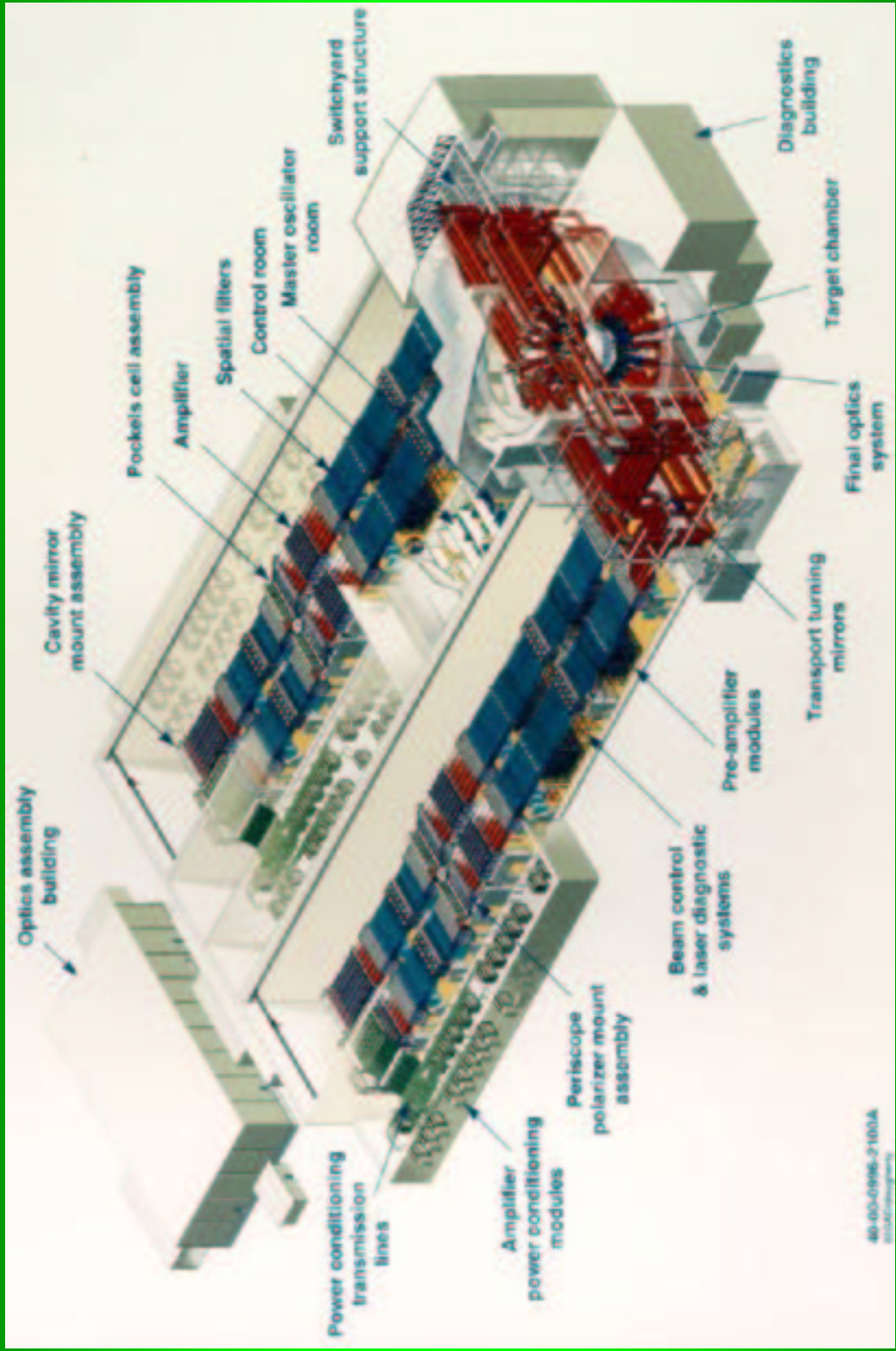
→ Inward transported thermal energy



During the final part of the capsule implosion, the fuel core reaches 20 times the density of lead and ignites at 100,000,000°C.



Thermonuclear burn spreads rapidly through the compressed fuel, yielding many times the input energy.



40-00-0996-2-100A  
 01/2000

The image features a vibrant green background with a complex, fractal-like pattern. The pattern consists of numerous overlapping, rounded shapes that create a sense of depth and movement. The colors range from bright, saturated green to darker, almost black tones, giving the impression of a glowing, organic structure. In the center of the image, the word "KONEC" is written in a bold, white, sans-serif font. The letters are slightly shadowed, making them stand out against the busy, textured background.

**KONEC**