

O nekim prijepornostima povezanim s nuklearnim elektranama

O prijepornostima koje uznemiruju nestručnjake
Prof.dr.sc. Vladimir Mikuličić, FER

Govorit ćemo danas, prvo ću doduše govoriti ja, o nekim prijepornostima povezanim s postojanjem i radom nuklearnih elektrana, ne i nuklearnom elektroenergetikom, bilo bi to preširoko područje bavljenja.

Radi se o prijepornostima odnosno dvojbama koje uznemiruju nestručnu javnost, ne stručnjake, u razdobljima poput ovog.

U razdobljima stvarne ili potencijalne energetske krize, u vremenima kad se donosi dokument koji nazivamo strategija energetske razvoja, ali i dogodi li se neki veći ili manji kvar u nekoj nuklearnoj elektrani, ili netko samo malo jače kihne u nekoj od njih. Često mi se tada čini da su nuklearne elektrane tu kako bi odigrale ulogu „kruha i igara“.

Korijeni su tih prijepornosti u tvrdokornosti, proturječnostima, nesuglasicama, nesporazumima, nedoumicama, nerazumijevanjima, nepoznavanjima činjenica, pa i neznanju povezanim s biti i radom nuklearnih elektrana.

Kad kažem „tvrdokornost“, mislim na izreku Alberta Einsteina koja glasi, parafrazirat ću: „lakše je razbiti atomsku jezgru nego li već formirano mišljenje“. Pritom je Alberta Einsteina mislio i na sebe. Ostale riječi govore same za sebe.

Kad ću se osvrnuti na rad nuklearnih elektranama, ograničit ću razmatranje procesa u njima na opseg dostatan za razumijevanje biti prijepornosti o kojoj ću govoriti. Pritom ću i dalje sužavati područje promatrajući samo elektrane s tzv. „lakovodni reaktorima“, još detaljnije, samo „tlakovodne reaktore“ („reaktore s vodom pod tlakom“). Zašto? Bit će vidljivo kasnije, no, jedan od razloga mogu navesti odmah; takav je reaktor NE „Krško“.

Većina se prijepornosti na koje mislim može uklopiti u neslaganja s odgovorima na pitanja o:

- opasnosti (riziku) zbog rada nuklearnih elektrana, odnosno sigurnosti nuklearnih elektrana (opasnosti izazvane kvarovima u nuklearnim elektranama, prevoženjem „istrošenog, iskorištenog“ (odzračenog) nuklearnog goriva, plutonijem, **proizvodnjom nuklearnog oružja, ratnim plovilima**);
 - odlaganju (pohrani, uskladištenju) radioaktivnog otpada iz nuklearnih elektrana (**nuklearno oružje "proizvodi", „proizvodilo“ je daleko više takvog otpada**)
 - "zatvaranju", razgradnji (dekomisiji) nuklearnih elektrana
 - širenju (prolifraciji) nuklearnog oružja i terorizmu
- **ekonomičnosti (isplativost) nuklearnih elektrana**

Plavom bojom označio sam ono o čemu se ne govori, odnosno govori se toliko malo da to nemam prilike čuti. Primjerice, ljudi su protiv gradnje nuklearnih elektrana, ali sve luke Svijeta s oduševljenjem bi dočekale nosač zrakoplova opremljen većim brojem nuklearnih reaktora.

Znakovima navoda označio sam riječi koje ne znače točno ono što bi trebale značiti. Npr., riječ „istrošeno“. Daleko od toga da je to gorivo „istrošeno“. Vjerojatno je i to jedan od razloga zašto danas još uvijek raspravljamo o problemu odlaganja nuklearnog otpada.

Crvenom bojom označio sam pitanja o kojima danas ne bismo trebali, odnosno ne ćemo govoriti.

Nuklearne se elektrane naime sigurno ne će graditi ne bude li to energetski, odnosno ekonomski isplativo (opravdano), odnosno, ne bude li gradnja nametnuta nezaobilaznim okolnostima izvan tih kategorija.

Međutim, isto tako, sigurno je da se u današnjem Svijetu, barem ne u većini zemalja, barem ne u razvijenim zemljama, nuklearne elektrane ne će graditi ne odobri li to najšira javnost, bez obzira na druge okolnosti.

U svakom bi pak slučaju bilo neodgovorno, nerazumno, nedopustivo ne grade li se nuklearne elektrane, odrekemo li se nuklearne energije u „mirnodopske svrhe“, zbog neznanja,

nerazumijevanja, predrasuda ili manipulacija. Nužno je, dakle, ovladati znanjem i razumijevanjem kako se ne bi donosile odluke temeljene na predrasudama, strahovima i/ili lijepim željama i snovima.

Prije nego li se uopće počne govoriti o naznačenim neslaganjima, mislim da bi najprije trebalo odgovoriti na ovo pitanje (ova pitanja):

- može li se čovječanstvo odreći raspolaganja s oblikom energije koji nazivamo nuklearnom fisijskom energijom (prije raspolaganja s fuzijskom energijom ili/i sa „Suncem“)?, i ako je odgovor da, onda na pitanje
- treba li se odreći?

(Ne govorimo o nuklearnoj tehnologiji u cjelini. Bez nje čovječanstvo više ne može i ne želi se je odreći.)

Kad sam Sunce stavio u navodne znakove, mislim na Sunčevu energiju koja će se trebati prikupljati izvan Zemljine atmosfere i prenositi na Zemlju.

Na prvo pitanje međutim, ovom prigodom, ne ću odgovarati, na drugo ću, barem djelomično, pokušati odgovoriti razmatrajući prvopostavljena pitanja.

Rasprave o tim pitanjima, vode se već dulji niz godina, i to ne iznenađuje; ljudi vole raspravljati. Iznenađuje međutim da se umjesto približavanja stajališta, kroz tri desetljeća rasprava, sve više zapravo polariziraju dva opredjeljenja, dijametralno suprotna: bezrezervno, bezkritično i bespogovorno za, odnosno, bezrezervno, bezkritično i bespogovorno protiv nuklearnih elektrana. (Kao da ne živimo na istom planetu.)

Zašto je to tako? Teško je dokučiti sve razloge. U ovom trenutku istaknuo bih dva, po mom sudu, od važnijih:

- „jezik“ (činjenica, osjećaja, stručnjaka, nestručnjaka, politike, interesa, manipulacije, ...)
- poimanje rizika (Nerazumijevanje (neprihvatanje) rizika: to što ne gradimo nuklearne elektrane ne znači da spašavamo živote; upravo suprotno; zamjena bi nuklearnih elektrana, npr. termoelektranama, izazvala više milijuna smrti u istom vremenskom razdoblju.)

Kad navodim „jezik“, kao prepreku sporazumijevanju, želim podsjetiti da ljudi istodobno razgovaraju, pokušavajući se sporazumjeti, služeći se različitim jezicima. Ne mislim pritom na različitosti poput razlika između engleskog i ruskog, njemačkog i francuskog, španjolskog i kineskog itd jezika, već na razlike koje bi se mogle ovako izraziti: jezik osjećaja, činjenica, struke, nestruke, politike, interesa, manipulacije, ... Govori li, primjerice, netko jezikom činjenica, a njegovi sugovornici jezikom osjećaja (emocija), teško će se razumjeti, sporazumjeti i dogovoriti.

Zbog toga je najbolje, mislim, pokušati govoriti jezikom činjenica i to istaknuti. No, i s činjenicama se može manipulirati. Odabirom, ili naniže li ih se preveliki broj, jer u tom slučaju može se iza njih sakriti logika koju je inače puno teže izokrenuti. Osim toga, nizanje kvantitativnih činjenica može postati i dosadno i umarajuće. Nastojat ću sve to izbjeći.

Kad kažem „poimanje rizika“, mislim na neprihvatanje pojedinih rizika ili neshvaćanje biti rizika. Biste li smatrali točnom tvrdnju da, suprotno raširenom vjerovanju, gradnjom i korištenjem nuklearnih elektrana spašavamo ljudske živote, a ne negradnjom kako se uobičajeno misli?

Ilustrirajmo to još ponekim primjerom. Npr., progovorimo o "opasnosti". Povede li se, naime, razgovor o nuklearnim elektranama većina će „običnih“ ljudi reći da su protiv njihove uporabe i gradnje zato što su „opasne“. Upitate li zašto su nuklearne elektrane opasne, najčešće ne ćete dobiti nikakav, a kamoli točan odgovor. Upitate li mogu li "eksplozirati" poput nuklearne bombe, odnosno, može li nuklearni reaktor nuklearne elektrane, u „najposebnijim“ okolnostima, recimo nastojanjima terorista, "eksplozirati" poput nuklearne bombe, ustanovit ćete da većina „običnih“ ljudi još uvijek „misli“ da može i tako (podsvjesno) povezuje nuklearne elektrane s razornim oružjem. Točan je odgovor dakako, kao što znamo, ne, ne mogu! Ni u kojem slučaju, ni pod kojim okolnostima!

Zašto su onda nuklearne elektrane opasne? Što je uopće opasno? Odgovor je jednostavan i opće prihvatljiv: "opasno" je ono što ugrožava našu imovinu, zdravlje, život, ...

Međutim, je li je opasno i ono čega se bojimo? Ne nužno, vrlo često, možda najčešće, nije. No usprkos tome mnogo ljudi (podsvjesno) smatra "ono" čega se boje opasnim. I tu prestaje svaka rasprava. "Ono čega se bojimo" na subjektivnoj je razini, jako, jako individualno, i strah možemo pobijediti jedino razumom uvažavajući činjenice.

Npr., znamo da se brojniji ljudi, poznati zbog uspjeha u području svojeg djelovanja (športaša, glumaca, umjetnika.), toliko boje leta zrakoplovom da odbijaju i pomisao na let a kamoli da se izlože „opasnosti“ leta zrakoplovom. Umjesto toga služe se bez straha prometlima poput broda, vlaka, autobusa, automobila premda su čuli za činjenicu da je vožnja, primjerice, osobnim automobilom oko dvjestotinjak pa i više puta rizičnija (opasnija) od služenja zrakoplovom.

(Kad je riječ o osobnom automobilu, vjerojatno se pritom radi o „osjećaju“ da upravljajući automobilom sami kontroliraju „opasnost“ za razliku od sjedenja u zrakoplovu kojim ne upravljaju.)

Nuklearne su elektrane opasne jer „zrače“. Tako se govori. No, ljudsko tijelo do Vas, radioaktivni kalij u tijelu, zrači Vas 40-ak puta intenzivnije nego li nuklearna elektrana u ispravnom radu.

Što je, dakle, opasno? Primjerice, što je "najopasnije" na Svijetu?

(Nuklearne elektrane zrače (0,001 mS godišnje) i do 2500 puta manje od prirodnog zračenja u Hrvatskoj koje je od 2 do 2,5 mSv.)

Što je, dakle, opasno? Primjerice, što je "najopasnije" na Svijetu?

Posljednjih se tridesetak godina ubrzano razvija znanstvena disciplina nazvana „vjerojatnosna analiza rizika“ ili, da bi se izbjegla „neugodna“ riječ „rizik“, „vjerojatnosna analiza sigurnosti“. Njezina je uporaba danas već jako, jako raširena, praktički na sve ljudske djelatnosti, no za nas je u ovom trenutku zanimljiva jer, između ostalog, pokušava razriješiti i jedno od proturječja današnjeg bogatog društva koje se, u većini slučajeva, bez dvoumljenja služi svim blagodatima razvijene tehnike, istodobno postajući sve više osjetljivo na moguća neželjena prateća događanja te tehnike: ozljede, narušavanja zdravlja, pa čak i prijevremena smrt, ne razumijevajući, ili ne želeći razumjeti, da kontrola i smanjivanje opasnosti ili rizika uzrokovanog uporabom takve tehnike često ujedno znači smanjivanje njezine koristi.

Vjerojatnosna analiza rizika odgovara pritom na pitanje što je, koje su situacije, stanja, najopasnija po ljudski život rangirajući ih po intenzitetu. Nalazi su jedne od vjerojatnosnih analiza rizika sažeti u tablici. Radi se o istraživanju, koje se periodički revidira, provedenom u Ujedinjenim (Sjedinjenim) američkim državama. Rizici su, kojima je izloženo stanovništvo, rangirani preko smanjenja očekivanog trajanja života zbog izloženosti tim rizicima. Crvenom bojom označeni su dodani rizici, u odnosu na prethodnu verziju analize, a plavom bojom rezultati „stare“ analize koji se razlikuju od „novih“, kao i rizici koji nisu, ovog puta, obuhvaćeni „novom“ analizom.

Smanjenje očekivanog trajanja života zbog izloženosti različitim rizicima

Rizici*	SOTŽ (dani)
1 Siromaštvo	3500
2 Muškarac (u odnosu na ženu)	2800
3 Pušač (cigareta)	2300 (2250)
4 Neoženjeni muškarac (bijelac)	2190 (3500)
5 Srčane bolesti*	2100
6 Neudata žena	2000 (1600)
7 Crnac (u odnosu na bijelca)	2000
8 Nizak socijalno-ekonomski status	1500 (700)
9 Rudar	1100

10 Rak*	980
11 13,6 kg viška	900
Pušačica (cigareta)	800
12 Nezavršena srednja škola	800 (850)
13 Nedostatno zdravstveno osiguranje*	550
14 Moždani udar*	520
15 6,8 kg viška	450
16 Sve nesreće*	400
17 Boravak u Vijetnamu (vojnici)	400
18 Život na jugoistoku (SC,MS,GA,LA,AL)	350 (500) Južna Karolina, Mississippi, Georgia, Luisiana, Alabama, ,
Pušenje (cigara)	330
19 Gradnja i održavanje rudnika (nesreće)	320
20 Alkohol*	230
Pušenje (lula)	220
Unos hrane povećan za 100 kcal/dan	210
21 Nesreće s osobnim vozilima	180 (207)
22 Upala pluća, gripa*	130 (141)
23 Droga*	100 (18)
Šećerna bolest	95
Nesreće u kući (domu)	95
24 Ubojstva*	95
25 Samoubojstva*	90
26 Onečišćenje zraka*	80
27 Nesreće na radnom mjestu	74
28 AIDS*	70
29 Maleni automobili (u odnosu na srednje)	60
30 U braku s osobom koja puši	50
31 Utapanje*	40 (41)
32 Brzina: 105 prema 89 km/h (65 – 55 miles/hr)	40
33 Padovi*	39
Nesreće pješaka	37
34 Otrovi + gušenje*	37
35 Radon u domovima (stanovima)*	35
Nesreće na bezrizičnim poslovima	30
36 Vatra, opekline*	27
37 Crna kava: 2 šalice/dan	26
38 Posao koji uključuje korištenje radioaktivnosti, godine 18-65	25
Proizvodnja energije	24
39 Nesreće s vatrenim oružjem*	11
Prirodna radioaktivnost	8
Rendgen	6

40	Pilule protiv začeca	5
	Nesreće biciklista	5
	Dijetalna pića	2
41	Rad nuklearnih elektrana („Udruženje zabrinutih znanstvenika“)*	1,5 (2)
42	Maslac od kikirikija (1 žličica/dan)	1,1
43	Uragani, tornada*	1
44	Zrakoplovne nesreće*	1
45	Rušenje brana hidroelektrana*	1
46	Živjeti pokraj nuklearne elektrane	0,4
47	Rad nuklearnih elektrana (Nuklearna regulatorna komisija)*	0,04 (0,02)
	Zračenja nuklearne industrije	0,02
	PAP test	-4
	Dimni alarm u domovima	-10
	Zračni jastuci (u automobilima)	- 50
	Pokretna koronarna stanica	- 125

* Zvezdica znači da je u obzir uzeta cjelokupna američka populacija; bez zvezdice odnosi se subpopulacije izložene promatranim rizicima.

Ova mi se usporedba rizika čini prikladnom ilustracijom u raspravama o opasnostima ili riziku izazvanim radom nuklearnih elektrana. Shvati li se ta jednostavna usporedba rizika, to je sve što se treba znati o riziku (opasnosti) zbog rada nuklearnih elektrana.

Ljudima, naime, ne govore ništa podaci da je vjerojatnost taljenja jezgre nuklearnog reaktora bila 10^{-5} , a sada je 10^{-7} ili čak 10^{-8} , kao ni nabranjanja tehničkih postignuća.

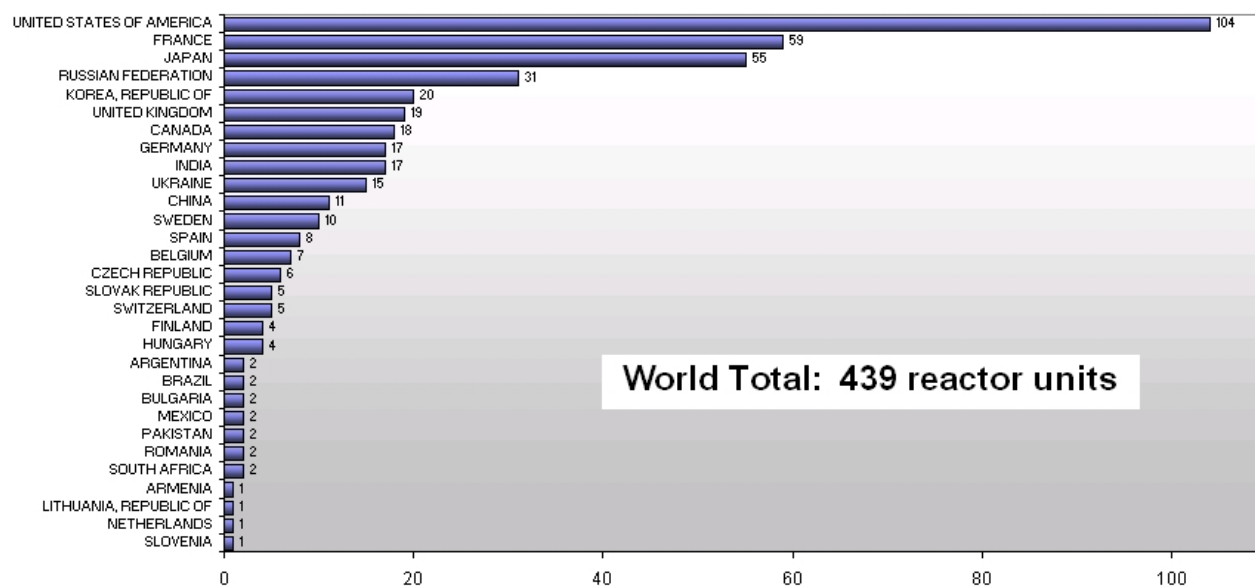
Govorimo i dalje jezikom činjenica. Pogledajmo kako to rade uspješniji, ako već ne i pametniji.

- u 31 zemlji (30+Tajvan (6 reaktora /Kina/) na kraju 2008. radi 439 (velikih) nuklearnih reaktora (nuklearnih elektrana)
- 32 zemlje Svijeta služe se nuklearnom energijom fisije pretvarajući je u električnu (32 = 31 + Hrvatska)

Od 439 reaktora 265 reaktora su PWR, a 94 BWR. To je dakle razlog zašto ćemo promatrati tlakovodni reaktor. Među preostalim vrstama reaktora najzastupljeniji su PHWR, ima ih 44. (Rade i 2 FBR-a.) 42 reaktora se upravo grade, 106 reaktora bit će u pogonu unutar 8 godina (do 2016. god.), a za 270 očekuje se početak rada unutar 20 godina (do 2028. god.)

WORLD**	2608	15	439	373,676	39	33,018	106	117,825	270	266,275	64,615
	billion kWh	% e	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	tonnes U
	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION 2007		REACTORS OPERATING		REACTORS BUILDING		ON ORDER or PLANNED		PROPOSED		URANIUM REQUIRED

Number of Reactors in Operation Worldwide



Note: Long-term shutdown units (5) are not counted

Nuklearne elektrane (reaktori) koje se (upravo) grade

Country	No. of Units	Total MW(e)
ARGENTINA	1	692
BULGARIA	2	1906
CHINA (7) + Taiwan (2)	9	8220
FINLAND	1	1600
FRANCE	1	1600
INDIA	6	2910
IRAN, ISLAMIC REPUBLIC OF	1	915
JAPAN	2	2191
KOREA, REPUBLIC OF	5	5180
PAKISTAN	1	300
RUSSIAN FEDERATION	8	5809
UKRAINE	2	1900
UNITED STATES OF AMERICA	1	1165
Total:	42	36988

Popis nuklearnih elektrana koje više ne rade

Zemlja	No. of Units	Total MW(e)
ARMENIA	1	376
BELGIUM	1	10
BULGARIA	4	1632
CANADA	3	478
FRANCE	11	3798
GERMANY	19	5879
ITALY	4	1423
JAPAN	3	297
KAZAKHSTAN	1	52
LITHUANIA, REPUBLIC OF	1	1185
NETHERLANDS	1	55
RUSSIAN FEDERATION	5	786
SLOVAK REPUBLIC	2	501
SPAIN	2	621
SWEDEN	3	1225
UKRAINE	4	3515
UNITED KINGDOM	26	3324
UNITED STATES OF AMERICA	28	9764
Total:	119	3492

Dosad je, dakle, obustavljen rad 119 nuklearnih elektrana (reaktora):

(Očito, obustavljanje rada nuklearnih elektrana, i njihova razgradnja, ne predstavlja neki veći problem.)

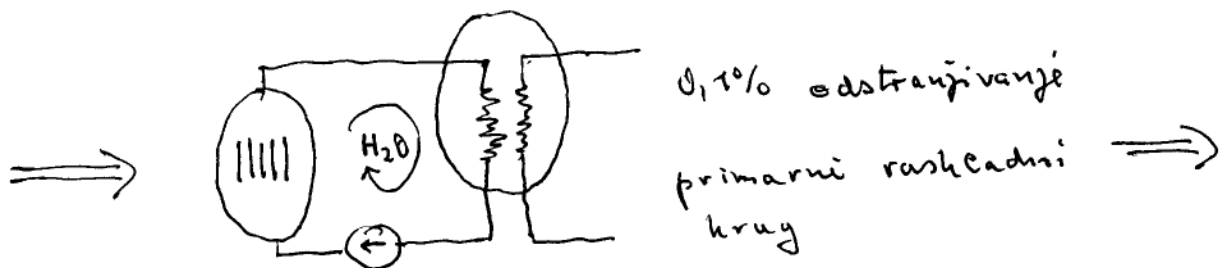
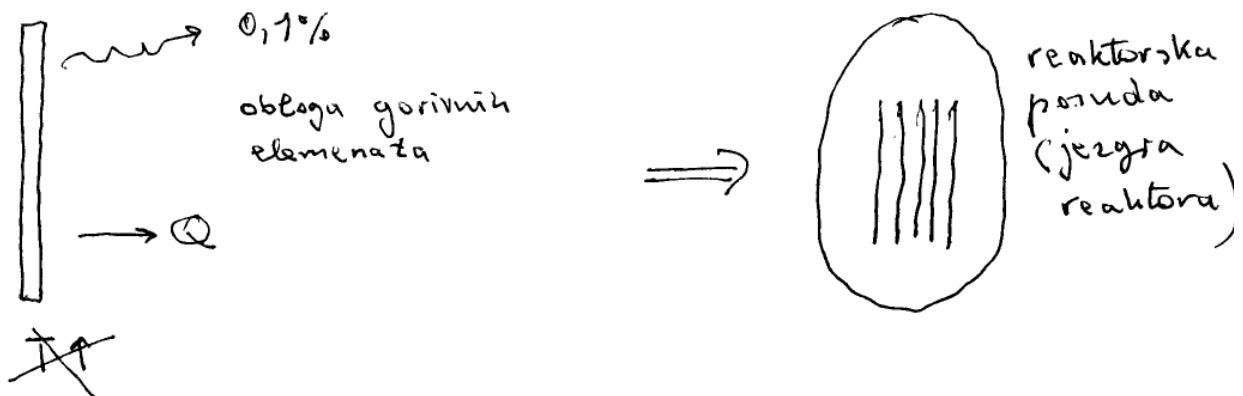
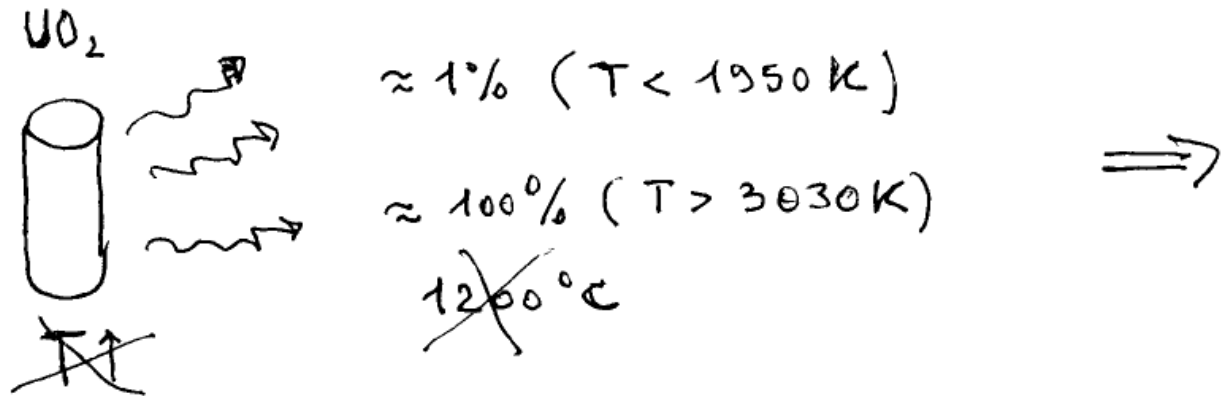
Vrste reaktora zatvorenih nuklearnih elektrane

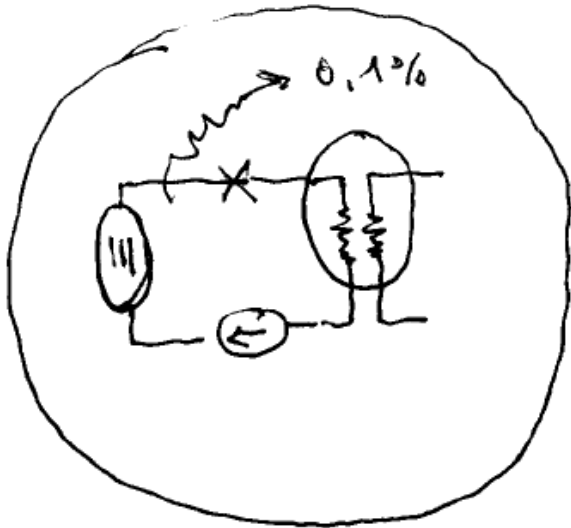
Shutdown Type	No. of Units	Total MW(e)
BWR	21	5350
FBR	6	1578
GCR	34	5977
HTGR	4	679
HWGCR	3	263
HWLWR	2	398
LWGR	8	4953
PHWR	5	307
PWR	33	15237
SGHWR	1	92
X	2	87
Total:	119	34921

Razmotrimo sada zašto, premda to mogu biti, nuklearne elektrane nisu opasne.

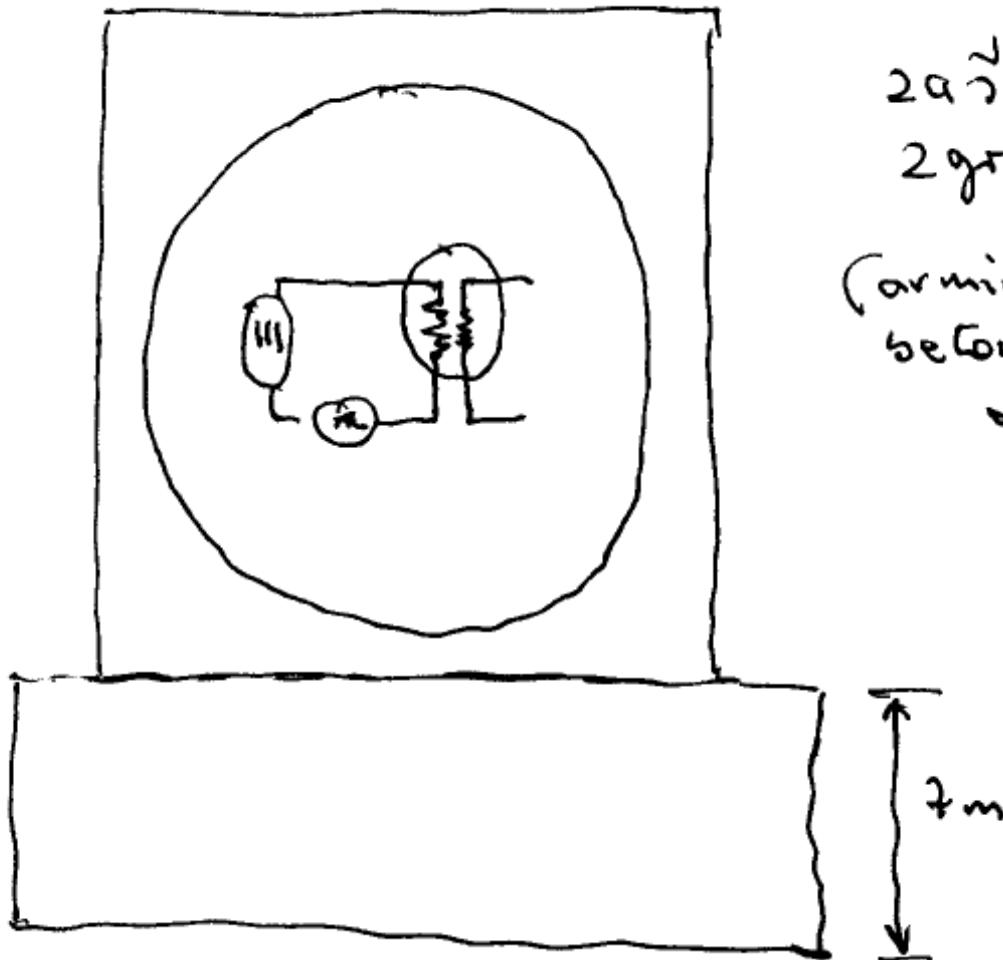
Nuklearne elektrane nisu opasne spriječi li se prodor radioaktivnosti iz nuklearnog reaktora u okoliš. Kako se to radi? Sve se svodi na polijevanje vodom. Sve se fizičke barijere prodiranju radioaktivnosti u okoliš štite na taj način od povišenja temperature. Očito, teško će nas netko uvjeriti da je to veliki znanstveni, tehnološki ili tehnički problem.

Postoji opasnost, malo, malo vjerojatna, „gubitka“ reaktora, kao posljedice „teškog“ kvara, za proizvodnju električne energije, no, vjerojatnost je gubitaka ljudskih života zbog radioaktivnosti, koja je iz nuklearne elektrane prodrla u okoliš i doprla do ljudi, danas gotovo jednaka nuli.





Zaštitna posuda
(kontejner)



Zaštitna
zgrada
(armirano
betonski
oklop)

O „problemu“ odlaganja nuklearnog otpada
m = konst. (!?)

1 kg C → 3,667 kg CO₂

1 kg S → 2 kg SO₂

1 kg N → 3,286 kg NO₂

Godišnja bilanca termoelektrane (najkvalitetniji ugljen) snage 1000 MW

promatrano gorivo	2.300.000 t
sumporni dioksid (bez uređaja za odsumporavanje)	50.000 t
sumporni dioksid (s uređajem za odsumporavanje)	8.000
prašine	1.500 t
dušikovih oksida	17.000 t
ugljkovodika	200 t
ugljičnog monoksida	500 t
ugljičnog dioksida	5.000.000 t
pepela	250.000 t

Godišnja bilanca nuklearne elektrane snage 1000 MW

Na početku rada:

promatrano gorivo	30 t (100%) (90 t, 3% obogaćenja)
iskoristivo (fisiono)	≈ 1 t U-235 (3%)
neiskoristivo (nefisiono)	≈ 29 t U-238 (97%)

Nakon jedne godine rada:

promatrano gorivo	30 t (100%) (0,1% - defekt mase)
od toga još upotrebljivo	0,3 t U-235 (1%) 0,3 t plutonija (1%) 28,4 t U-238 (95%)
neupotrebljivi otpad	1 t (3%)

PWR

- 3,3% → 0,8% (opadanje postotka U-235; početak-kraj)
- po toni istrošenog goriva potrošeno je ≈ 25kg U-235 i 25 kg U-238
- u fisiji proizvedeno je oko 35 kg fisijskih proizvoda, oko 9 kg plutonija, 4,6kg U-236 i 0,04 kg Cm-244

Stručnjaci su što se bave zbrinjavanjem otpada, jedinstveni u tvrdnji da je odlaganje radioaktivnog otpada zapravo trivijalni tehnički problem. (Nikada nitko dosad nije stradao, bio povrijeđen.)

- „vojni“ otpad ?
- prevoženje (20.000, 30 milijuna km)
- Gabon (prirodno odlagalište, 10m migrirao je dugoživući radioaktivni otpad)

Postoje „pravi“ problemi zbrinjavanja otpada. No, to nije radioaktivni otpad.

Usporedba NE i TE ložene ugljenom (jednaka proizvodnja električne energije):
broj mrtvih u godini dana

Izvor	Broj mrtvih	
	Prvih 500 godina	Konačno
NE		
Visokoaktivni otpad	0,0001	0,018
Emisija radona	0,00	-420
Emisije (Kr,Xe,T, ¹⁴ C)	0,05	0,3
Niskoaktivni otpad	0,0001	0,0004
TE		
Onečišćenje zraka	75	75
Emisija radona	0,11	30
Kemijski karcinogeni	0,5	70

O problemu širenja nuklearnog oružja

Veza je između komercijalnih nuklearnih elektrana, proliferacije nuklearnog oružja i terorizma meni skrivena, neprepoznatljiva i nejasna.

Proizvodnja nuklearnog oružja

1. obogaćivanje urana
2. proizvodnja plutonija u posebnim reaktorima
3. proizvodnja plutonija u „komercijalnim“ reaktorima
(2. i 3. zahtjeva preradbu goriva.)

Nitko neće danas proizvoditi plutonij u „komercijalnim“ nuklearnim elektranama – za to postoje posebni (jeftini) reaktori (i istraživački reaktori). Barem ne radi li se o proizvodnji „u brzini“. Oprez je, međutim, potreban. Zbog toga i postoje međunarodni sporazumi o neširenju nuklearnog oružja, kao i kontrola Međunarodne agencije za atomsku energiju koja nadzire rad „komercijalnih“ nuklearnih elektrana.

Zaključno

Ništa zaključno, ne bih želio utjecati na Vaš zaključak.