

ENERGIA NUCLEARĂ

Mit și adevăr

Dr. Radu A. Vasilache, MInstP
Canberra Packard, București

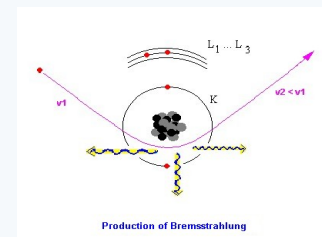
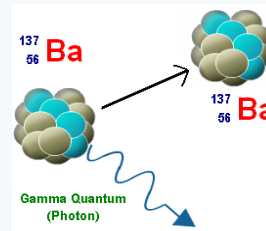
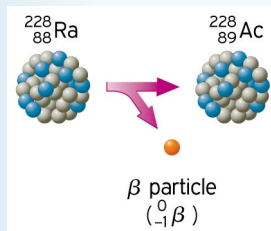
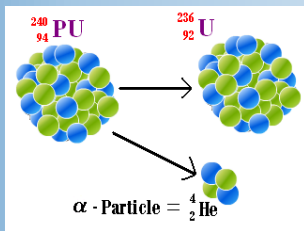
Teme de discuție

1. Radiațiile în viața de zi cu zi: unde le întâlnim, ce sunt ele, cum se măsoară. Principiile protecției radiologice: justificare, optimizare, limitarea dozei (ALARA)
2. Energia nucleară: cum este produsă, ce tipuri de reactoare nucleare există
3. Deșeurile nucleare: ce sunt ele, cum sunt tratate, cum sunt depozitate
4. Accidente nucleare: de ce au avut loc, care au fost efectele
5. Impactul energiei nucleare asupra mediului în comparație cu alte forme de producție a energiei

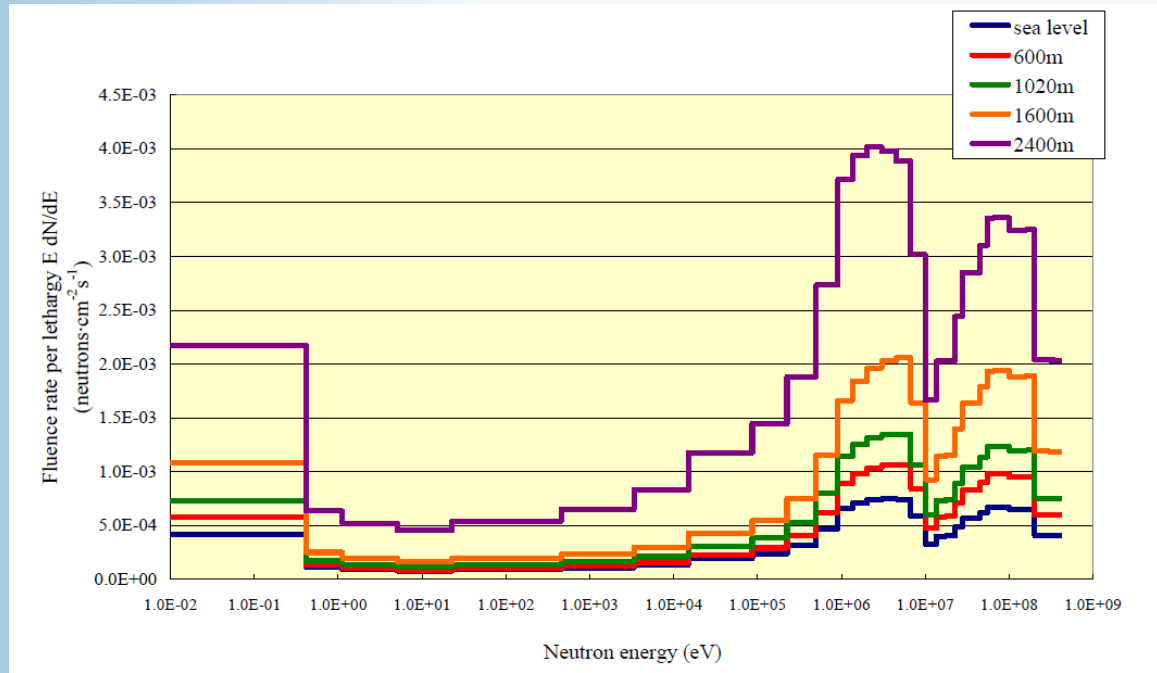
Radiațiile ionizante: ce sunt ele, de unde vin și unde se duc (când se duc)

Tipurile uzuale de radiații ionizante:

- alfa
 - beta (- /+)
 - gamma
 - neutroni (foarte rar...)
 - X : brehmstrahlung (de frânare) sau specifice (își au originea în învelișul electronic al atomului)
- Își au originea în nucleul atomic



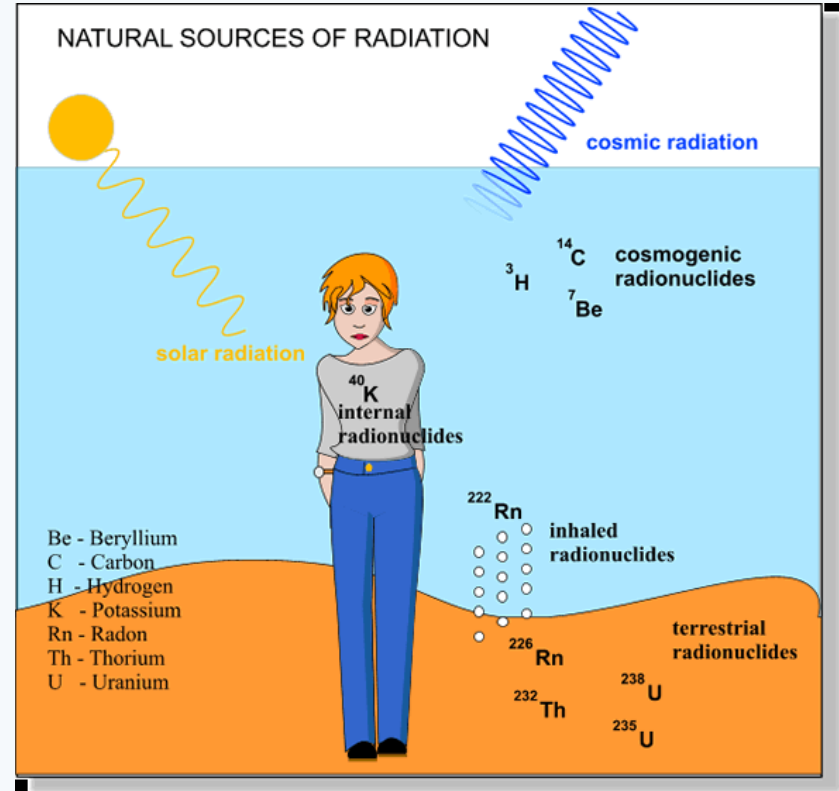
Img: <http://study.com/academy> & <http://microanalyst.mikroanalytik.de/info1.phtml>



M. Kowatari et al., "Altitude Variation of cosmic-ray neutron energy spectrum and ambient dose equivalent at Mt.Fuji in Japan", IRPA 11

De unde provine fondul natural de radiații?

- Sol (U, Th, Ra, etc)
- Aer
- Fond cosmic (soare, dincolo de soare)
- Propriul nostru corp
- Alimente



De unde provine expunere artificială la radiații

- Expunere medicală
- Industrie ne-nucleară: TENORM
- Industria nucleară:
 - cercetare
 - energetică nucleară
 - deșeuri

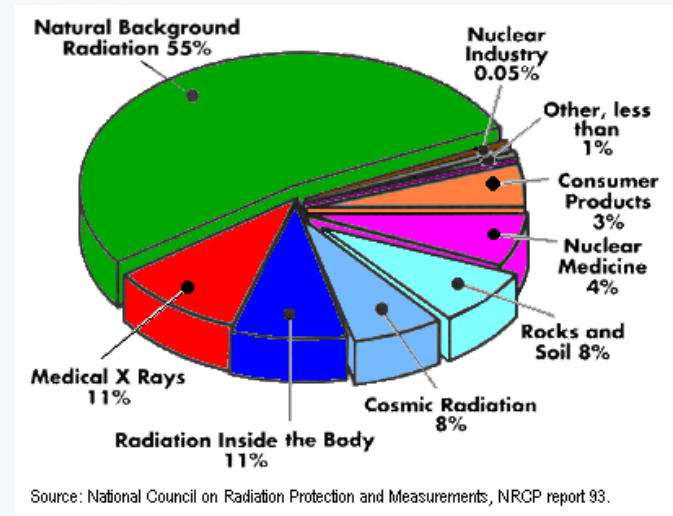
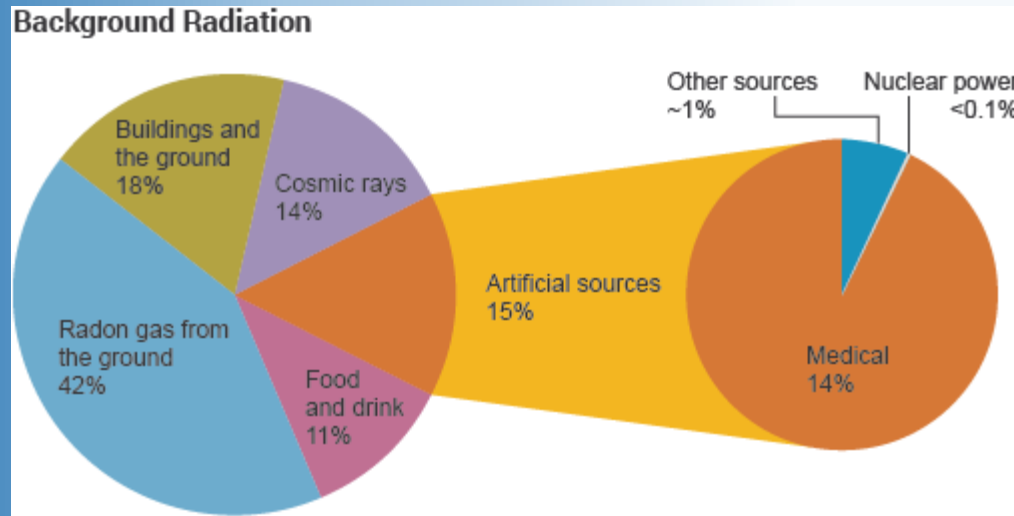
Artificially Produced & Enhanced Radiation

- ▣ X-rays
- ▣ Nuclear medicine
- ▣ Televisions
- ▣ Nuclear power plants
- ▣ Smoke detectors
- ▣ Radium dials
- ▣ Nuclear waste
- ▣ Air travel

The infographic includes illustrations of a doctor and patient, a pill bottle with a radiation symbol, a hand being X-rayed, an airplane flying over a globe, a television, a smoke detector, a radiation canister, a radiation bag, and a nuclear power plant.

Jump to first page

Care este componenta care contribuie cel mai mult la expunerea populației

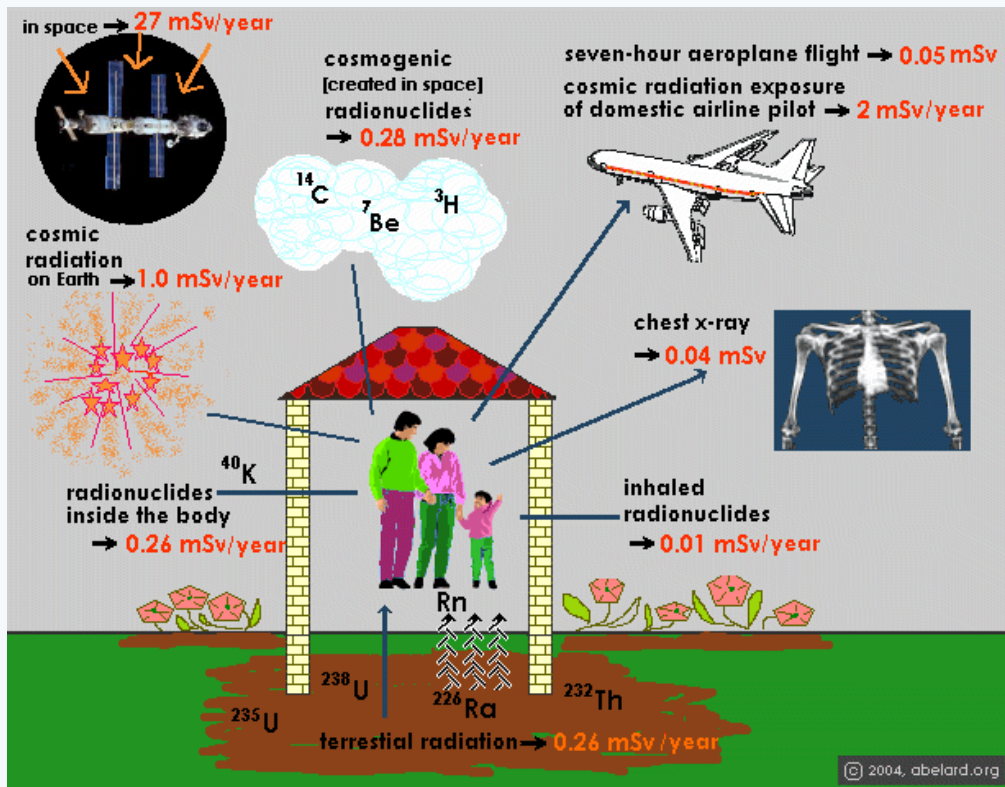


Source: National Council on Radiation Protection and Measurements, NRC report 93.

<http://www.world-nuclear.org>

Căi de expunere

- Externă: cosmică și terestră, gamma
- Externă, medicală (RX)
- Internă: inhalare & ingestie, alfa, beta & gamma
- Internă, medicală (Tc-99m, FDG)



Cum se măsoară radiațiile?

- Caracterizarea sursei: activitate
 $1 \text{ Bq} = 1 \text{ dezintegrare / s} [= 1/(3,7 \times 10^{10}) \text{ Ci}]$
- Interacția radiației cu substanța:
 - Doza absorbită D: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ joule kg}^{-1}$
 - Doza echivalentă H: $1 \text{ Sv} = D \times w_R$
 - Doza efectivă E: $1 \text{ Sv} = H \times w_T$



Bequerel [Bq]
How brightly your Cesium glows



Gray [Gy]
How brightly Cesium will make you glow



Sieverts [Sv]
How many extra eyes will you have after glowing?

(Imagine: World Nomads)

Table 1: Tissue weighting factors according to ICRP 103 (ICRP 2007)

Tissue	Tissue weighting factor w_T	Σw_T
Bone-marrow (red), colon, lung, stomach, breast, remaining tissues(*)	0.12	0.72
Gonads	0.08	0.08
Bladder, Oesophagus, Liver, Thyroid	0.04	0.16
Bone surface, Brain, Salivary glands, Skin	0.01	0.04
Total		1.00

(*) Remaining tissues: Adrenals, extrathoracic region, gall bladder, heart, kidneys, lymphatic nodes, muscle, oral mucosa, pancreas, prostate (♂), small intestine, spleen, thymus, uterus/cervix (♀)

Table 28.1: Radiation weighting factors.

Radiation	w_R
X- and γ -rays, all energies	1
Electrons and muons, all energies	1
Neutrons < 10 keV	5
10–100 keV	10
> 100 keV to 2 MeV	20
2–20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protons (other than recoils) > 2 MeV	5
Alphas, fission fragments, & heavy nuclei	20

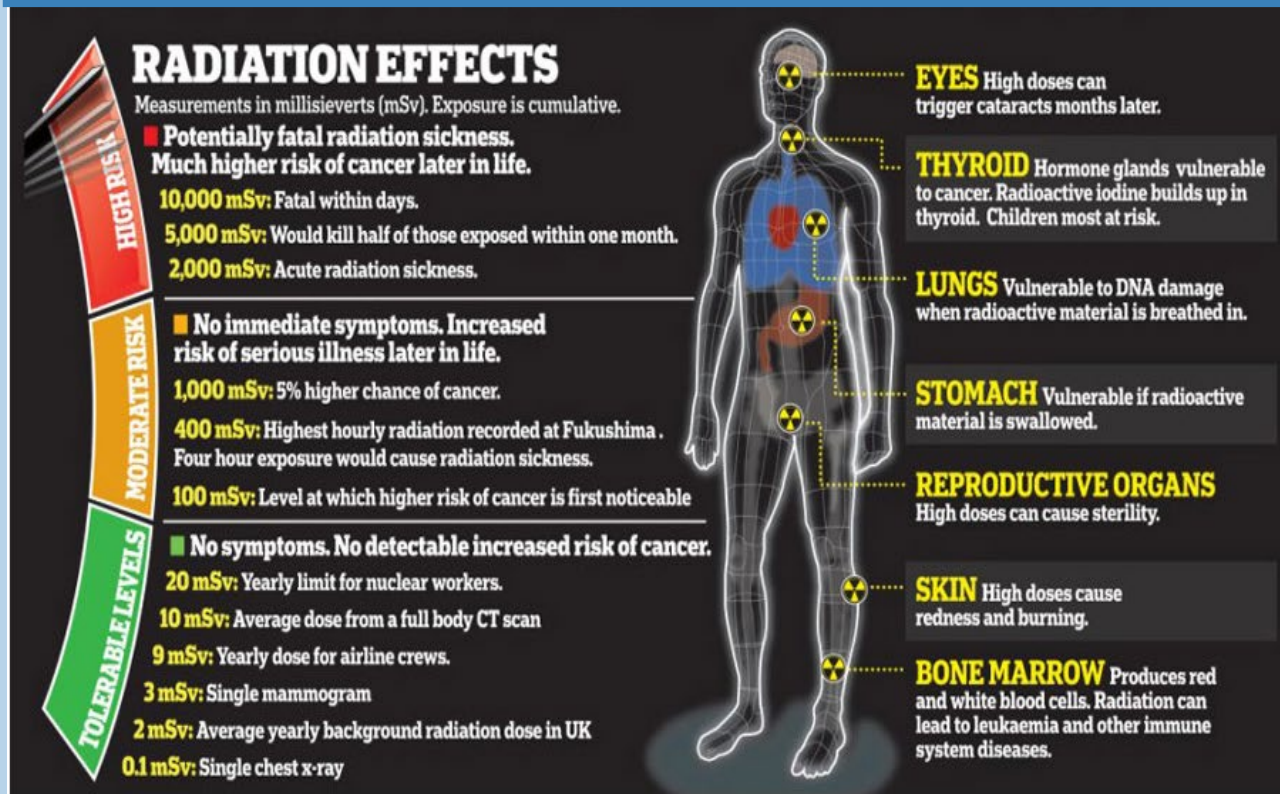
CITATION: K. Hagiwara *et al.*, Physical Review D66, 010001-1 (2002)

Care sunt efectele biologice ale radiațiilor?

Sursa: infoclinic.co.za

Tipuri de efecte:

- Deterministice (cu prag cunoscut – apar imediat ce a fost încasată o anumită doză – caracteristice dozelor mari)
- Stohastice (aleatorii, apar fără prag cunoscut de doză, la doze mici, cu probabilități ce se calculează pe baza unor modele)
 - somatice (de ex. cancere)
 - Genetice
- Efectele stohastice se calculează per populație, nu per individ



Niveluri de expunere obișnuite și excepționale

Radiation exposure How does it compare?
Exposure measured in mSv
10,000 Fatal within weeks
6,000 Typical dosage recorded in those Chernobyl workers who died within a month
5,000 Single dose which would kill half of those exposed to it within a month
1,000 Single dose which could cause radiation sickness, nausea, but not death
400 Max radiation levels recorded at Fukushima plant 14 March, per hour
350 Exposure of Chernobyl residents who were relocated
100 Recommended limit for radiation workers every five years
10 Dose in full-body CT scan
9 Airline crew NYC -Tokyo polar route, annual
2 Natural radiation we're all exposed to, per year
1.02 Radiation per hour detected Fukushima site, 12 March
0.4 Mammogram breast x-ray
0.1 Chest x-ray
0.01 Dental x-ray

SOURCE: WNA, RADIOLOGYINFO.ORG, REUTERS

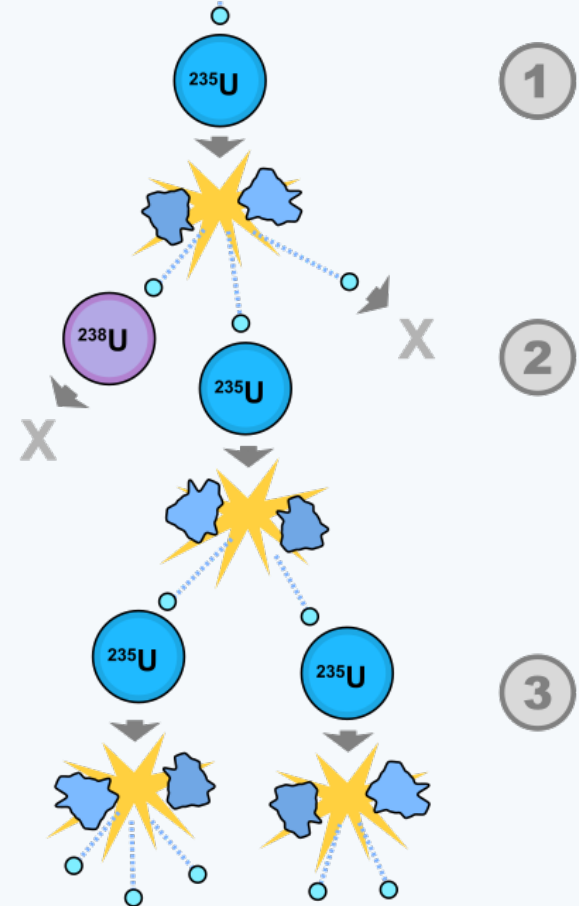
[Radiation exposure: a quick guide to what each level means | World news | theguardian.com](#)

Fondul natural datorat iradierii externe: 100 nSv/h (~1 mSv/an)

100 nSv = 0.1 μ Sv = 0.0001 mSv

Energetica nucleară: fisiunea nucleară

- Uraniul natural: U-238 (99.3%) + U-235 (0.7%)
- Neutronii trebuie încetiniți (moderați) pentru a crește eficiența reacției



Reactorii nucleari de fisiune

Componentele unui reactor nuclear:

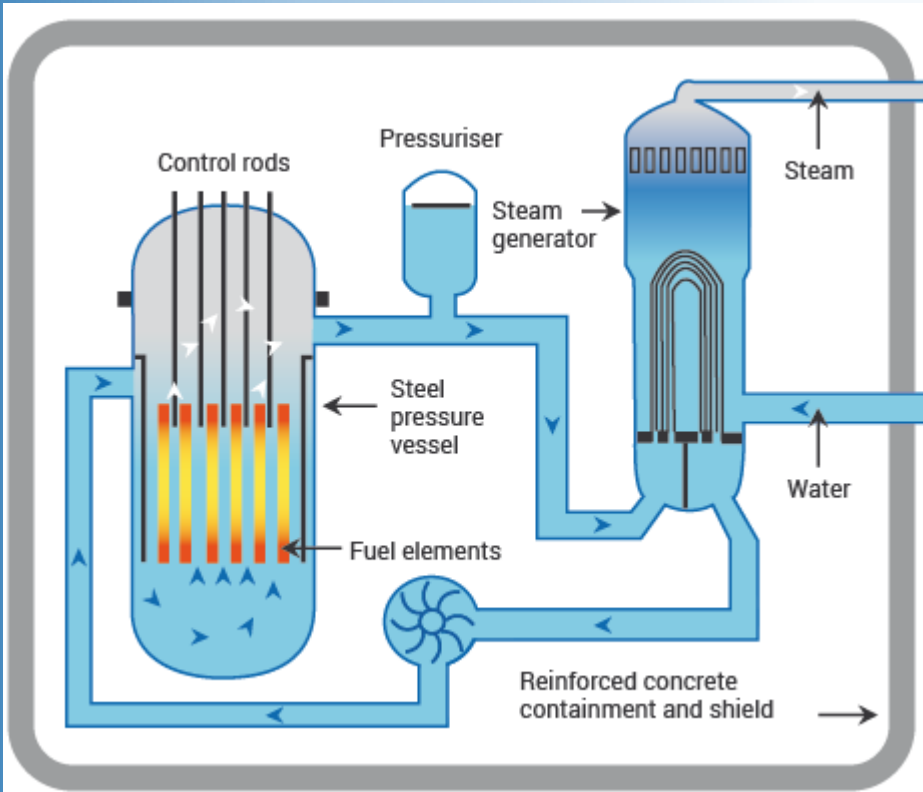
- combustibilul
- moderatorul
- barele de control
- mediul de răcire
- **vasul (sau tuburile) de presiune**
- generatorul de vapori
- anvelopa reactorului

Tipuri de reactori:

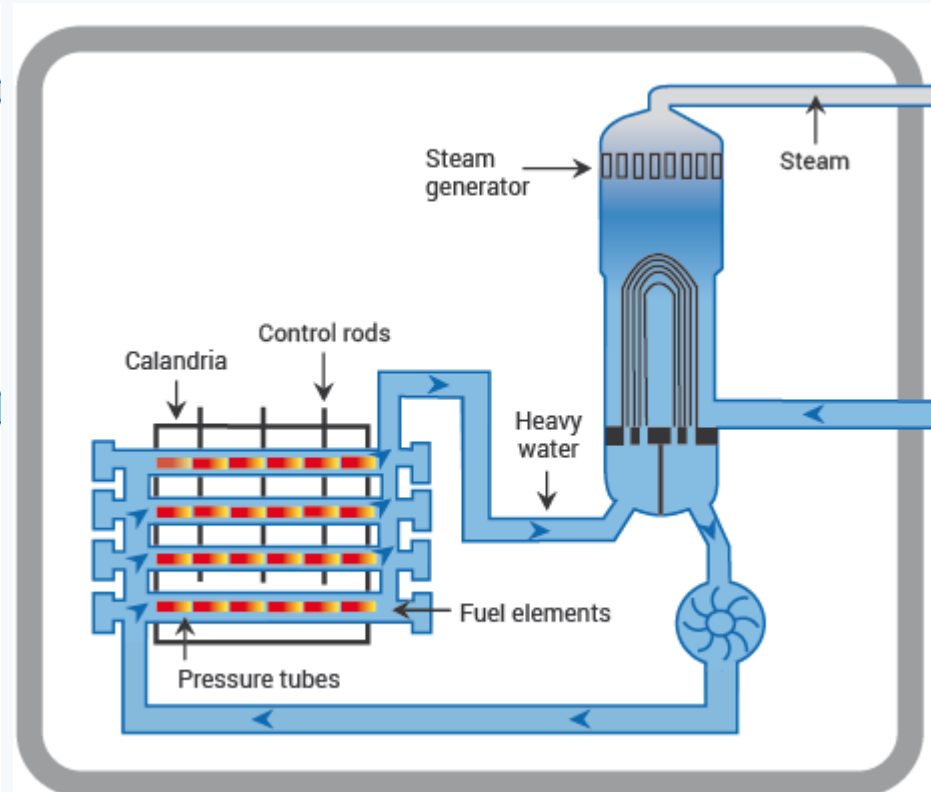
- reactori cu apă sub presiune (PWR)
 - LWR: cu apă ușoară și uraniu slab îmbogățit
 - PHWR: cu apă grea și uraniu natural – CANDU
- reactori cu apă în fierbere (BWR)
- reactori răciți cu gaz (AGR – advanced gas-cooled reactors)
- LWGR: reactori cu moderator grafit, răciți cu apă (ex. RBMK)
- reactori cu neutroni rapizi (răciți cu Pb – ex. ALFRED - sau sare lichidă)
- SMR – reactori modulari mici

Tipuri de reactori nucleari de fisiune

PWR - LWR

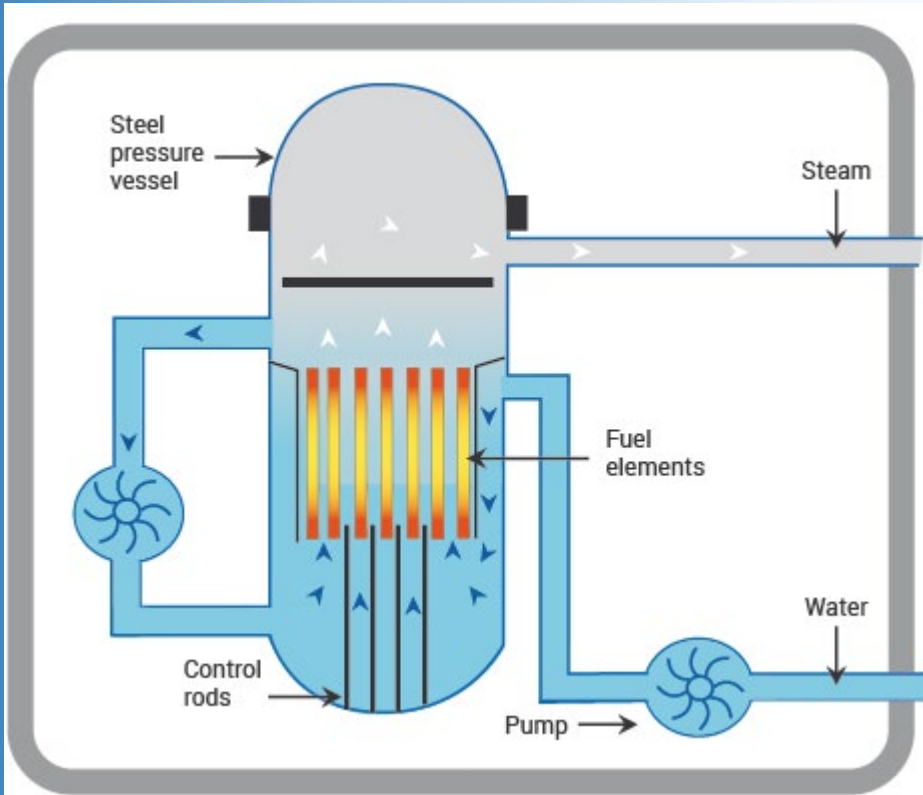


PHWR

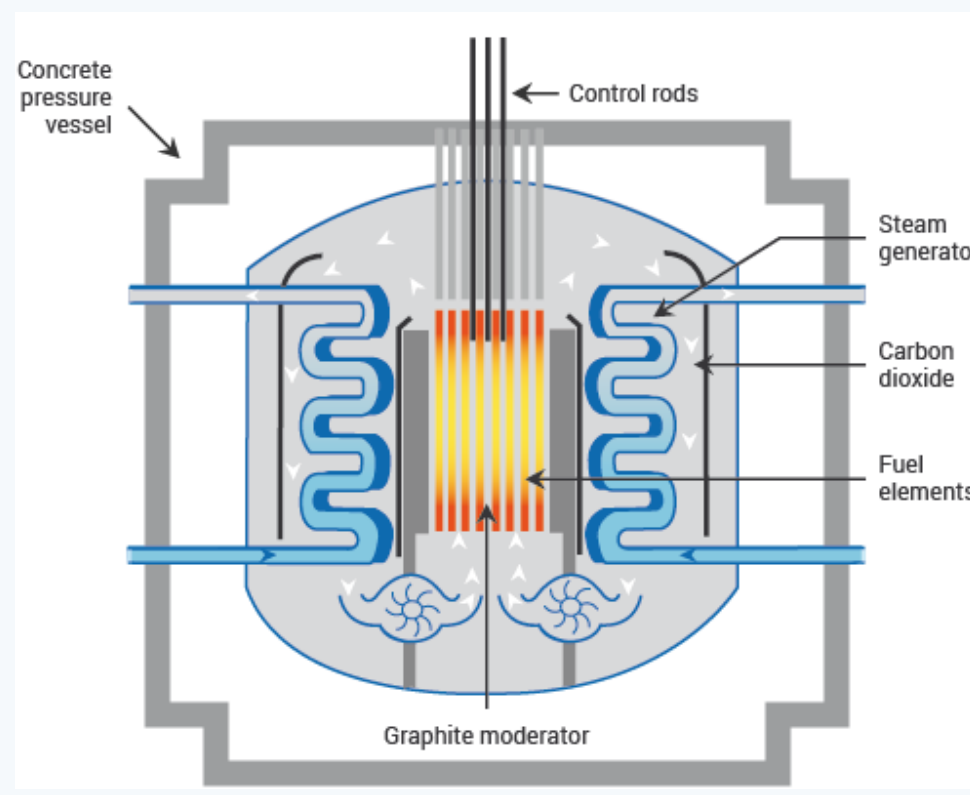


Tipuri de reactori nucleari de fisiune

BWR

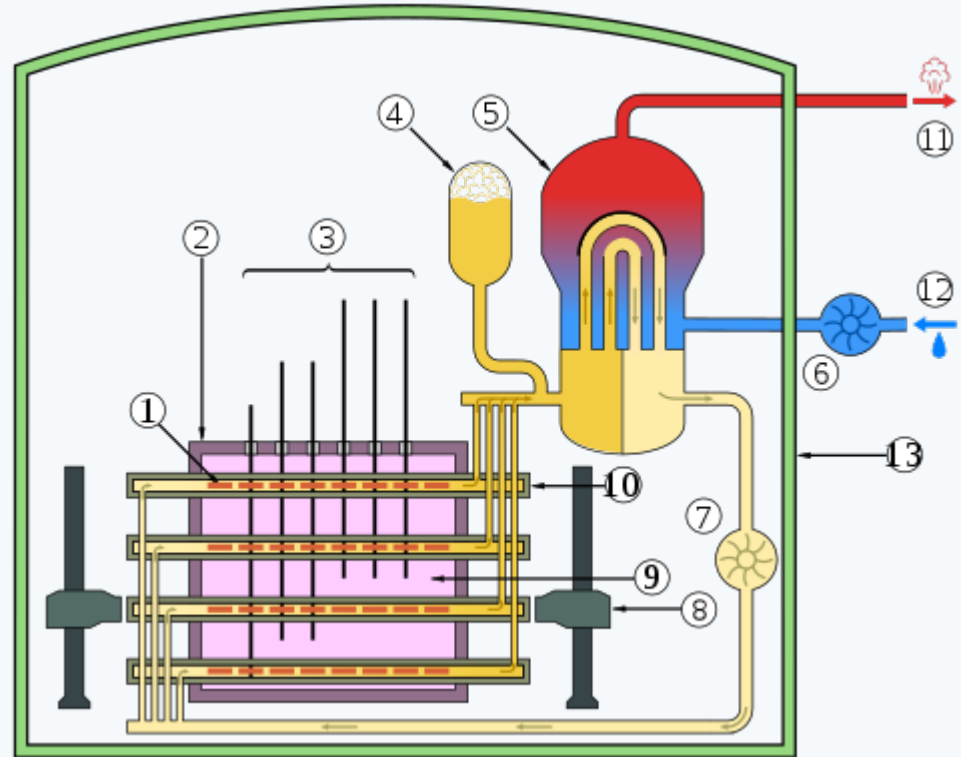


AGR



Reactorii CANDU

1. Fascicule de combustibil
2. Vasul Calandria (miezul reactorului)
3. Bare de control
4. Generator de presiune
5. Generator de abur
6. Pompa de apă ușoară
7. Pompa de apă grea
8. Echipamentul de realimentare cu combustibil
9. Moderator (apă grea)
10. Tub de presiune
11. Abur care merge spre turbină
12. Apă rece care revince de la turbină
13. Anvelopa reactorului



Deșeurile nucleare

„Deșeurile nucleare” – combustibilul ars:

- supuse unor reglementări extrem de stricte
- volum extrem de mic: 90000 de tone în SUA (întregul volum generat din 1950 până acum)
- Combustibilul ars nu este un deșeu (în SUA se pot alimenta 70 mil. de locuințe pentru încă 160 de ani)



Accidente nucleare

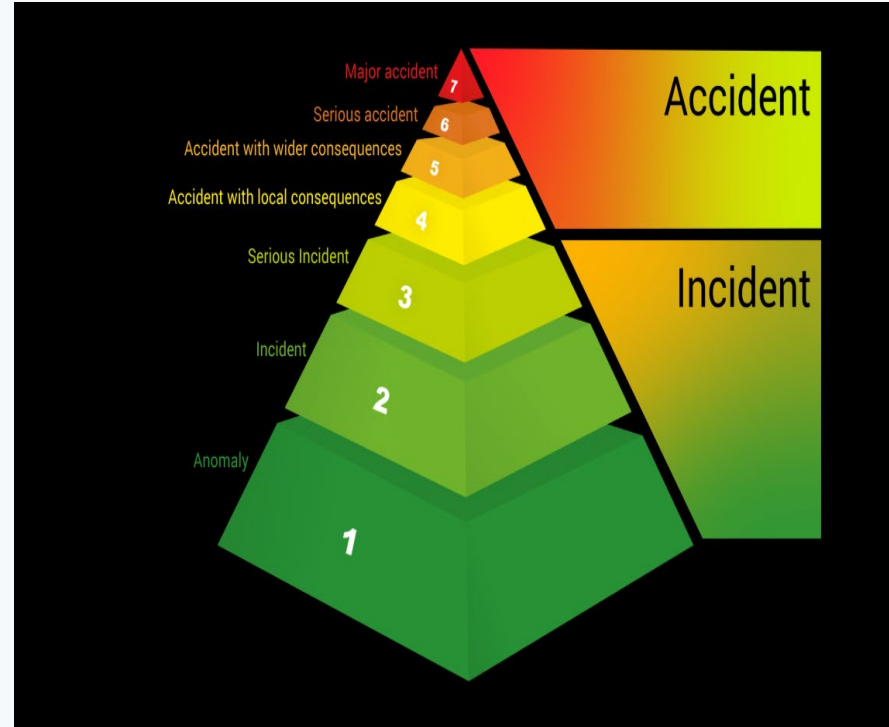
Două accidente merită atenția publicului:

1. Cernobîl:

- Cauzat de o suită de acțiuni care vin în flagrantă contradicție cu cultura de securitate nucleară
- Singurul accident cu impact global, cu victime (est.: 4000 de victime)
- Urmare a accidentului, reactoarele RBMK au fost scoase din fabricație și oprite

2. Fukushima:

- Cauzat de un dezastru natural a cărui amploare a fost subestimată la proiectare
- Nu a produs victime datorate radiațiilor
- Nu a avut un impact semnificativ la nivel global (decât în presă)
- Impactul deversărilor de apă asupra mediului este nul (concentrația de tritium în apa deversată este de 10 ori mai mică decât concentrația admisă pentru apa de băut)



Impactul accidentelor de la Cernobîl și Fukushima

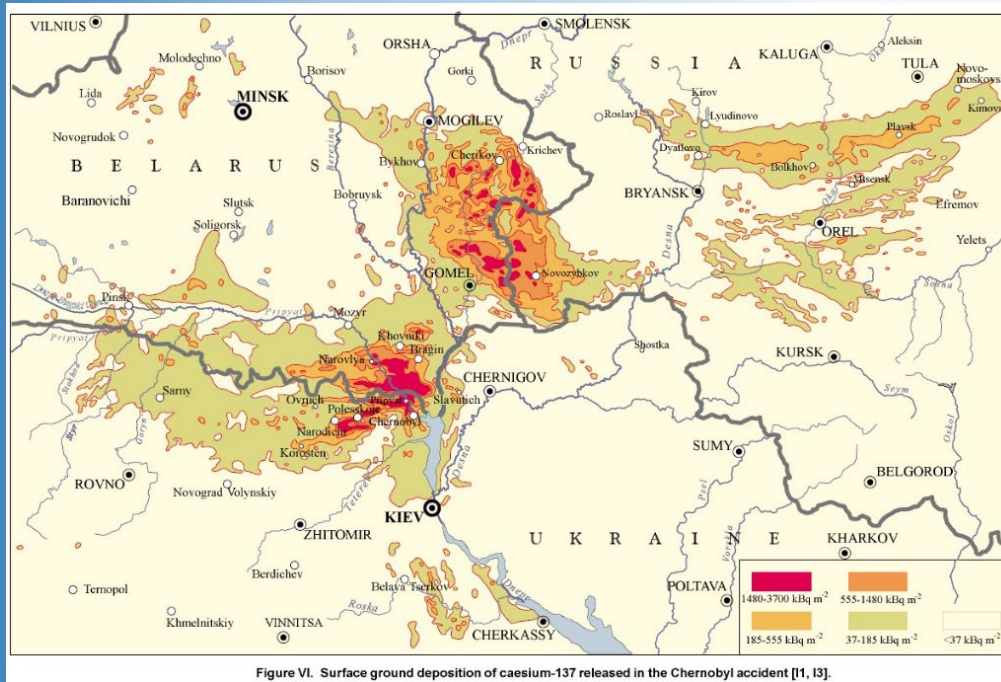
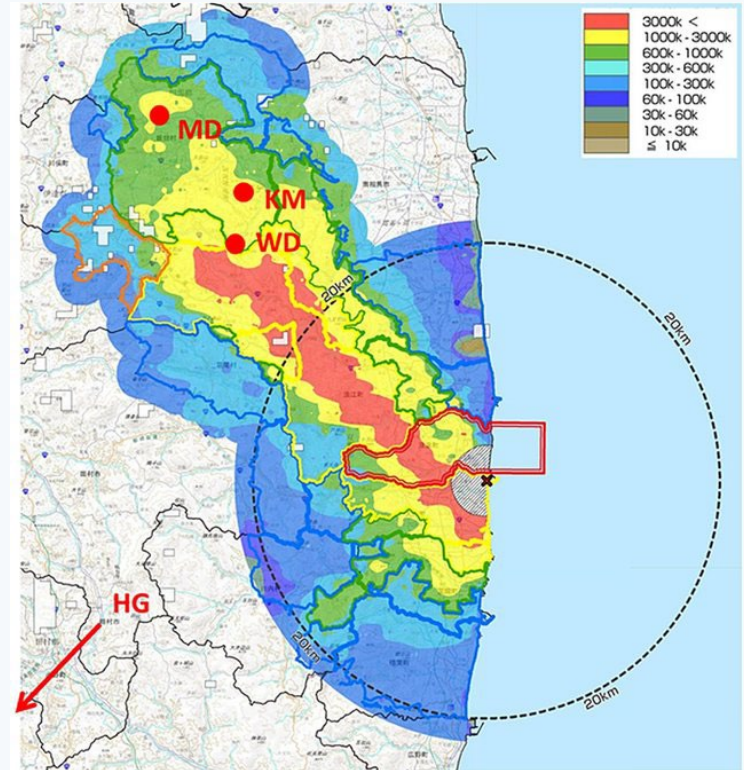
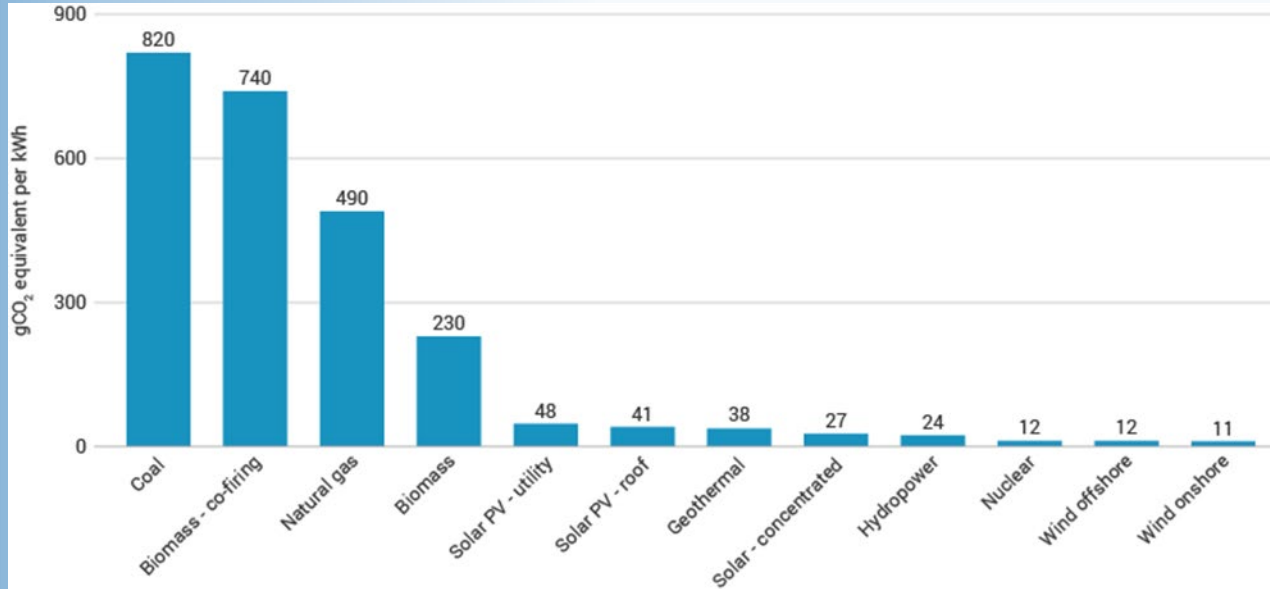


Figure VI. Surface ground deposition of caesium-137 released in the Chernobyl accident [11, 13].



Energia nucleară și mediul



Cantitatea medie de emisii de CO₂ pe întregul ciclu de viață al diverselor tipuri de surse de energie (<https://world-nuclear.org/nuclear-essentials/how-can-nuclear-combat-climate-change.aspx> , sursa : IPCC

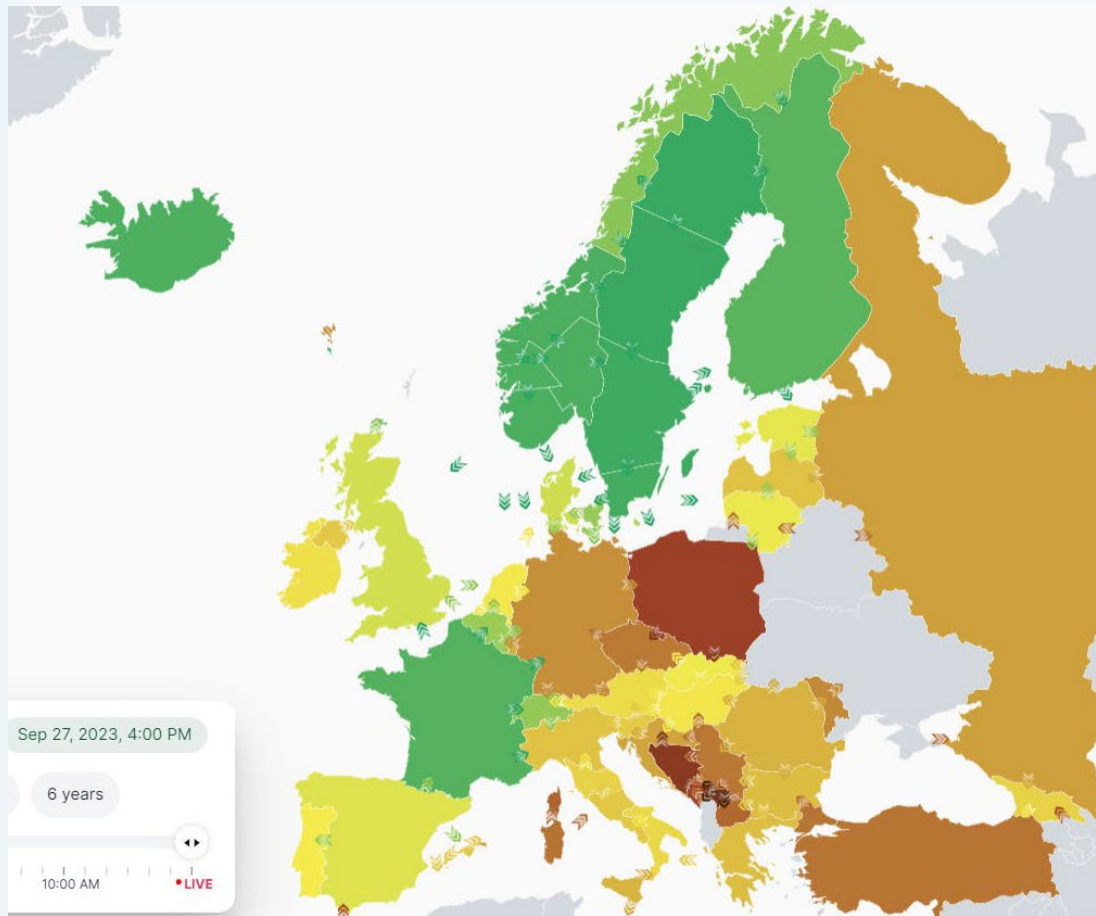
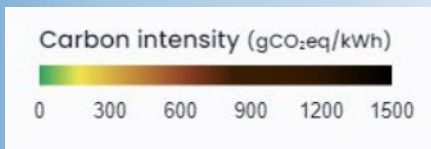
Victime: energia nucleară vs. clima

- Inundațiile din 2021 din EU: 242 victime + 10 GEUR pagube. Distribuția victimelor: 196 DE, 42 BE, 2 RO, 1 IT, 1 AU
- Victime datorate energiei nucleare în țările de mai sus: 0
- “On the whole, it can be assumed that outside the former Soviet Union there has been no statistically discernible increase in cancer incidence compared to the number of spontaneously occurring cancer cases.” (<https://www.bfs.de/EN/topics/ion/accident-management/emergency/chernobyl/health-effects-europe.html>)



Energia nucleară și mediul: ce țări europene poluează mai mult

Intensitatea emisiilor de CO2 datorate generării de energie electrică (<https://app.electricitymaps.com/map>).



Concluzii

- Energia nucleară este o soluție obligatorie dacă ne dorim să reducem generarea de gaze cu efect de seră. -
- Energia nucleară este una dintre cele mai sigure și mai curate surse de energie.

Mușumesc!



...pentru atenție...



Întrebări?