

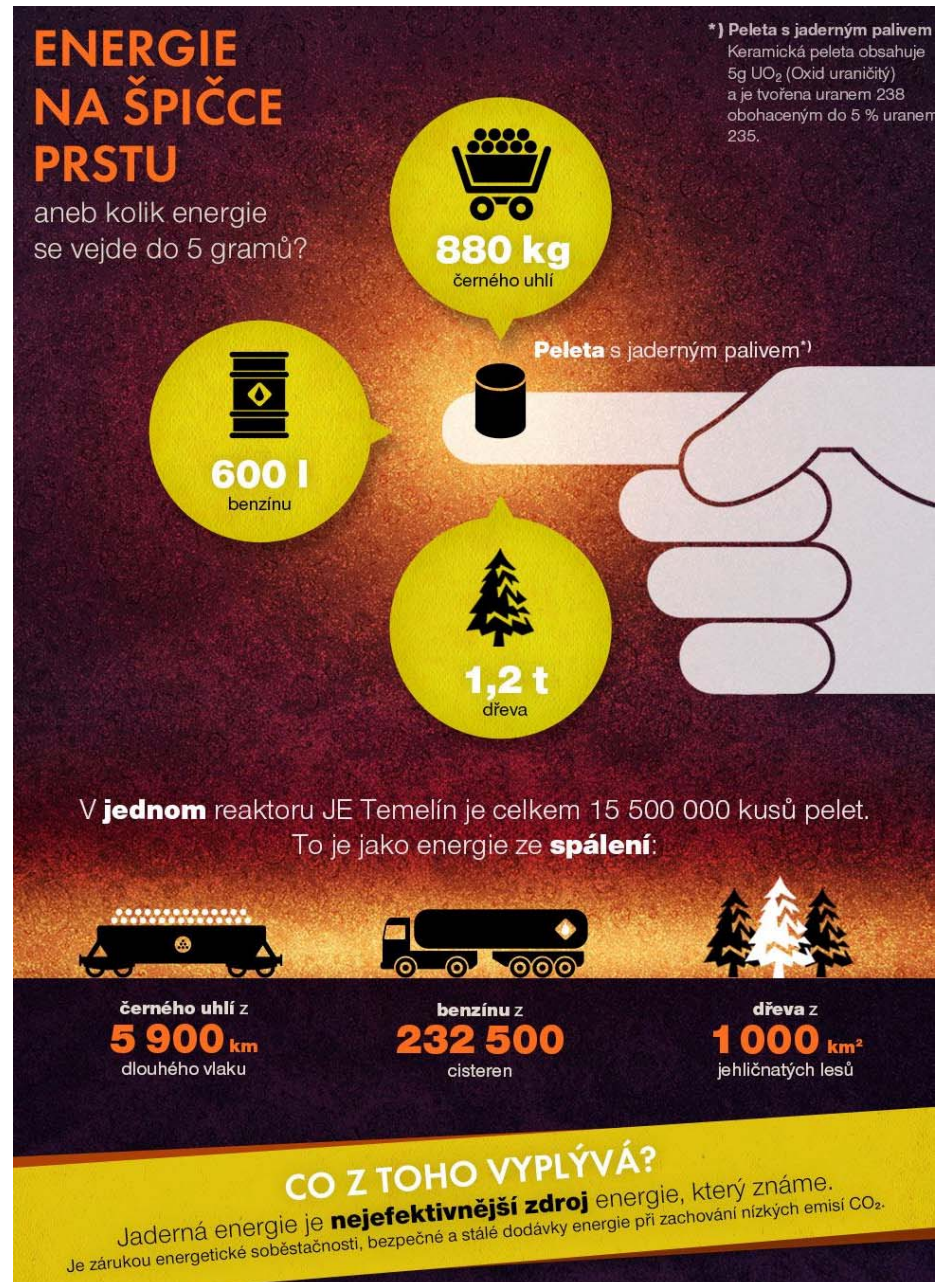
# Problematika jaderného odpadu



Tišnov, 19. září 2013

# Problematika jaderného odpadu

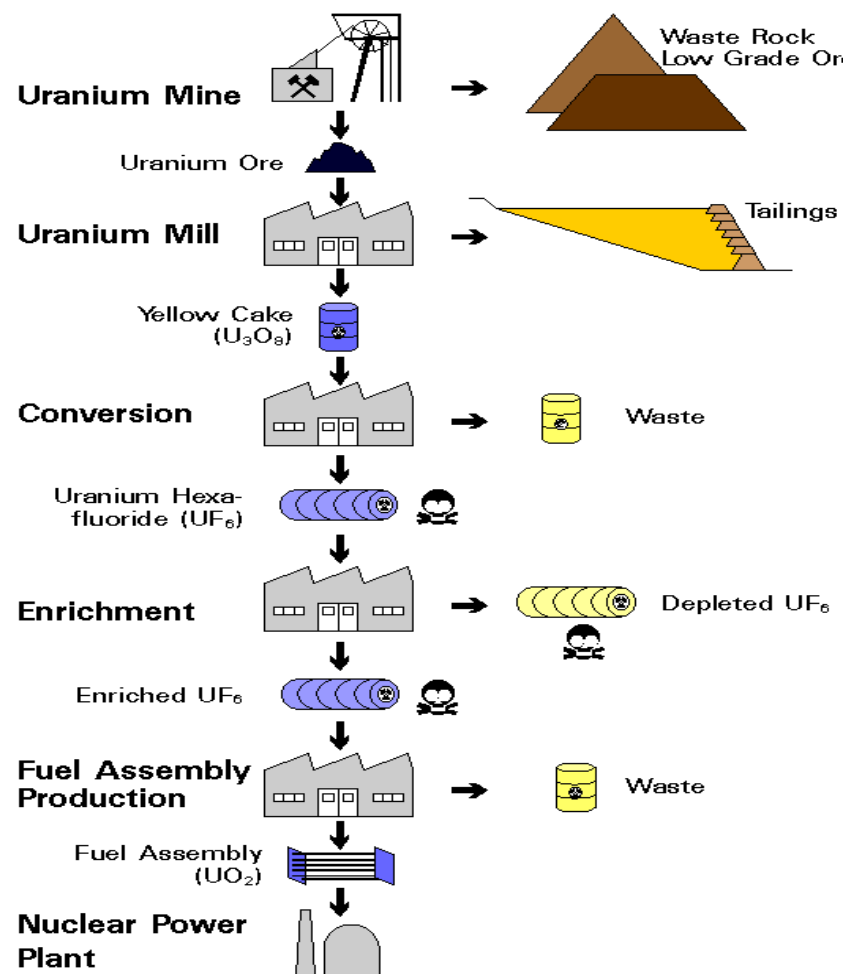
Jaderná energetika =  
ekologická technologie?



# Problematika jaderného odpadu

**Průměrná materiálová bilance  
provozu 1000 MW reaktoru  
po dobu jednoho roku:**

- **25 tun** vyhořelého paliva
- **500,000 tun** radioaktivní hlušiny
- **100,000 tun** radioaktivních kalů
- **150 tun + 1300 m<sup>3</sup>** kapalných odpadů z konverze uranu
- **260 tun** ochuzeného uranu
- **12 m<sup>3</sup> pevných + 230 m<sup>3</sup>** kapalných radioaktivních odpadů z výroby paliva

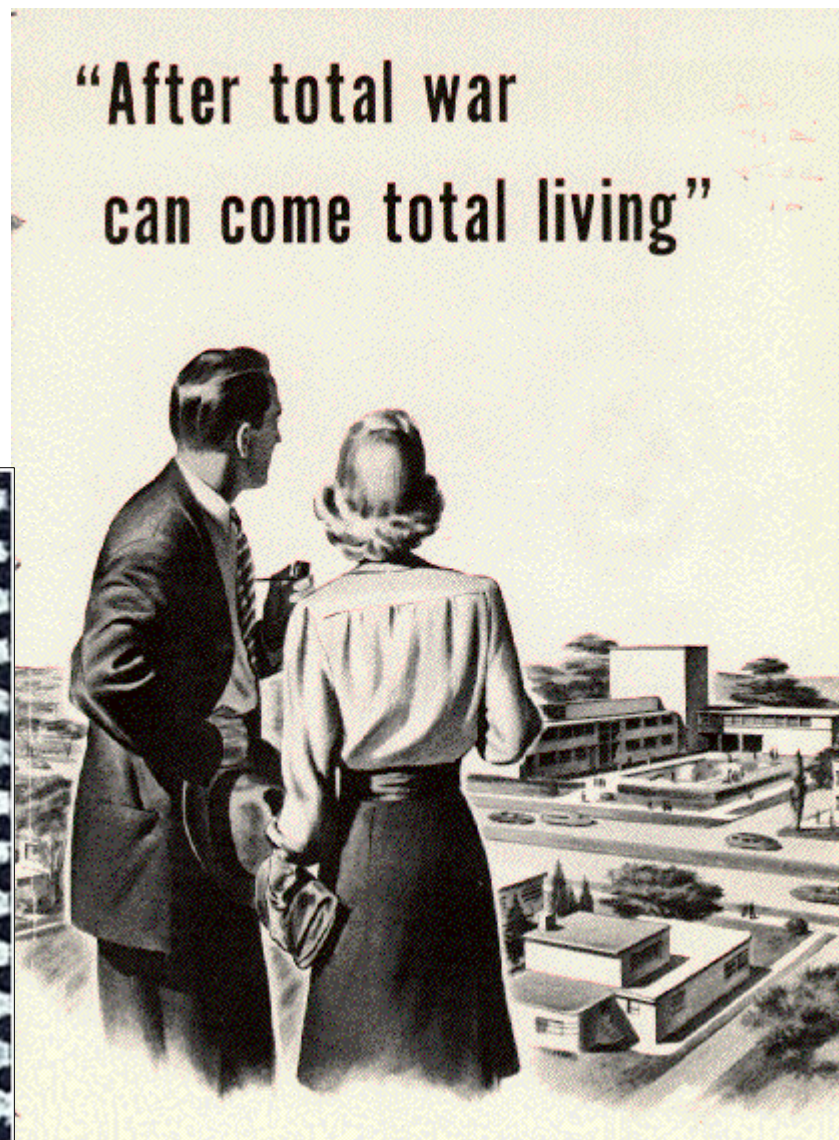
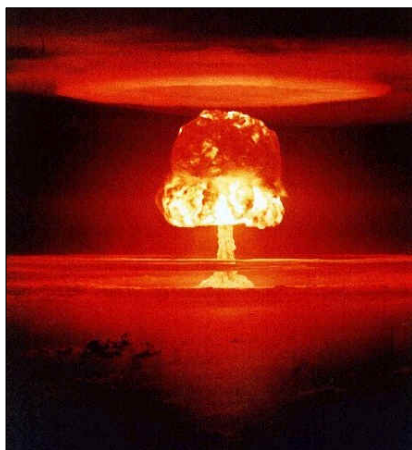


**1 tuna jaderného paliva  
= 25 000 tun radioaktivních  
odpadů**

# Problematika jaderného odpadu

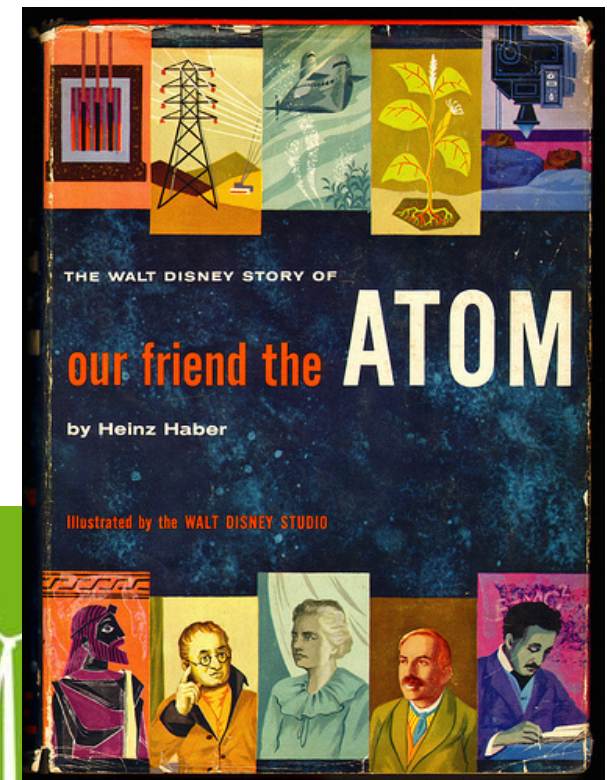
Jaderné odpady zpočátku nebyly považovány za problém:

Šok z bomby vedl  
k optimistickému  
programu  
“Atoms for Peace”



# Problematika jaderného odpadu

Odpady nebyly považovány za problém:  
Technologicko-budovatelský optimismus



# Problematika jaderného odpadu

Odpady nebyly považovány za problém:  
Budovatelský optimismus



## A-POWERED TRAINS IN GLASS TUBES

*They'll give airliner speeds plus weather-free reliability.*

By Frank Timley

**THE** train of the future, whipping passengers vast distances through continent-grinding tubes at speeds and in comfort far surpassing that of modern air travel, is no longer merely a dream in the minds of our more imaginative designers and engineers. This old idea (New York's first working subway train was sucked through a tube) has been brought well within the realm of probability—and the hero of this advance is, as has so often been the case in the history of technology, a new material. A crude form of this material has been serving man since the dawn of history. Glass, commonly thought of as that brittle stuff that boys like to smash with baseballs and slingshots, is in this gen-

NUCLEAR

# Problematika jaderného odpadu

Jaderné odpady zpočátku nebyly považovány za problém:  
Radioaktivní záření se pokládalo za zdraví prospěšné

**Science to Cure All the Living Dead**

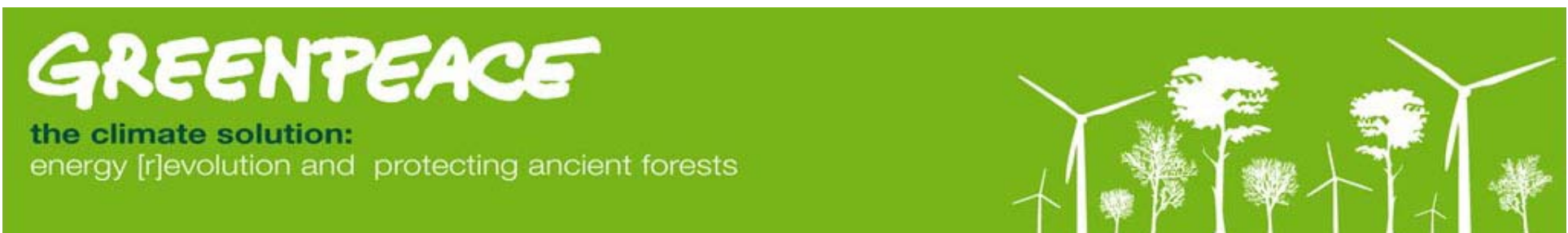
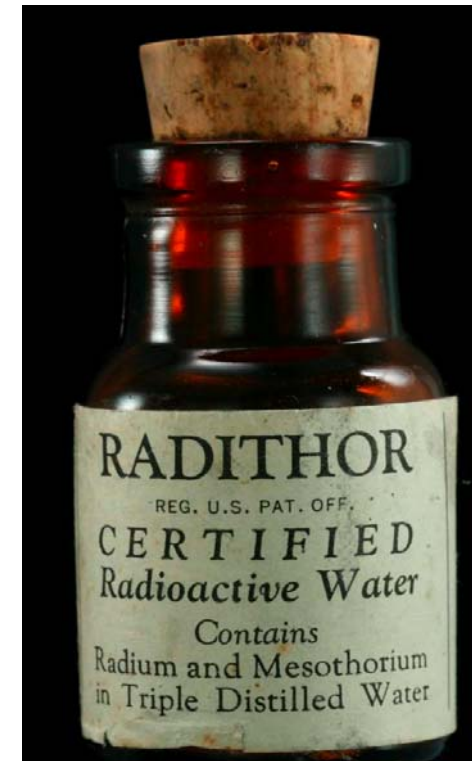
What a Famous Savant Has to Say About the New Plan to Close Up the Insane Asylums, Wipe Out Illiteracy and Make Over the Morons by His Method of Gland Control

Dr. W. J. A. Bailey's new method for helping the insane to widely used

Many members of the medical profession believe that Dr. Bailey's method for the treating of insanity will be the means of freeing many asylum inmates

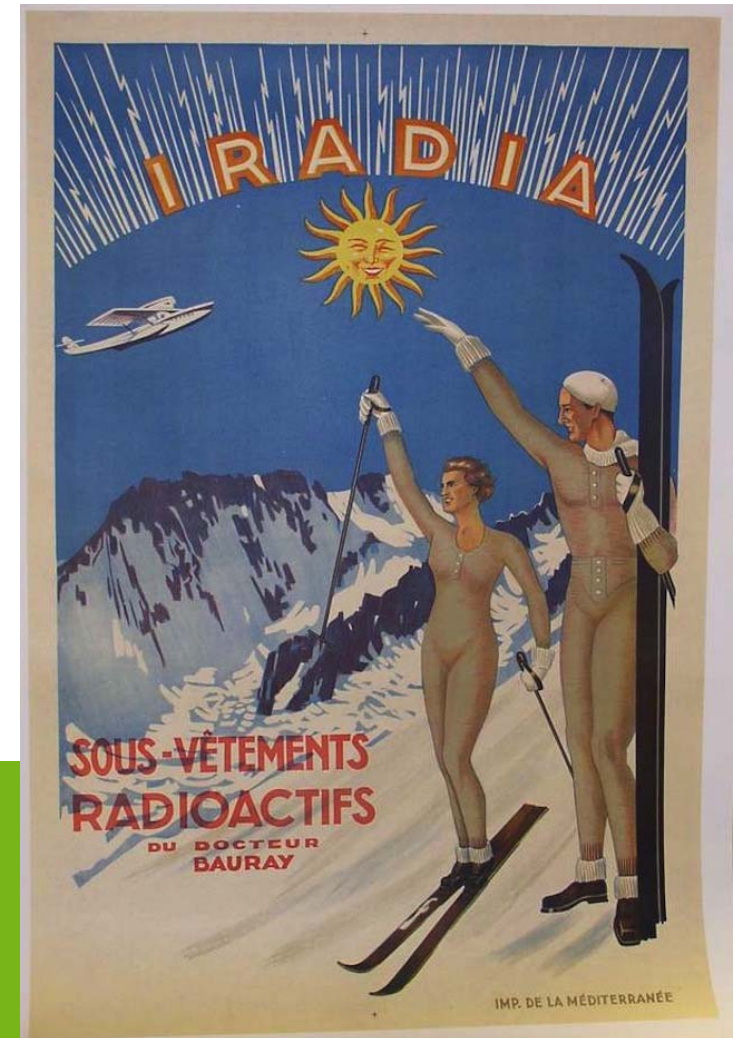
Copyright 1993 Scientific American, Inc.

*Text on the left side of the advertisement:*  
If we look more to the endocrine glands and less to the brain, shall we be better able to eradicate insanity? During the recent session of the American Chemical Society at Washington, D. C., Dr. William J. A. Bailey, Director of the American Endocrine Laboratories of New York, who is authority for the above statement, made some startling assertions on the present methods of treating insane patients, and offered the use of Radium. There are exclaiming his excitement.  
Dr. Bailey is a graduate of Harvard and the University of Vienna and enjoys a wide reputation as radiologist and his therapeutic application. He has written the following article which...



# Problematika jaderného odpadu

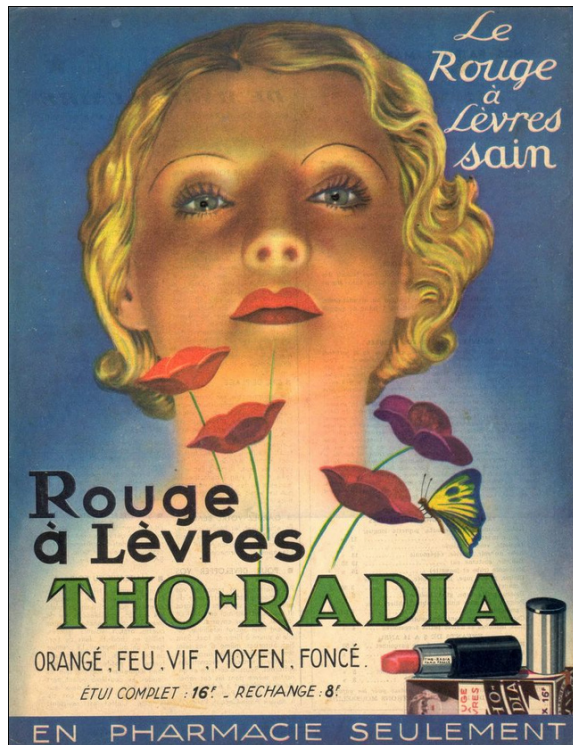
Odpady nebyly považovány za problém:  
Zdraví prospěšná radioaktivita





# Problematika jaderného o

Odpady nebyly považovány za problém:  
Zdraví prospěšná radioaktivita



# GREENPEACE

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Problematika jaderného odpadu

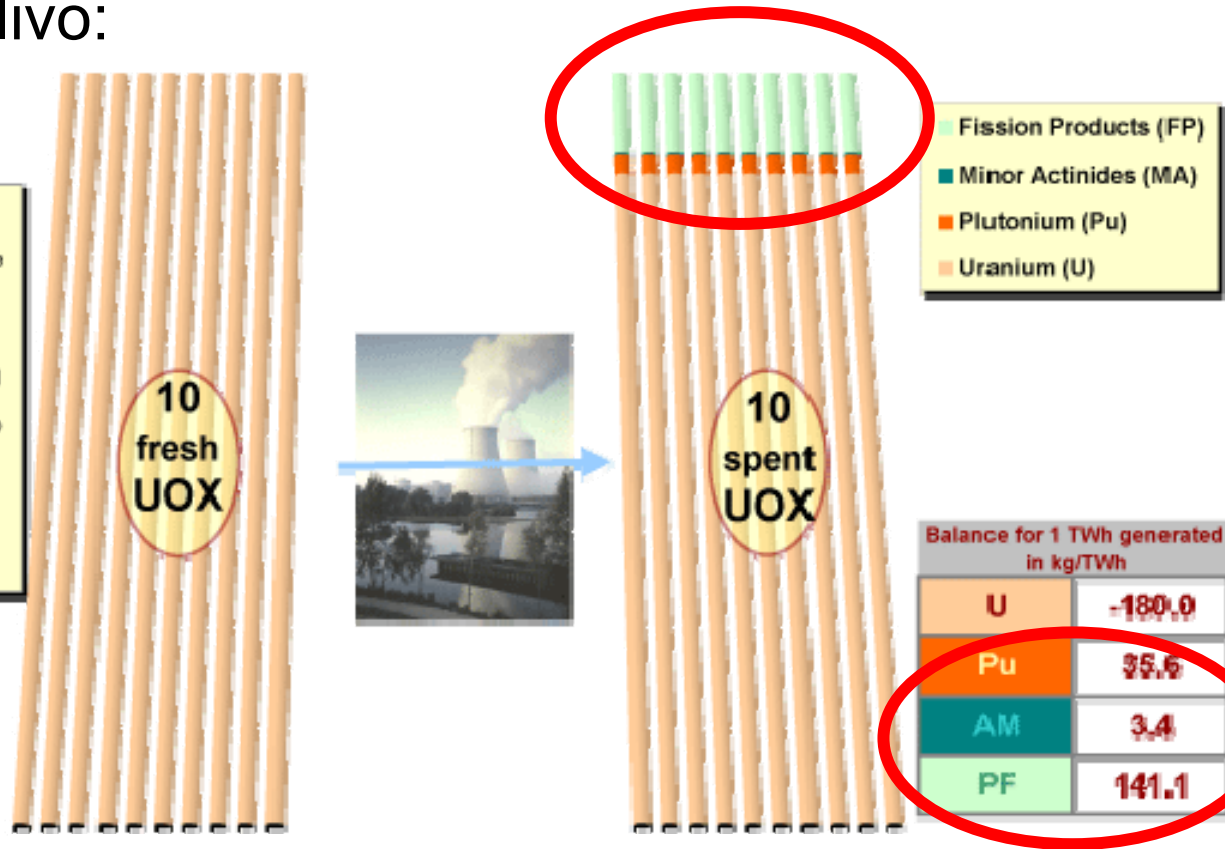
Dnes víme, že odpady jsou problém, zejména vyhořelé jaderné palivo:

**Notes:**

1) For reading purposes, the share of uranium is voluntarily decreased in the illustration.

2) The balance is calculated for a French 900 MW PWR "Garance", corresponding to the following hypothesis:

- 100% of UOX, 12 months, 1/4 core loading,
- UOX burn-up = 45 GWd/t
- $K_p = 75\%$



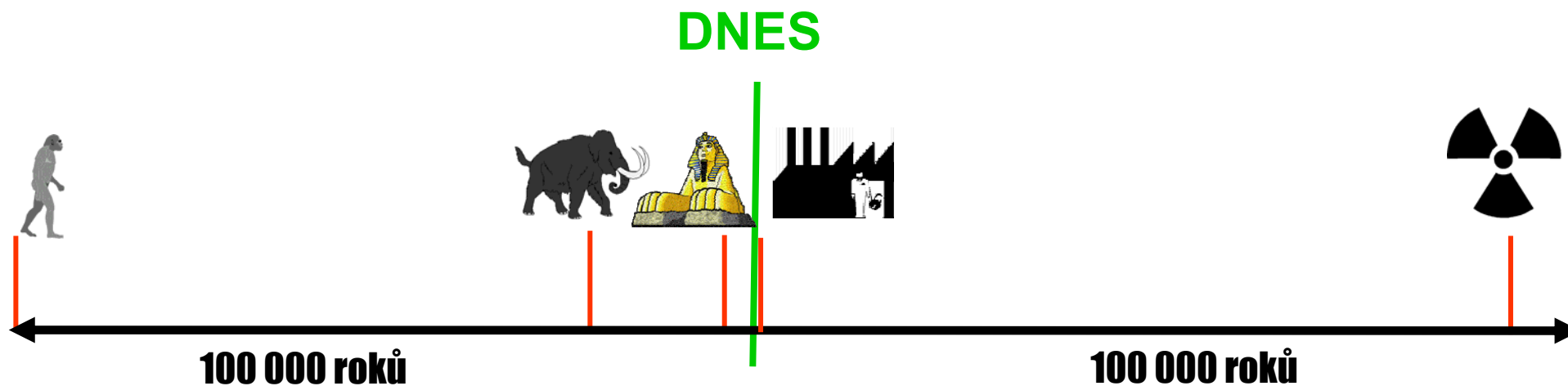
**Plutonium**  
**Aktinidy**  
**Štěpné produkty**



# Problematika jaderného odpadu

Poločas rozpadu plutonia Pu-239 je 24,000 let. Trvá čtvrt milionu roků, než se jeho původní množství sníží na 0,1 %.

V každé jedné tuně vyhořelého paliva je ho zhruba 10 kg, za 240 000 roků ho zůstane 10 gramů – stále dost na to, aby otrávil miliony lidí.



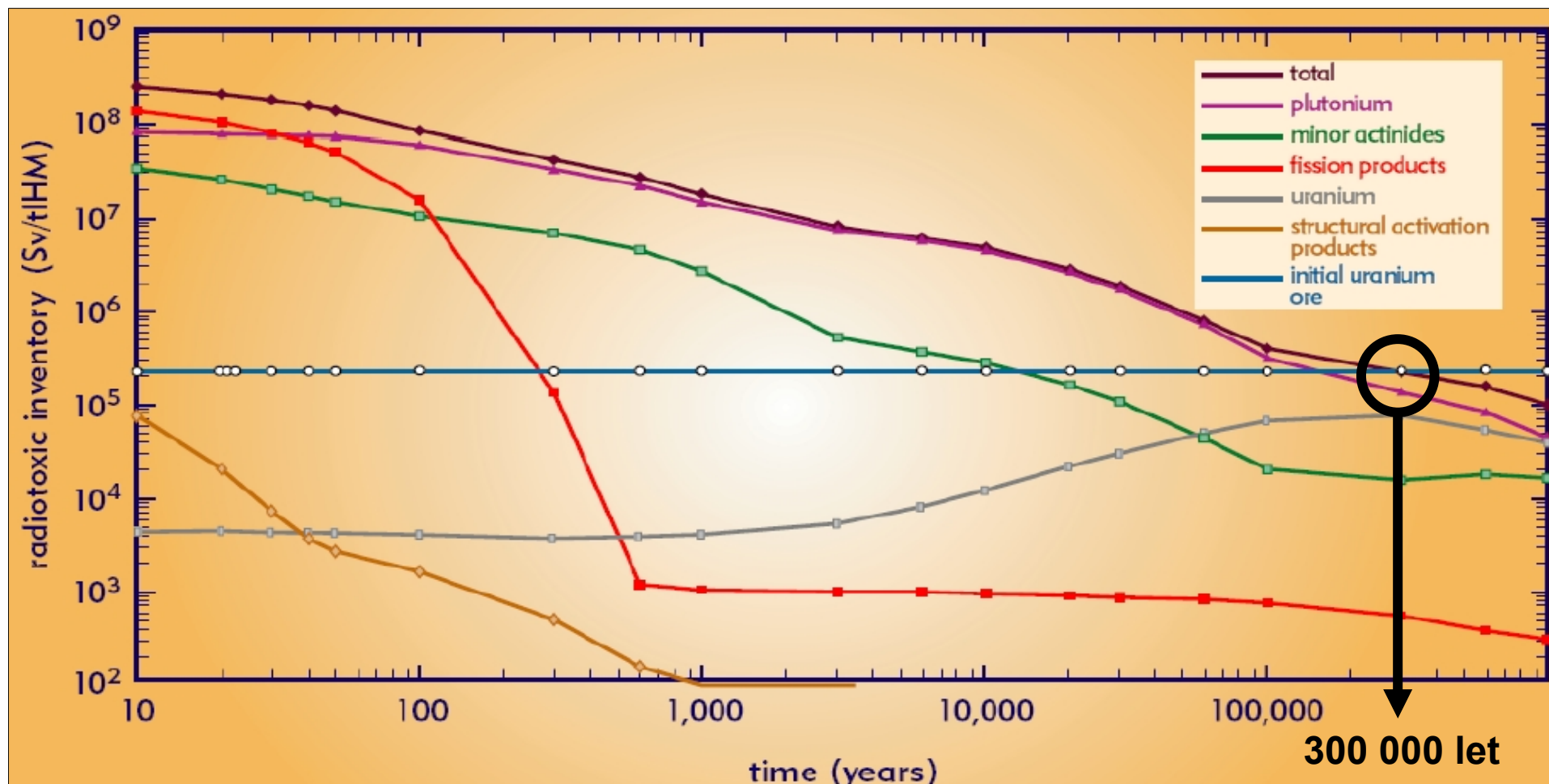
**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Problematika jaderného odpadu

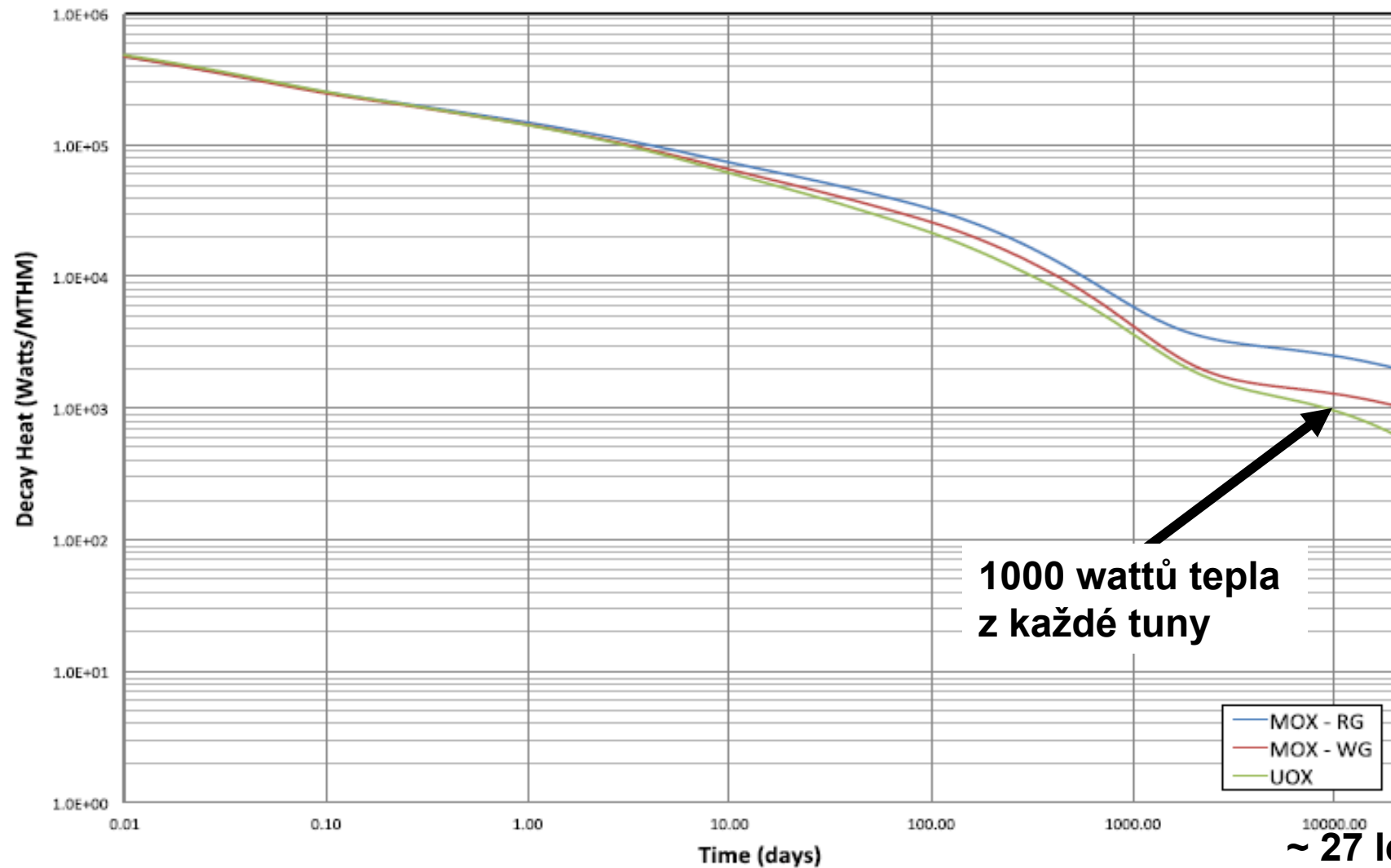
**Palivo zůstává aktivní i po vytažení z reaktoru.** Stovky radioizotopů obsažené ve vyhořelém palivu se dále spontánně rozpadají, vyzařují ionizující záření...



# Problematika jaderného odpadu

... a generují teplo

Decay Heat vs. Time for MOX and UOX for a PWR Bundle  
(40 GWd/MTHM)



# Problematika jaderného odpadu

## Vystřelování do vesmíru

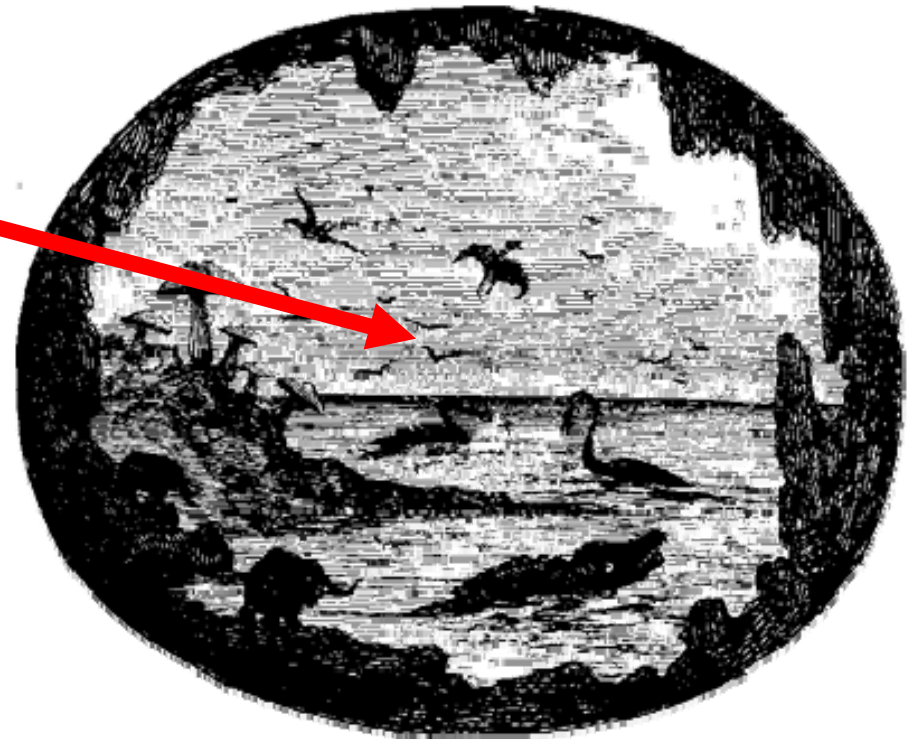
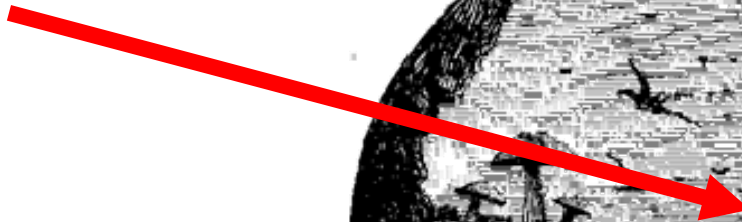


**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests

# Problematika jaderného odpadu

## Spouštění pod zemské tektonické desky



**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Problematika jaderného odpadu

## Shazování na dno oceánů

Od roku 1993  
zákaz v rámci  
Londýnské  
konvence





# Problematika jaderného odpadu

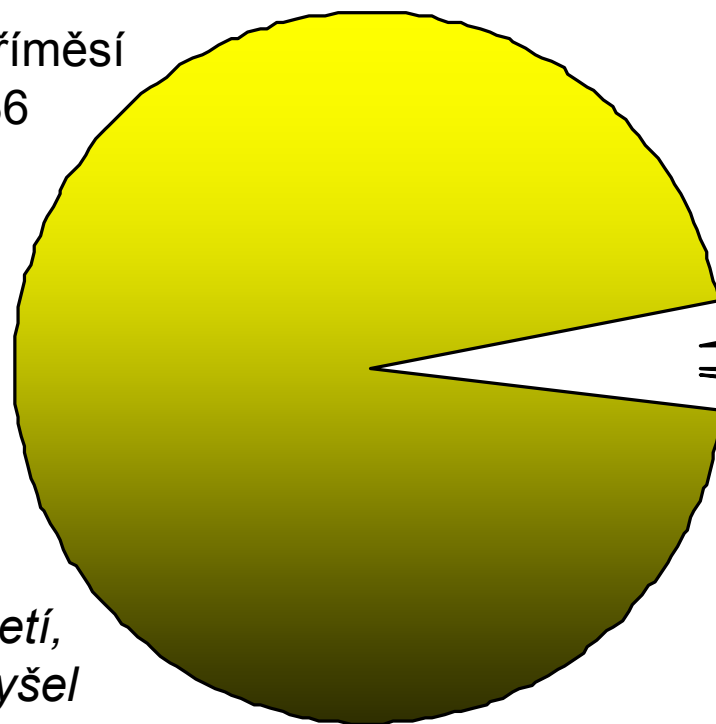
## Přepracování (dnes tzv. „recyklace“) vyhořelého paliva

**95 %**

Uran-238 s příměsí  
U-232 a U-236

**Odpad\***

*\* program  
rychlých  
reaktorů,  
optimisticky  
chystaný  
v 60. letech  
minulého století,  
naprosto nevyšel*



**3 %**

Štěpné produkty  
**Odpad**

**1 %**

Plutonium  
**Štěpitelné**

**1 %**

Uran-235  
**Štěpitelný**

# GREENPEACE

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Problematika jaderného odpadu

Přepřerování neřeší problém odpadu a je příliš drahé

1 tuna vyhořelého paliva

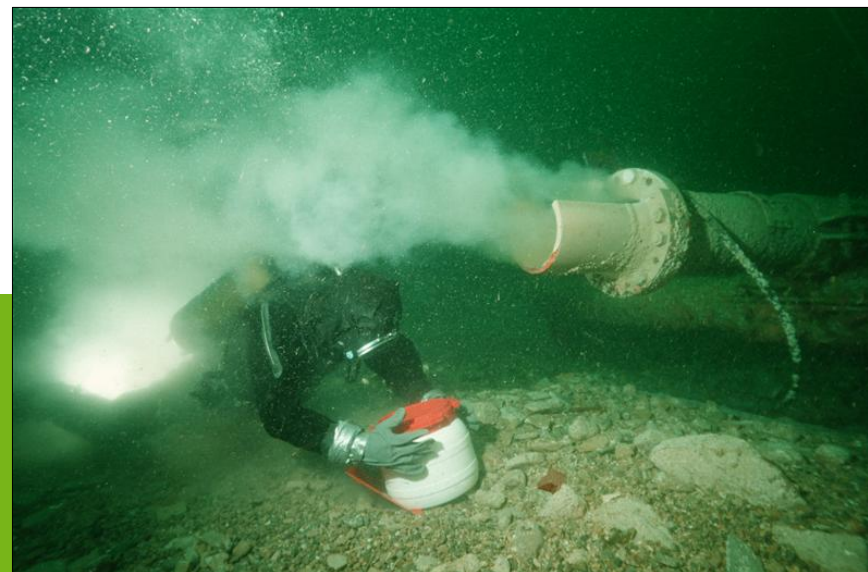
0,2 m<sup>3</sup>



6,8 m<sup>3</sup>

radioaktivního odpadu + výpust'

Waste	Drum Volume <sup>a</sup>	
<b>HLW</b>		
Vitrified waste	0.180	
<b>LL-ILW</b>		
Hulls and nozzles	Cemented	1.800
	Compacted	0.180
Process waste	Bituminized sludge	0.238
Technological waste	Cemented, asbestos-cement drum	1.180
	Cemented, large cement drum	1.180
<b>SL-ILW/LLW</b>		
Technological waste	Cemented, small cement drum	0.660
	Cemented, large cement drum	1.180
	Cemented, iron drum	0.225
	Incinerated	no data



**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests

# Problematika jaderného odpadu

Separované plutonium představuje geopolitická rizika šíření jaderných materiálů a zbraní:

Británie ~ 100 tun Pu

Japonsko ~ 50 tun Pu

Francie ~ 50 tun vlastního  
+ 30 tun cizího Pu



**Celosvětově ~ 250 tun separované plutonia**

Jaderná bomba potřebuje 5 až 10 kg plutonia, světový inventář tedy dostačuje na cca 35 000 jaderných náloží.

**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests

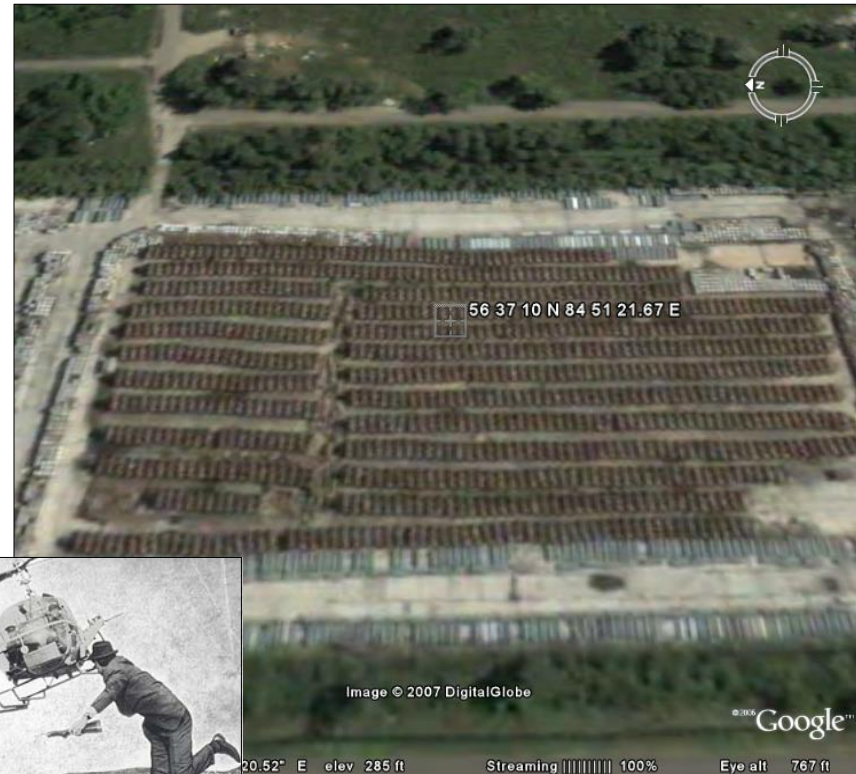


# Problematika jaderného odpadu

Separovaný uran (95 %) – kam s ním?

Z Francie...

do Ruska

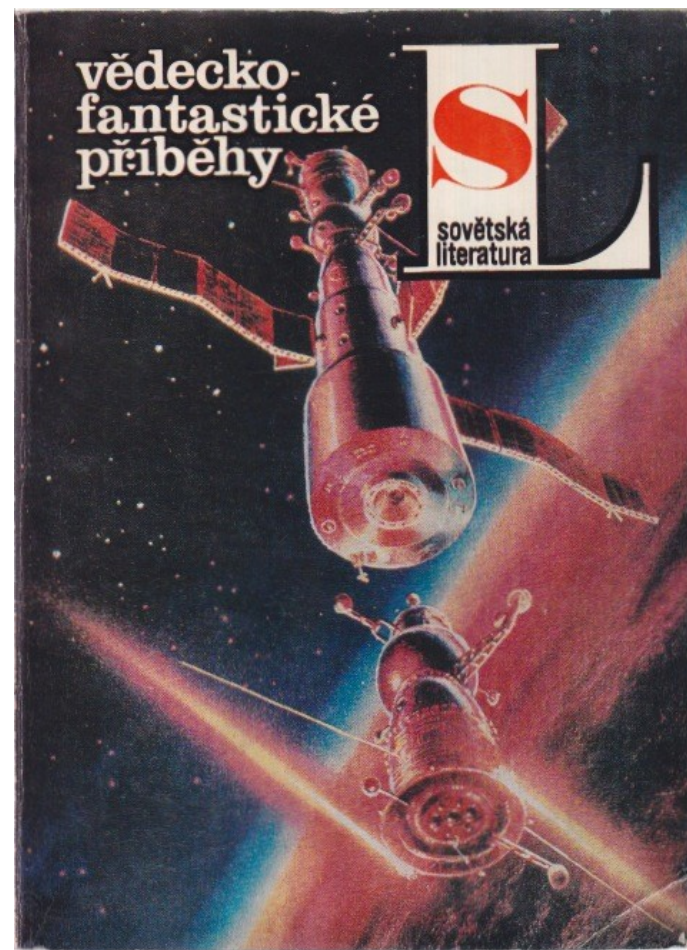


# Problematika jaderného odpadu

## Transmutace / Lineární urychlovač

Prakticky stejné problémy jako přepracování:

- produkuje vedlejší odpady
- vysoké náklady
- nepředpokládané provozní problémy
- koncept možná zajímavý, ale realizace i po dvaceti letech v nedohlednu



# GREENPEACE

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



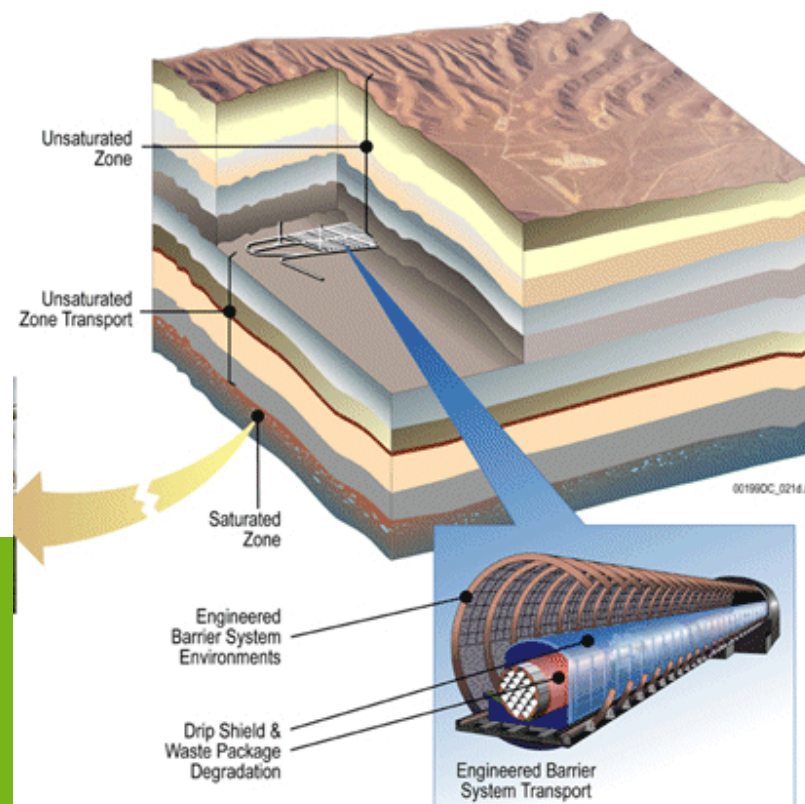
# Problematika jaderného odpadu

**Hlubinná úložiště:** vulkanický masiv v poušti  
(Yucca Mountain, USA)



**1983:** 15 let stavby, cena 20 miliard dolarů

**dnes:** v nedohlednu, cena více než 96 miliard dolarů



**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests

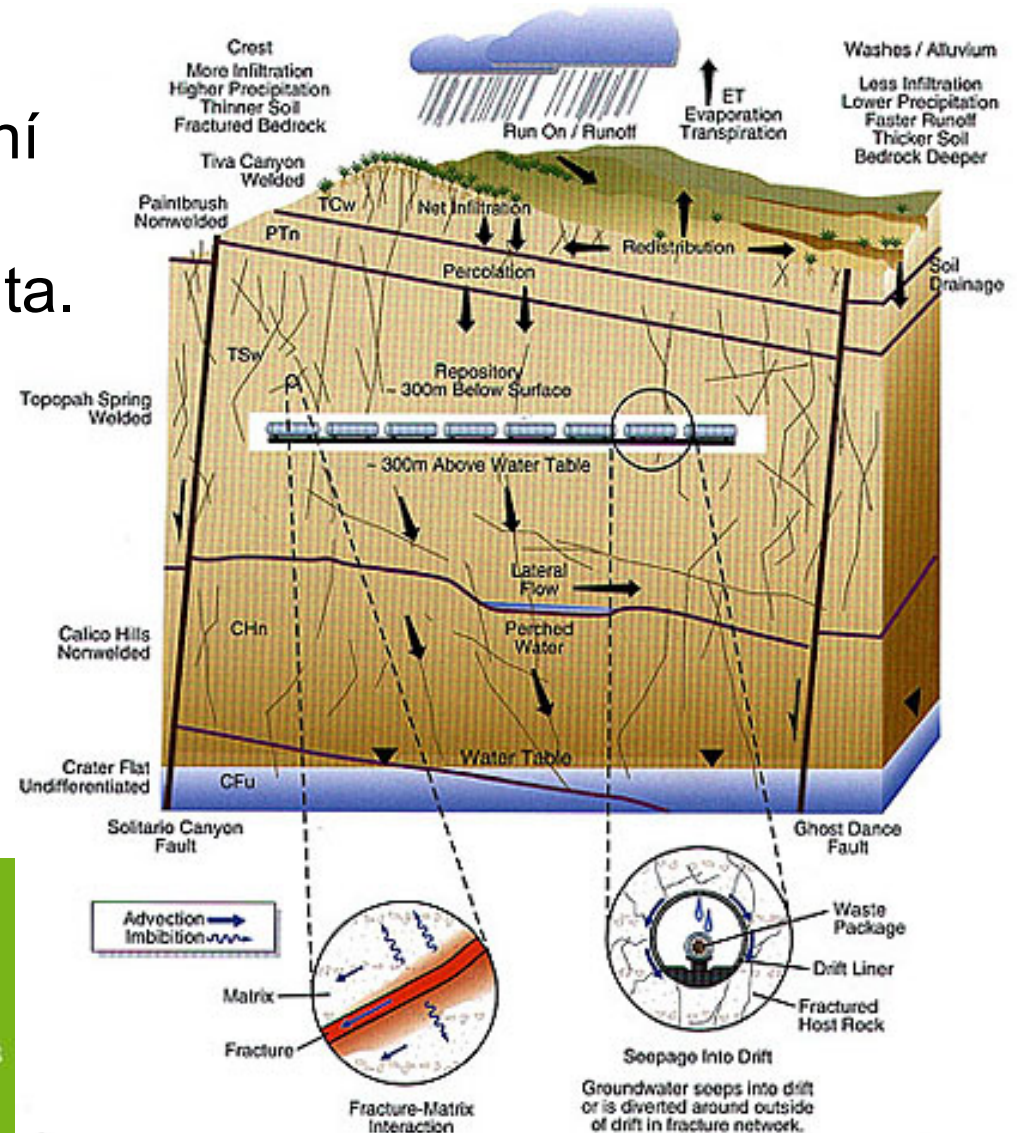
# Problematika jaderného odpadu

**Hlubinná úložiště:** vulkanický masiv v poušti (Yucca Mountain, USA)

Desítky skandálů a upravování původních limitů a podmínek tak, aby se do nich vešla realita.

Standardy a limity pro úložiště podle americké Agentury pro ochranu ŽP (EPA):

prvních 10 000 let: 0,15 mSv/r  
poté: 3,5 mSv/rok (23-násobek)



**GREENPEACE**  
the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests

# Problematika jaderného odpadu

**Hlubinná úložiště:** solné vrstvy (Gorleben/Asse II, Německo)



Celkem 126 000 barelů nízko a středně radioaktivních odpadů, ukládání od r. 1978.

Hloubka komplexu štol až do 950 metrů.

**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests





# Problematika jaderného odpadu

Hlubinná úložiště: solné vrstvy (Gorleben/Asse II, Německo)



**Rok 2008:** prosaky solanky kolem 12 m<sup>3</sup>/den

Provozu předcházelo 25 let průzkumů, které to měly vyloučit.

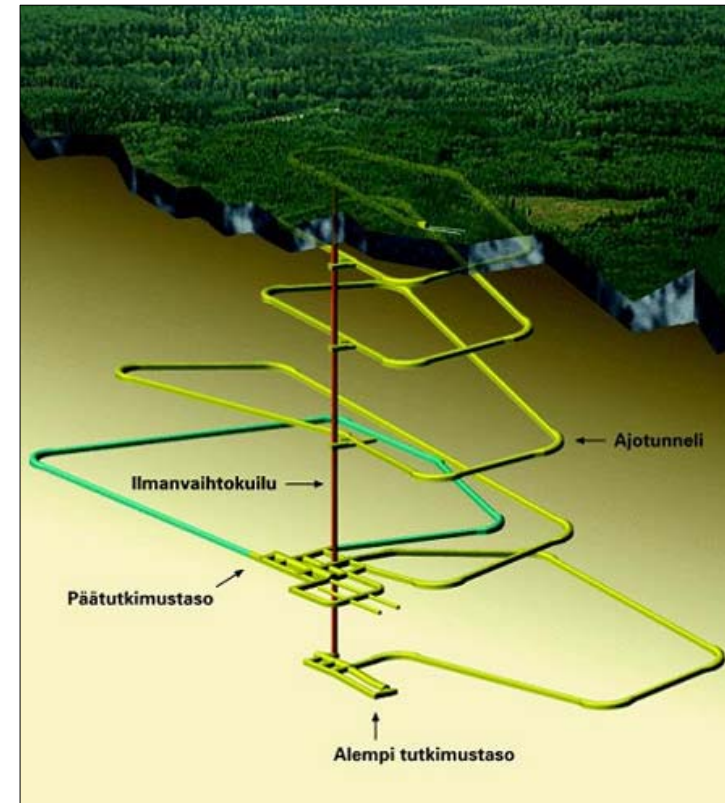
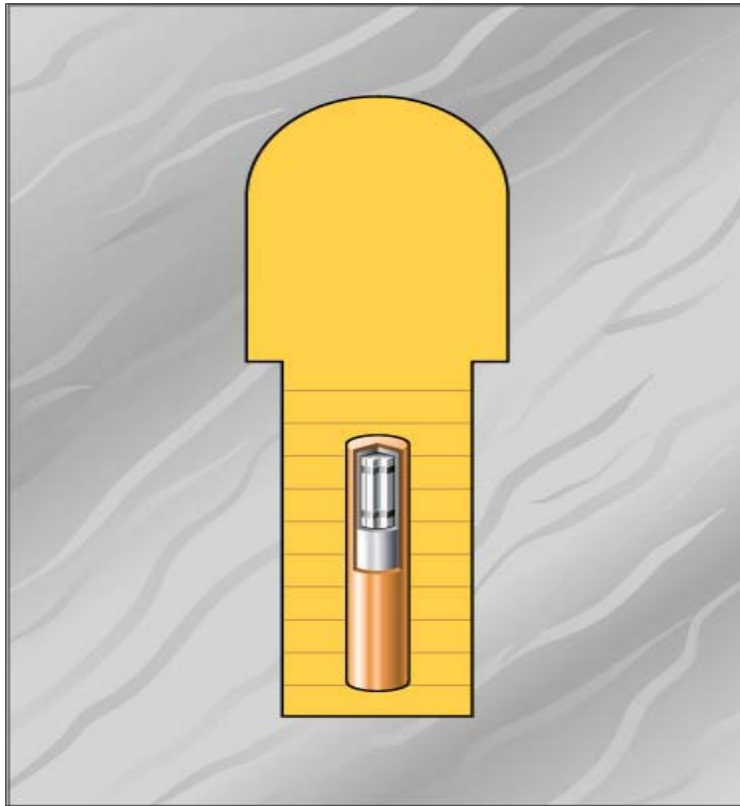


**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting and

# Problematika jaderného odpadu

## Hlubinná úložiště: žula (Onkalo, Finsko)



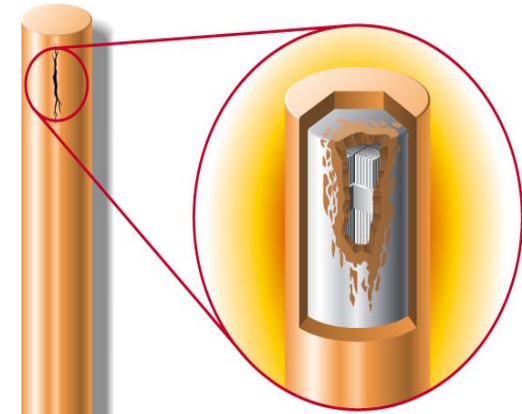
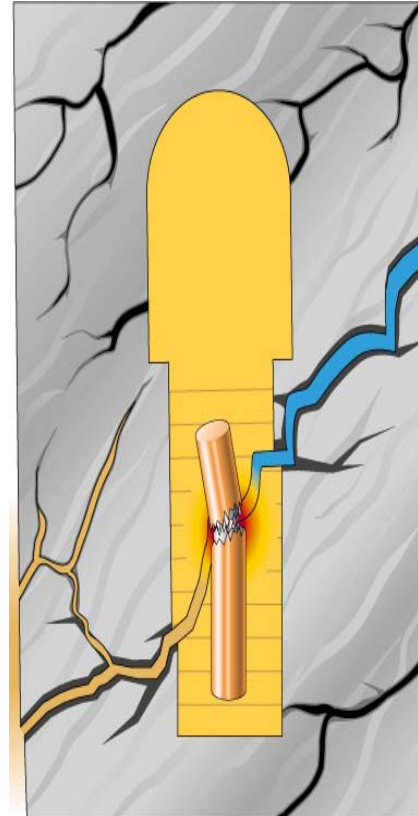
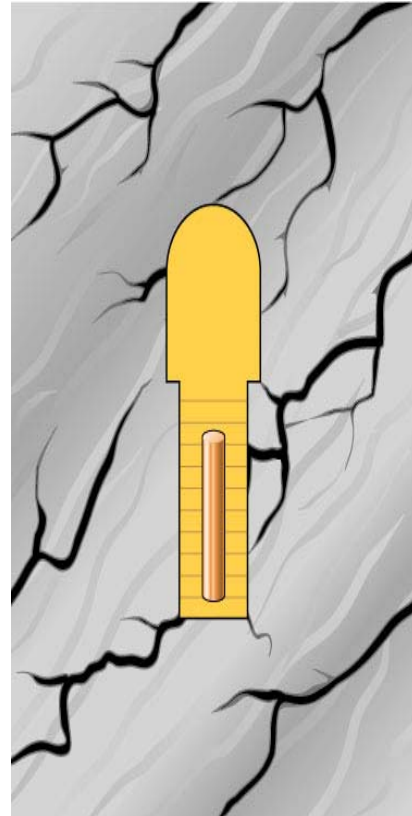
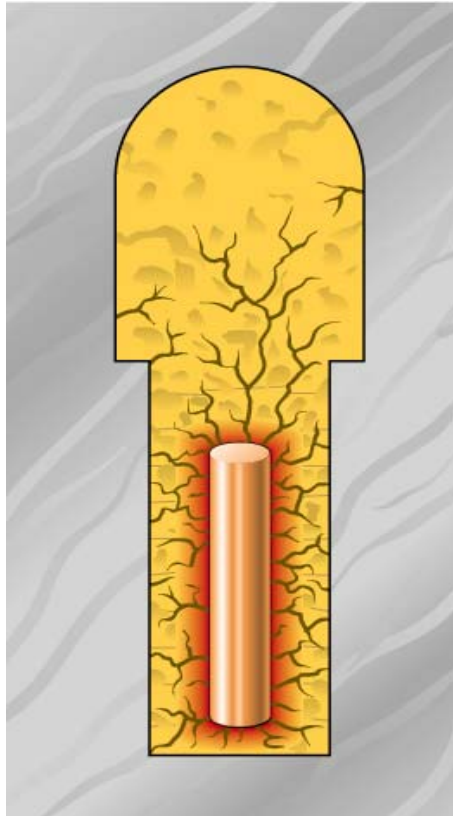
**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Problematika jaderného odpadu

## Hlubinná úložiště: žula (Onkalo, Finsko)



**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Problematika jaderného odpadu

**Není řešení? Pomohou triky!**

**1. Překvalifikace z kategorie „odpadů“ na „surovinu“**



**GREENPEACE**

the climate solution:

energy [r]evolution and protecting ancient forests

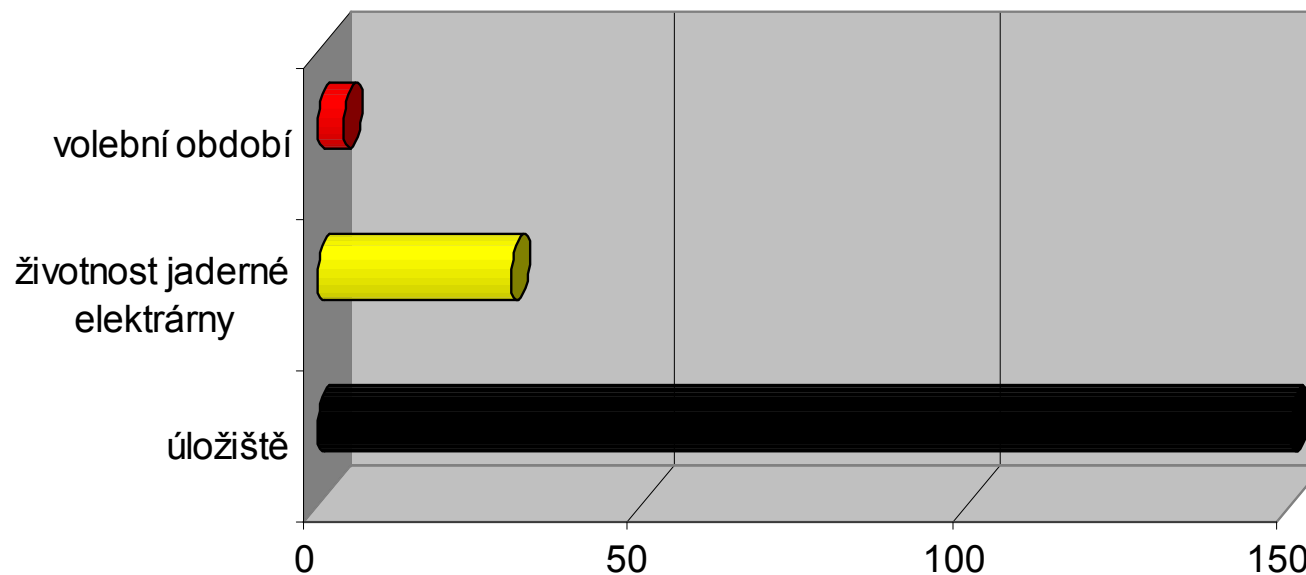


# Problematika jaderného odpadu

**Není řešení? Pomohou triky!**

## 2. Odklad řešení:

Úložiště připraveno už během provozu elektrárny...  
nebo spíš raději až za 100 nebo 150 let.



**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Problematika jaderného odpadu

**Není řešení? Pomohou triky!**

## 2. Odklad řešení:

Diskontace: diskontní sazba 5 % po dobu 150 let



budoucí náklady 100 miliard Kč



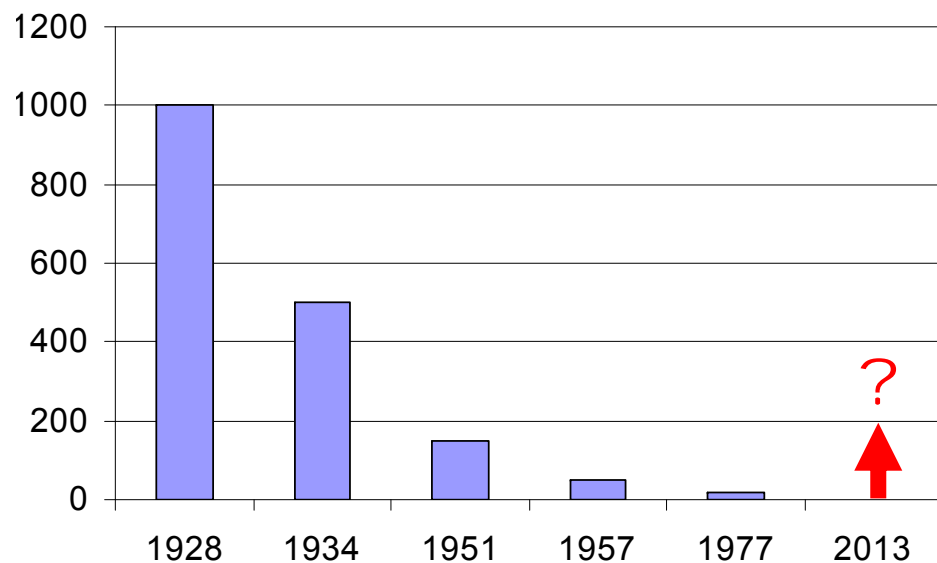
současná hodnota těchto budoucích nákladů činí pouhých 66 milionů Kč

# Problematika jaderného odpadu

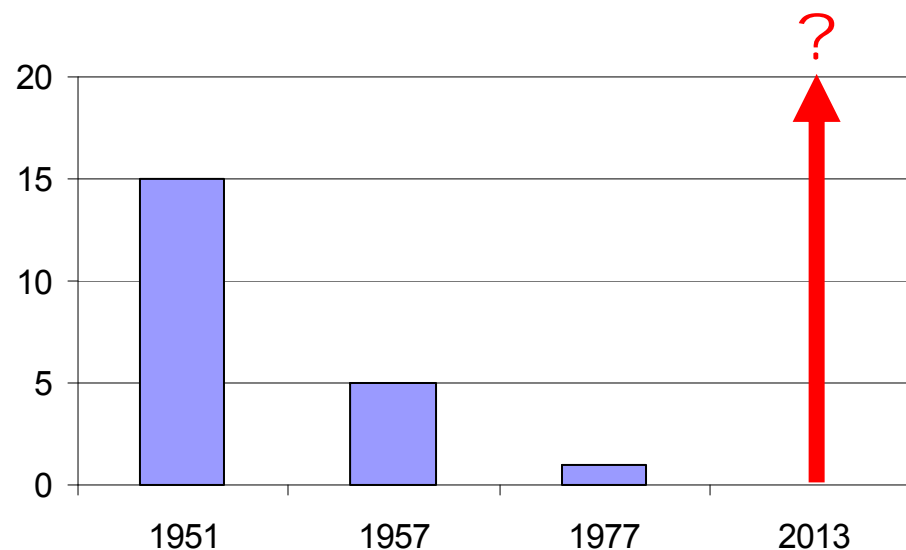
**Není řešení? Pomohou triky!**

## 3. Deregulace ionizujícího záření:

*Vývoj limitů pro pracovníky (mSv/rok)*



*Vývoj limitů pro veřejnost (mSv/rok)*



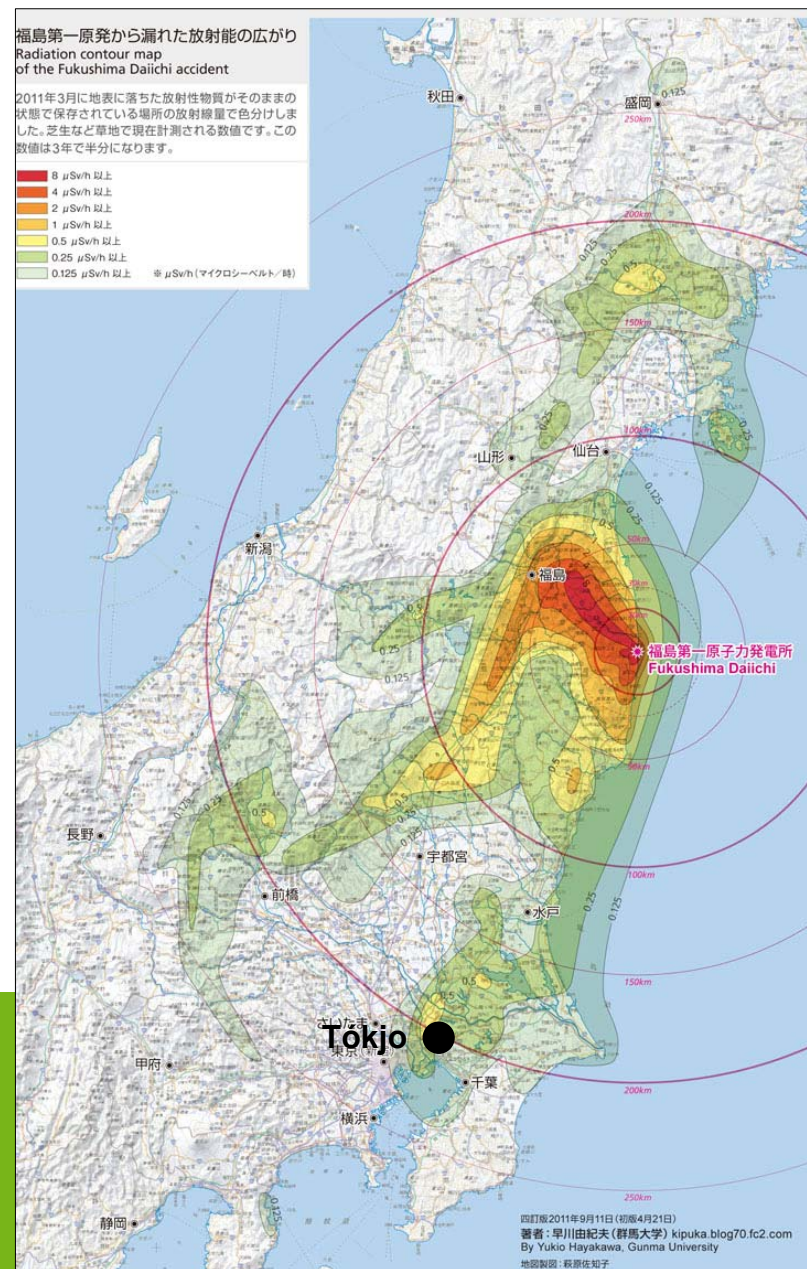
Zejména po Fukušimě se běžně bagatelizují rizika dávek, která mnohonásobně překračují dnešní zákonem stanovené limity. Hrozí návrat ke „standardům“ obvyklým ještě před druhou světovou válkou – to by samozřejmě jadernému průmyslu usnadnilo práci.

# Lekce z Fukušimy



Těžká havárie a kontaminace rozsáhlého území.

**GREENPEACE**  
the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests





## Selhání evakuace

- Kruhy, řádově několik km
- Kontraproduktivní chlácholení
- Přesun do míst s ještě vyšší radiací
- Nemocní a slabí ponecháni napospas
- Lidé uzavření doma 10 dní
- Zdivočelá a hladovějící zvířata
- Jódová profylaxe selhala



nt forests

## Selhání odškodnění

- i po dvou letech 150 000 dlouhodobě evakuovaných
- statisíce dalších lidí zůstává v kontaminovaných místech
- 13 000 km<sup>2</sup> plochy významně kontaminované (>1 mSv/rok)
- ztráta domova, půdy, majetku, živobytí
- rozbití rodin, komunit, ztráta kořenů

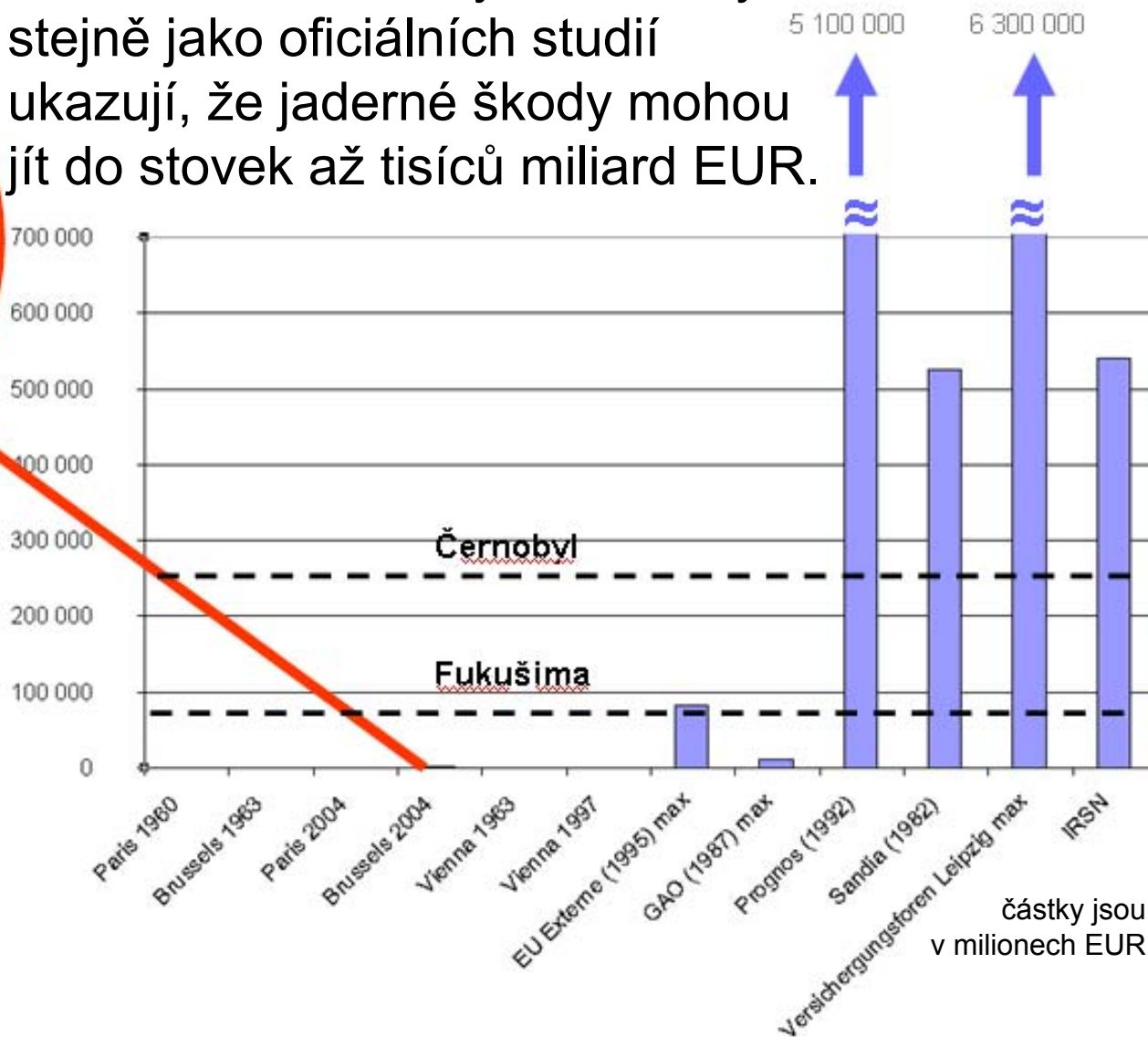


# Lekce z Fukušimy

Zkušenost Fukušimy a Černobyľu, stejně jako oficiálních studií ukazují, že jaderné škody mohou jít do stovek až tisíců miliard EUR.



Zákony a konvencemi stanovená výše povinného ručení za škody ale představuje jen nepatrný zlomek reálných škod těžké jaderné havárie.



částky jsou v milionech EUR

# Lekce z Fukušimy

## Selhání regulace a dozoru

- Střet zájmů a benevolentní přístup jaderného dozoru
- Hrozba zemětřesení i >10 m tsunami byla dlouho známá:
  - 1990 – zkoumání zemětřesení Džogan z r. 869
  - 1997 – předloženo firmě TEPCO (odpověď: „kdybych měli brát v potaz každou nejhorší eventualitu, nic bychom nepostavili“)
  - 2000 – studie TEPCO, pravděpodobnost 10 % během života
  - 2008 – dozor (JNES): velká přílivová vlna může způsobit úplnou ztrátu chlazení a roztavení paliva
  - 2011 – čtyři dny před nehodou TEPCO přiznalo, že ví o nedostacích ochrany proti zaplavení

**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Lekce z Fukušimy

## Selhání regulace a dozoru

- Mezinárodní mise a hloubková kontrola MAAE roku 2007:
  - „Japonsko zavedlo vyčerpávající právní a institucionální rámec pro kontrolu jaderné bezpečnosti“
  - „Všechny důležité oblasti jaderné bezpečnosti podléhají pravidelnému a pečlivému dohledu ze strany provozovatele i státu“
  - „Best practice: úřady podrobily důkladné kontrole všechny scénáře a situace těžkých havárií, načež byli provozovatelé donuceni přijmout všechna potřebná opatření k zamezení jejich vzniku a k jejich zvládnutí“
- březen 2011, litate:
  - 27. 3. Greenpeace oznamuje nutnost evakuovat
  - 30. 3. MAAE informaci a nutnost evakuace potvrzuje, ale už 1. 4. MAAE odvolává („přepočítání zahrnující nová data poskytnutá japonskou vládou“)
  - 22. 4. konečně evakuace: měsíc poté, co problém vešel ve známost...

# Problematika jaderného odpadu

**Radioaktivní inventář v meziskladu, resp. úložišti vyhořelého paliva je obrovský.**

Černobyl:



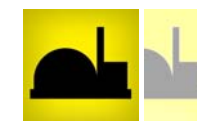
Fukušima:



Vyhořelého paliva v ČR doposud



Každý další rok provozu JE Dukovany a JE Temelín:



**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



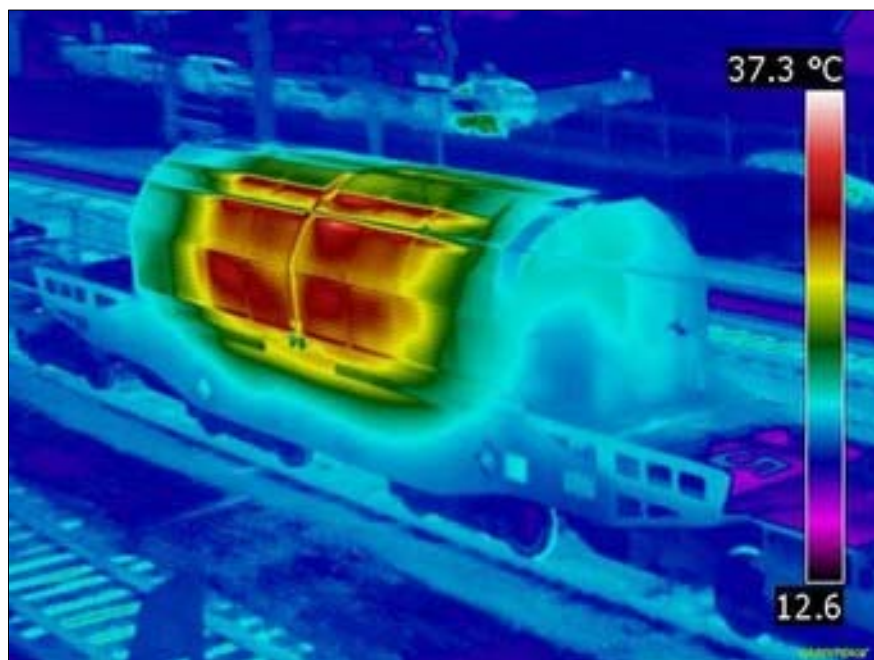
# Problematika jaderného odpadu

**Pro jaderné odpady neexistuje žádné bezpečné řešení.**

Rizika jsou spojena i s transporty odpadů.

Únik z jednoho kontejneru cca 500 TBq Cs-137, nutnost evakuovat okolí do vzdálenosti cca 5 km

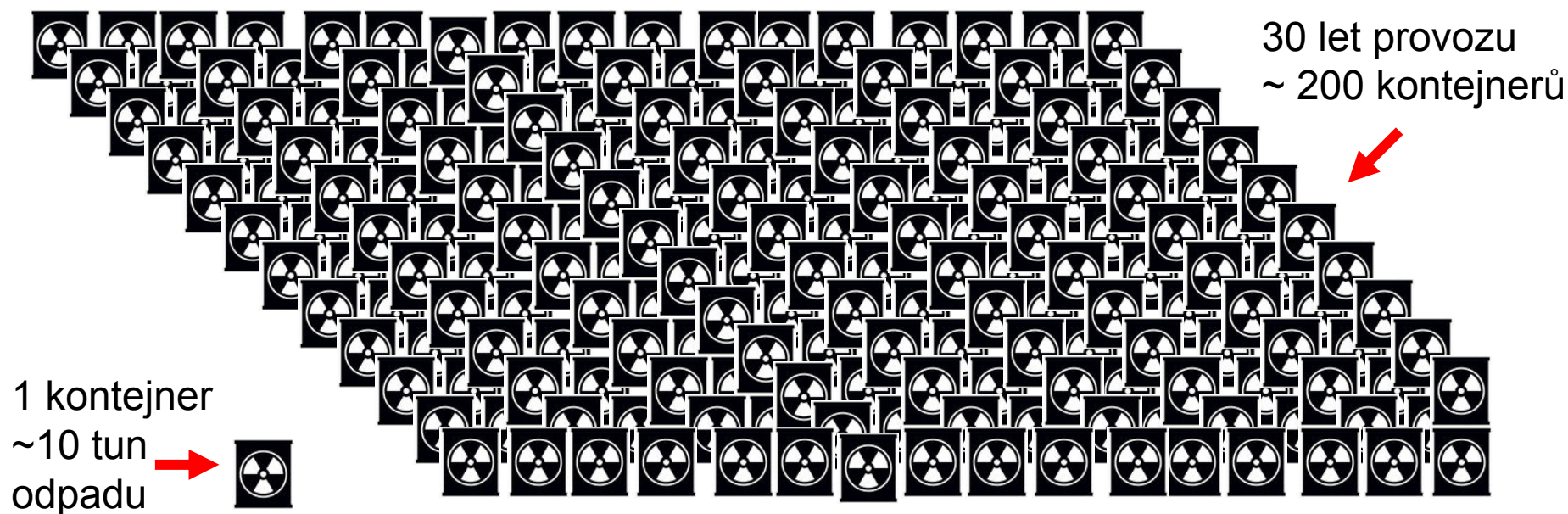
(Fukušima – desítky tisíc TBq Cs-137, ekvivalent cca 100 kontejnerů).



# Problematika jaderného odpadu

**Pro jaderné odpady neexistuje žádné bezpečné řešení.**

Technologie a metody, které se dnes zkoumají, dokážou v nejlepším případě snížit inherentní rizika. Podstatné je proto také zamezení produkce dalších tisíců tun odpadů.



Pravděpodobnost selhání jednoho kontejneru může být malá. Provoz jedné jaderné elektrárny jich ale vyprodukuje několik stovek, čímž riziko nehody podstatně roste.

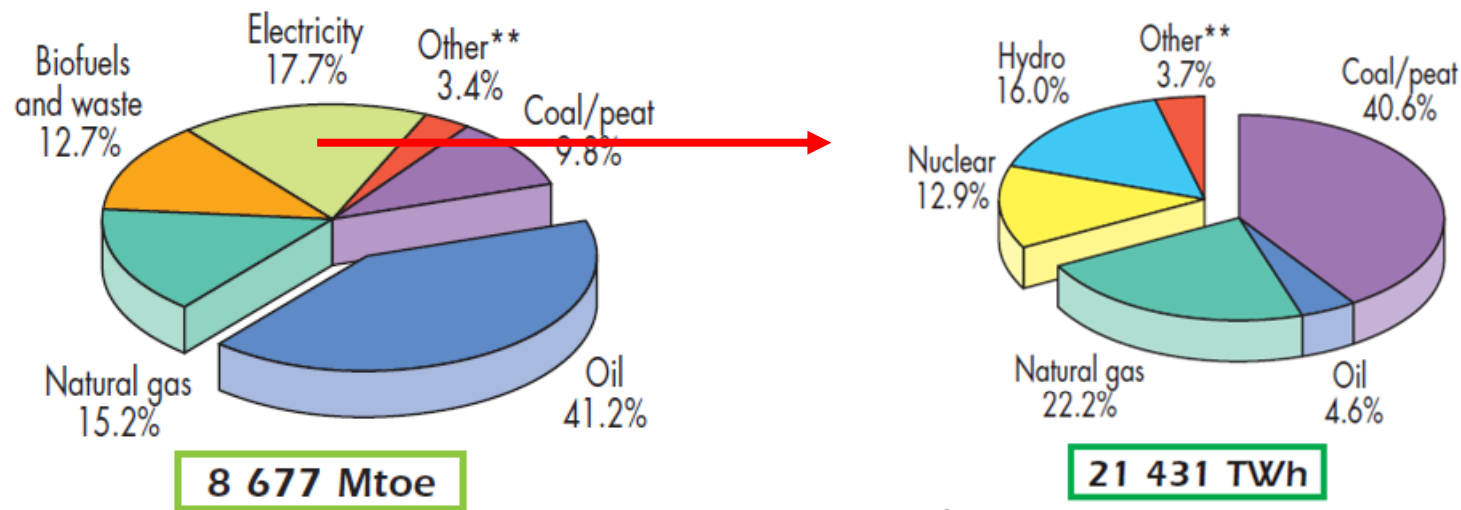


# Jaderná energetika po Fukušimě

Struktura konečné spotřeby energie (globálně) v roce 2010:

Jádro vyrobilo 12,9 % elektřiny, která měla podíl 17,7 % na spotřebě energie. Jádro tedy pokrývá **2 %** spotřeby energie.

Marginální technologie, ale obrovské problémy.



*Pramen: 2012  
World Key  
Energy Statistics,  
IEA/OECD*

# GREENPEACE

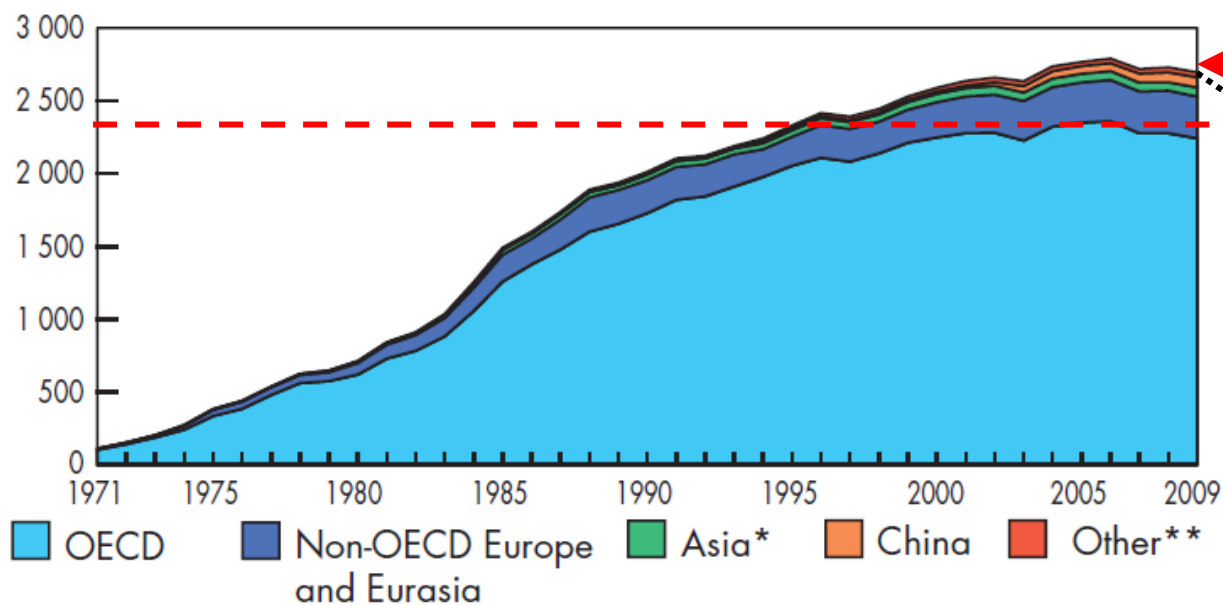
the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Jaderná energetika po Fukušimě

## Roční výroba jaderné elektřiny

Nuclear production from 1971 to 2009  
by region (TWh)



Jaderná energetika byla na ústupu už před Fukušimou.

V roce 2012 vyrobila už jen 2 346 TWh.

*Pramen: 2011 World Key Energy Statistics, IEA/OECD*

# GREENPEACE

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Jaderná energetika po Fukušimě

## Výstup z jádra nebo rušení plánů na nové reaktory:

Německo, Japonsko, Itálie, Švýcarsko, Belgie, Nizozemí, Bulharsko, Litva



## Redukce nebo odklad plánů na nové reaktory:

Čína, Indie, USA, Kanada, Británie, Francie, Finsko, Východní Evropa



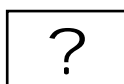
## Jaderné programy beze změn

Arabské emiráty, Brazílie, Jižní Afrika, Jižní Korea



## Urychlení nebo zvýšení ambicí jaderných programů:

nikdo



**GREENPEACE**

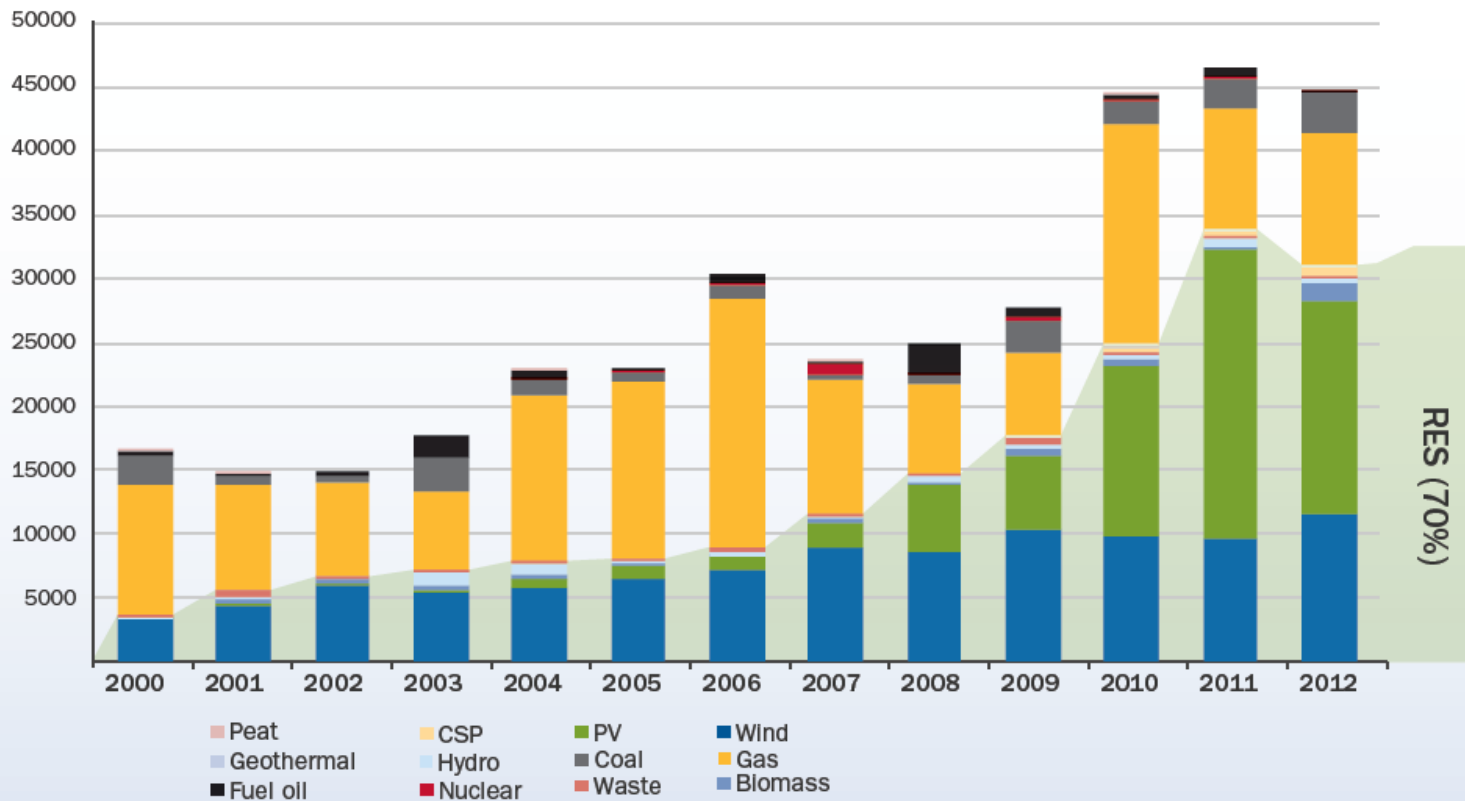
the climate solution:

energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Energetika v Evropě

FIGURE 2.1 INSTALLED POWER GENERATING CAPACITY PER YEAR IN MW AND RES SHARE (%)



V roce 2012 představovaly obnovitelné zdroje 2/3 všech nově instalovaných elektráren v EU



Pramen: European Wind Energy Association, 2013

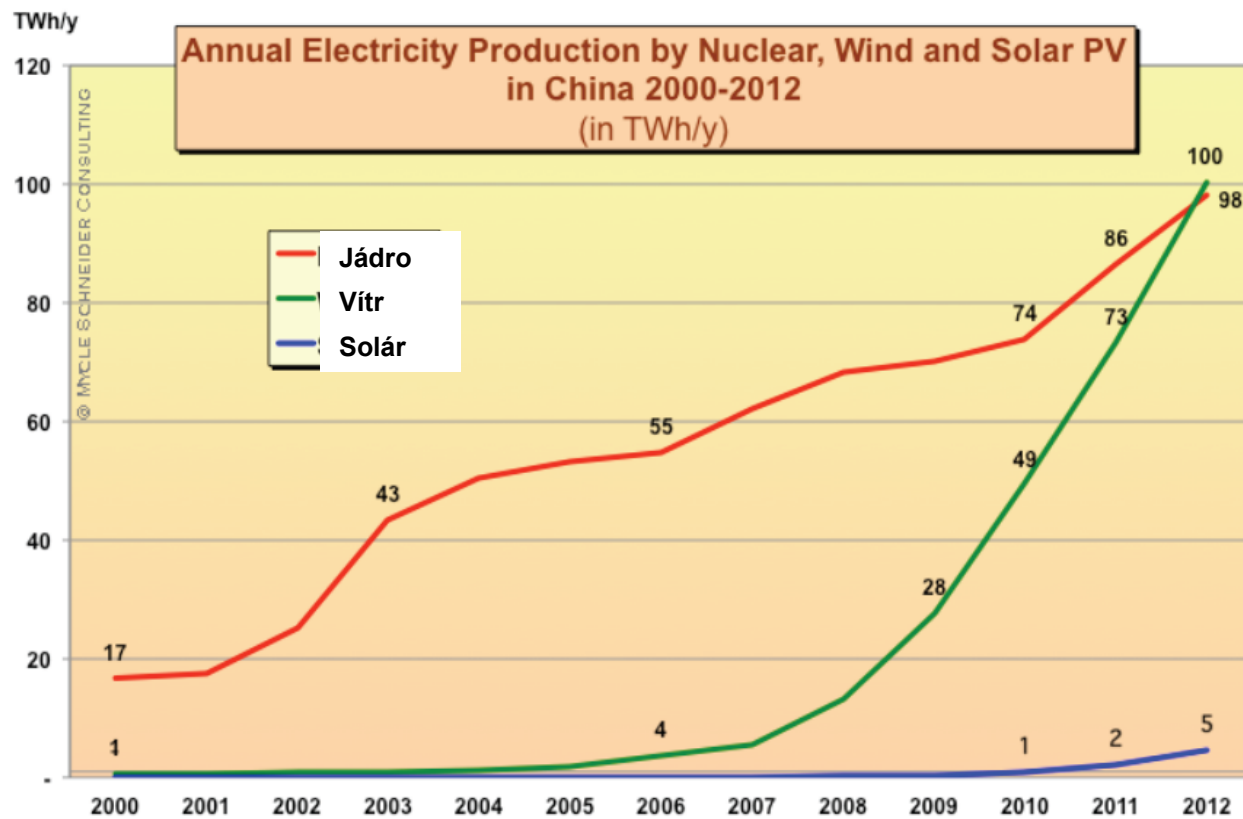
# GREENPEACE

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Energetika ve světě

Čína: Objem vyrobené elektřiny v TWh, podle technologií



Source: BP 2013

# GREENPEACE

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests

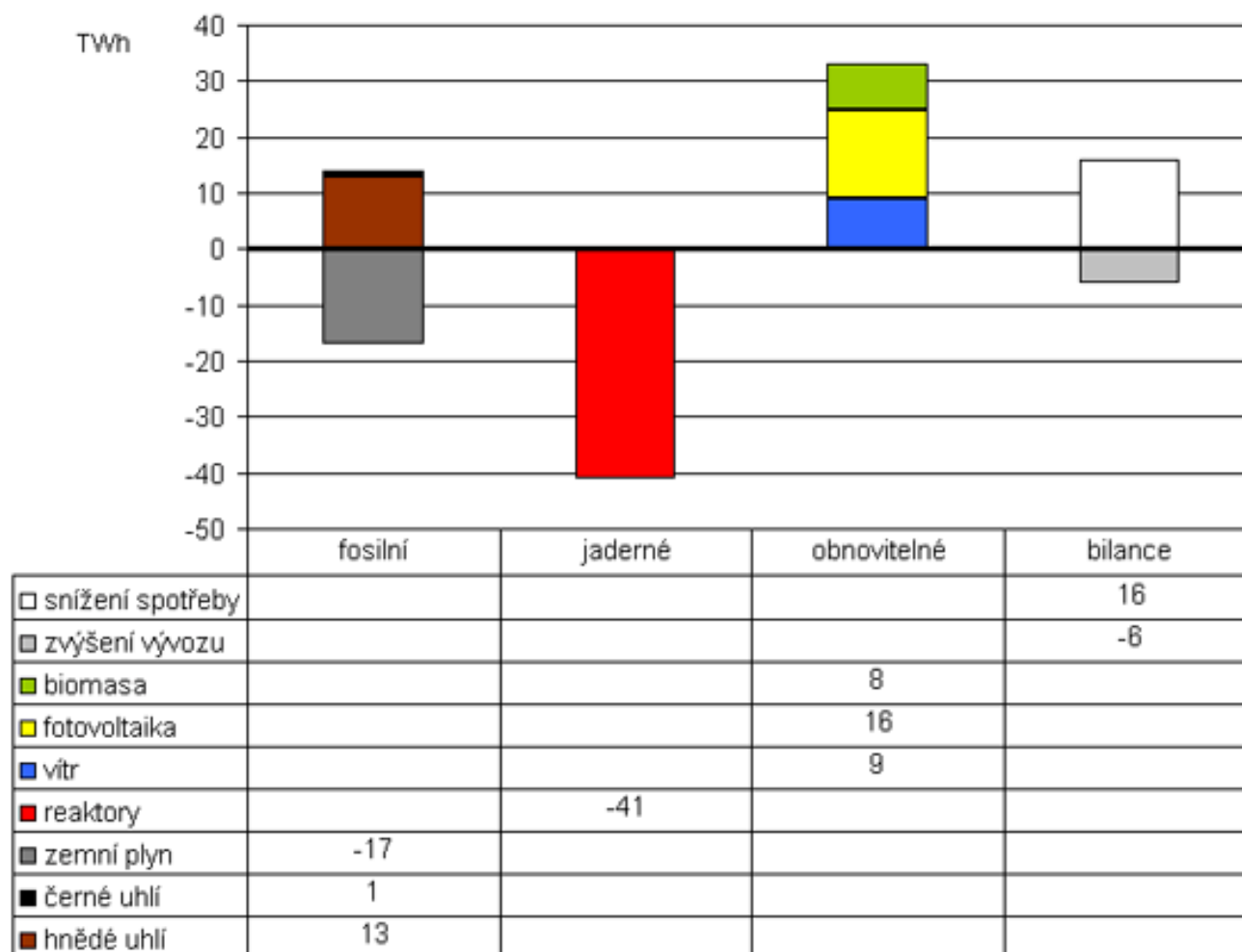


# Energetika ve světě

Německo: za pouhé dva roky OZE a úspory s rezervou nahradily osm ostavených reaktorů

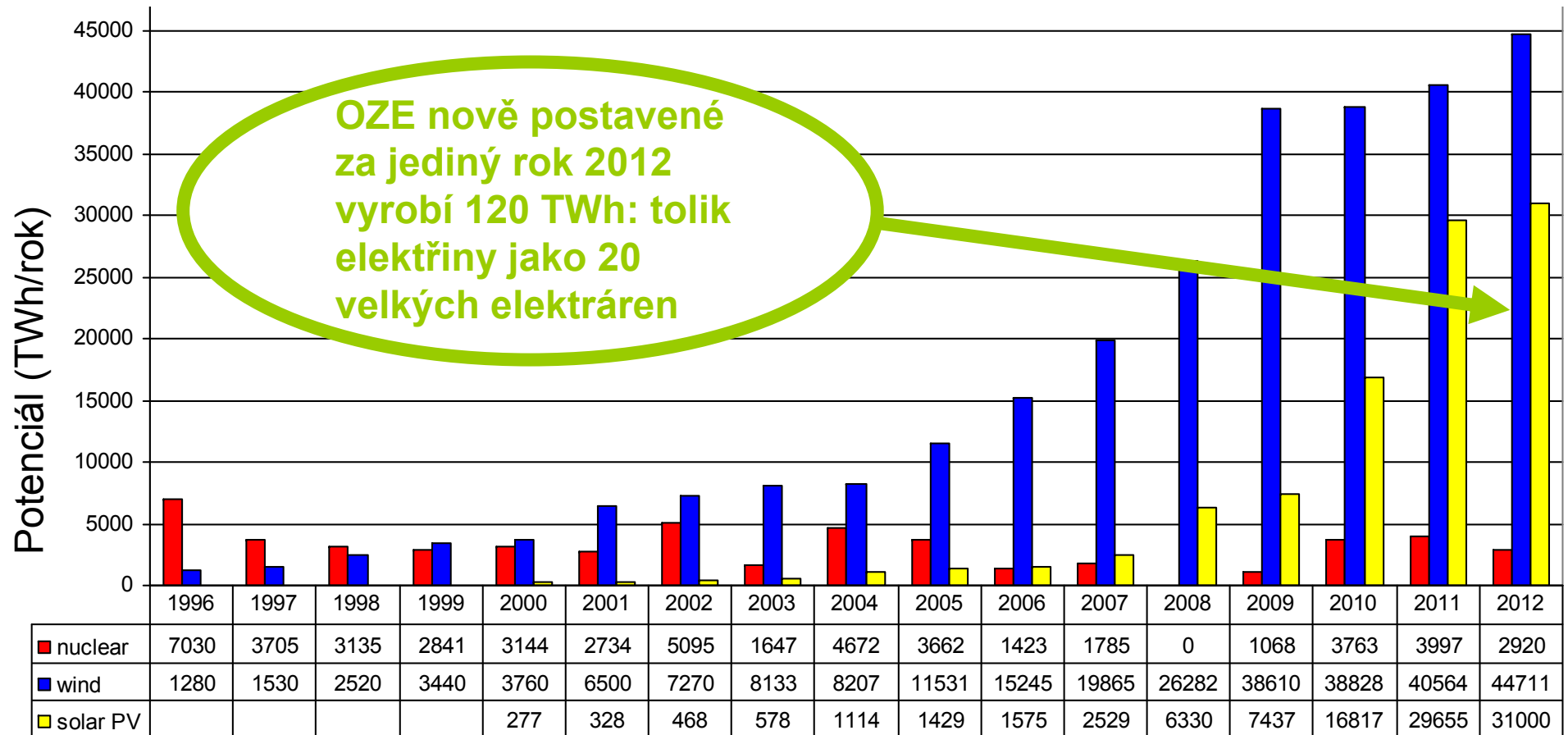
Změny ve výrobě elektřiny v Německu od roku 2010

data <http://www.ag-energiebilanzen.de>



# Energetika ve světě

## Potenciál výroby elektřiny (zohledněno rozdílné vytížení)



**GREENPEACE**

the climate solution:  
energy [r]evolution and protecting ancient forests



# Problematika jaderného odpadu

**Dejme tomu, že přestaneme generovat další odpady.  
Co ale udělat s těmi stávajícími? Některé principy:**

- Ponechat v areálech JE: nevytvářet zbytečně rizika převážením odpadů a jejich umístování na nové, zatím nedotečné lokality.
- Skladování v nejlepších dostupných technologiích.
- Úložiště otevřená, přístupná a monitorovaná, aby příští generace mohly případně uplatnit lepší technologie.
- Každá země by měla mít vlastní koncepci a řešení: žádný vývoz odpadů za hranice.

**GREENPEACE**

the climate solution:

energy [r]evolution and protecting ancient forests





# Problematika jaderného odpadu

**Děkuji za pozornost.**

Jan Beránek

[jan.beranek@greenpeace.org](mailto:jan.beranek@greenpeace.org)

**GREENPEACE**

**the climate solution:**

energy [r]evolution and protecting ancient forests

