

SVOJSTVA RADIOAKTIVNIH I NUKLEARNIH TVARI

ZAŠTITA OD ZRAČENJA

IZVANREDNI DOGAĐAJI I POSTUPANJE

ENRAS

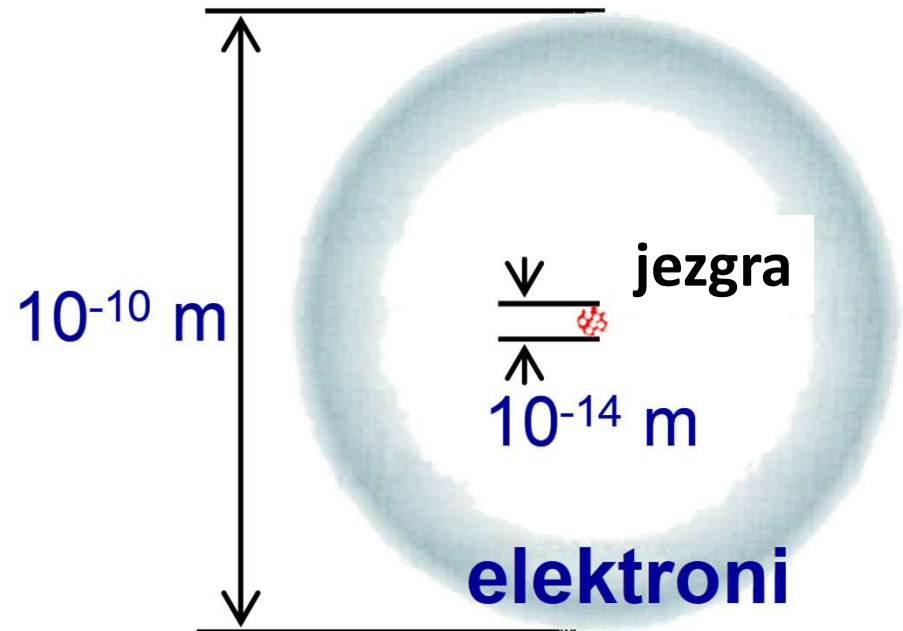


Od čega se sastoje stvari

- Sve stvari oko nas sastoje se od ogromnog broja **molekula**.
- Molekule se sastoje dva ili više **atoma**.
- Atomi su najmanji dijelovi stvari koje nazivamo **kemijski elementi**
 - Broj kemijskih elemenata je relativno mali – poznato je 118 elemenata, a u prirodi ih je približno osamdeset
- Osim atoma plemenitih plinova, atomi svih drugih elemenata vežu se u manje ili veće molekule.

Građa atoma

- **Atom čine:**
 - pozitivno nabijena **jezgra**,
 - negativno nabijeni **elektroni**, koji tvore svojevrsan oblak oko jezgre.
- Atomsku **jezgru** čine:
 - pozitivno nabijeni **protoni**,
 - **neutroni**, koji nemaju naboja



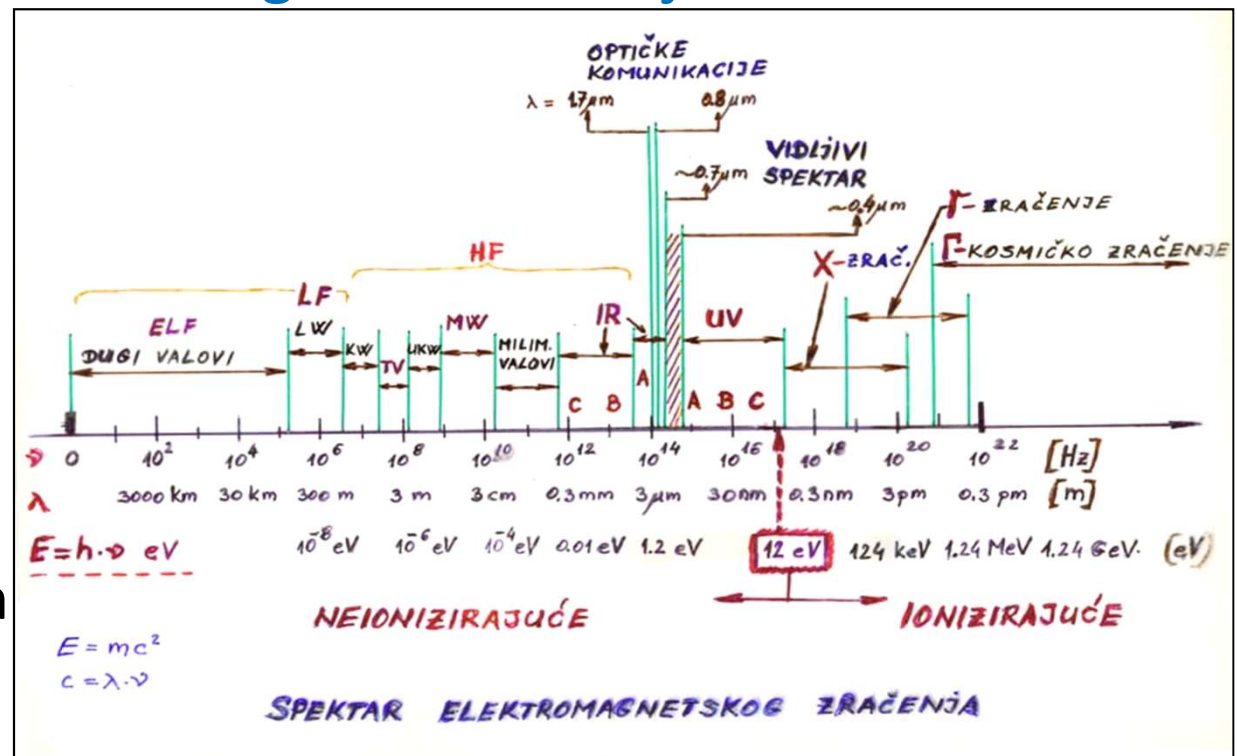
SLIKA NIJE U MJERILU!

- Elektrone uz jezgru veže **električna sila**
 - Za odstranjivanje elektrona iz atoma (ili molekule) potrebna je **energija!**

Ionizirajuće zračenje

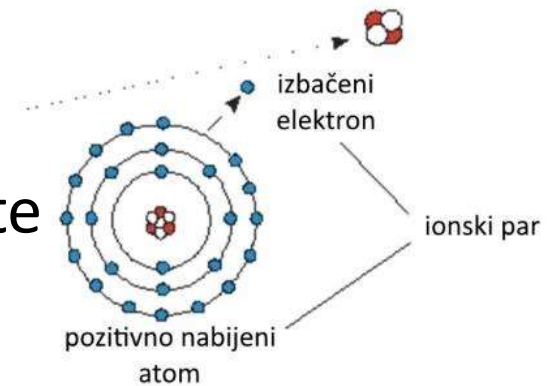
- Zračenje je **energija koja** u obliku **valova ili čestica** putuje kroz prostor.
 - Najpoznatije je **elektromagnetsko zračenje**

- **Ionizirajuće zračenje** nosi dovoljno energije da u tvari izazove **ionizaciju** – iz atoma i molekula tvari izbija elektron



Vrste ionizirajućeg zračenja

- Ionizirajućem zračenju pripadaju sljedeće vrste **elektromagnetskog zračenja**:
 - djelomično UV (izvor je Sunce ili plinske sijalice)
 - rentgensko zračenje (izvor su npr. rentgenske cijevi/aparati)
 - gama zračenje (izvor su radioaktivni izvori)
- U ionizirajuće zračenje ubrajamo također **čestice** koje nastaju pri radioaktivnim raspadima i nuklearnim reakcijama:
 - **alfa čestice** – jezgre ^4He - (izvor su radioaktivni izvori)
 - **beta čestice** – e^- - (izvor su radioaktivni izvori)
 - **neutroni** (nastaju pri fisiji i fuziji, kao i u nekim radioaktivnim izvorima)
- Različite vrste ionizirajućeg zračenja na sličan način djeluju na tvar (živu također!), pa ih stoga tretiramo zajedno

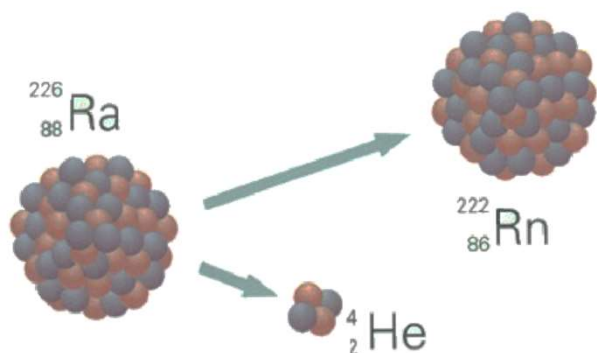


Radioaktivnost

- Neke jezgre **nisu stabilne**
 - takve jezgre se u nekom **nasumičnom** trenutku **spontano** promijene u stabilan (ili stabilniji) oblik
 - pri toj promjeni, jezgre **otpuštaju višak energije** emisijom **čestica ili elektromagnetskog zračenja**
- Za takve nestabilne jezgre kažemo da su **radioaktivne**, a sam proces nazivamo **radioaktivni raspad**
- Emitirane čestice i elektromagnetsko zračenje pripadaju **ionizirajućem zračenju**

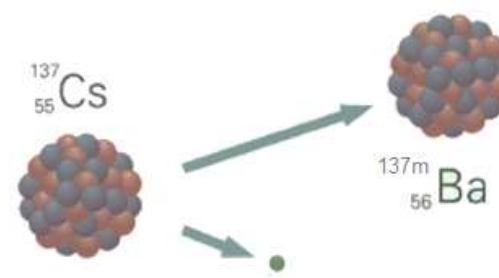
Vrste nuklearnih (“radioaktivnih”) zračenja

- Jezgre se raspadaju na različite načine, stoga postoje različite vrste nuklearnog zračenja.



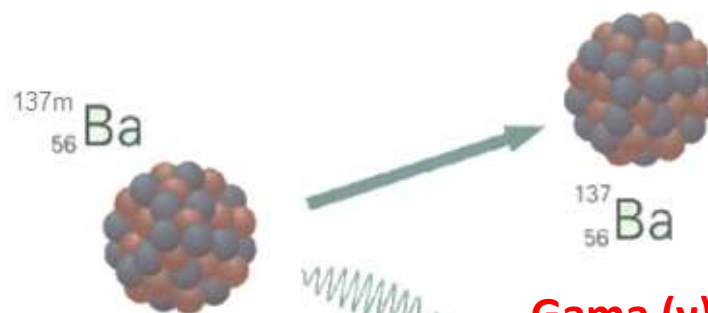
Alfa (α) raspad

Pri alfa raspadu, iz radioaktivne jezgre izleti alfa čestica - jezgra helija: **2 protona i 2 neutrona.**



Beta (β) raspad

Pri beta raspadu, iz radioaktivne jezgre izleti beta čestica - **elektron.**



Gama (γ) raspad

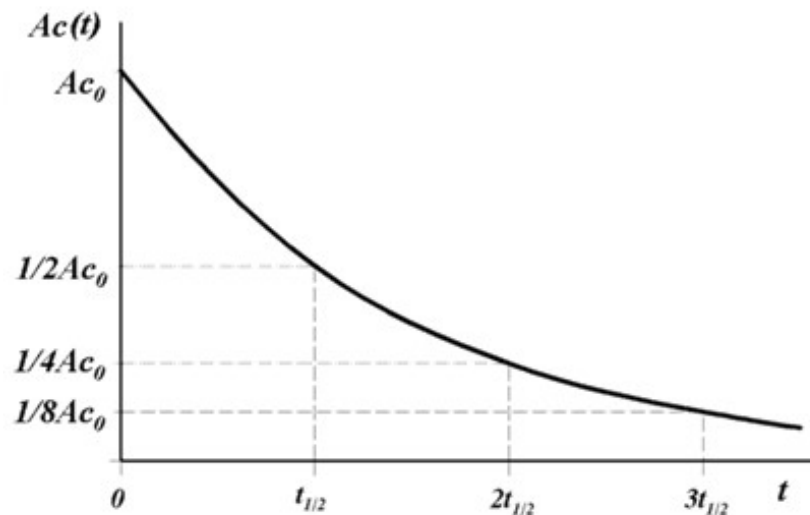
Pri gama raspadu, jezgra emitira elektromagnetsko zračenje - **foton.**

Radioaktivni izvori

- Tvar u kojoj se nalaze atomi s radioaktivnim jezgrama nazivamo **radioaktivni izvor**
- Umjesto mase ili broja radioaktivnih jezgara, osnovna je **aktivnost \mathcal{A}_c** , tj. **broj radioaktivnih raspada u sekundi**
 - Aktivnost nam kaže koliko zračenja izvor proizvodi
- Jedinica aktivnosti je **becquerel [Bq]** / bekerel (1 raspad u sekundi, $1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$)
- Obično upotrebljavamo veće jedinice: kBq, MBq ($=10^6 \text{ Bq}$), **GBq** ($=10^9 \text{ Bq}$) ali **TBq** ($=10^{12} \text{ Bq}$) **Jaki izvori!**
- Stara jedinica (više se ne koristi) za aktivnost je **curie [Ci]** / kiri ($1 \text{ Ci} = 0,037 \text{ TBq} = 37 \text{ GBq} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$).

Vremenska ovisnost aktivnosti

- Zbog raspada se **broj** radioaktivnih jezgara i **aktivnost** u izvoru **manjuju s vremenom**.
- Vremenska ovisnost takva je da se **aktivnost smanji za polovicu** u nekom karakterističnom vremenu koje nazivamo **vrijeme poluraspada ($t_{1/2}$)**.

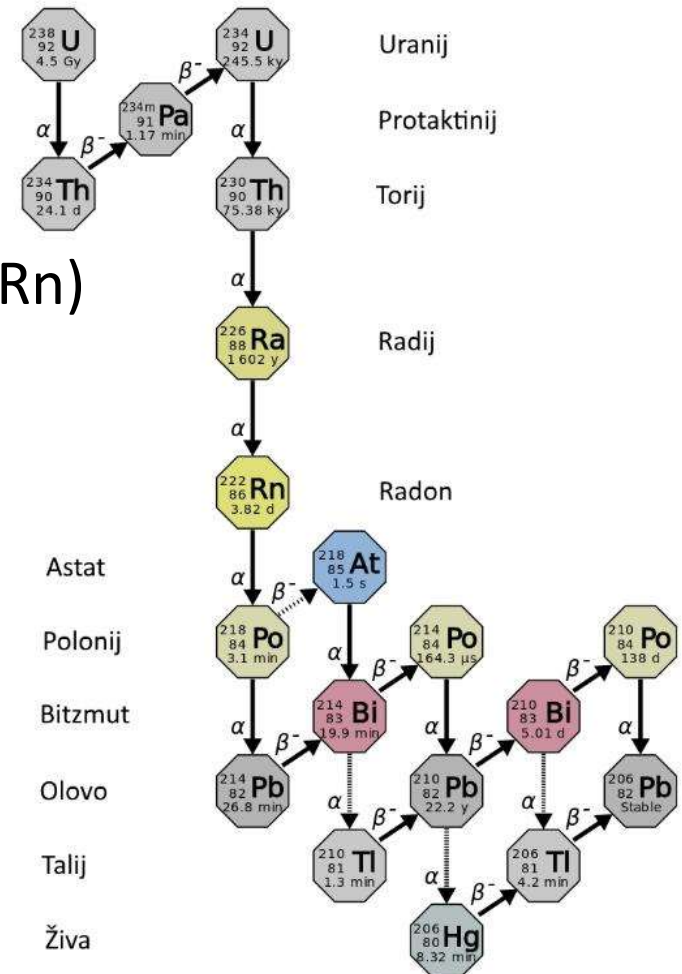


Primjeri radioaktivnih izvora (umjetnih)

Radionuklid	$t_{1/2}$	Emitirano zračenje	Namjena	Tipične aktivnosti izvora [TBq] (od – do)
^{241}Am	433 g	α, γ	ind. instrumentacija	2,2E-03 (4,4E-04 - 4,4E-03)
^3H	12 g	β	ind. instrumentacija	Maks 0,74
^{131}I	8 d	β, γ	med dijagnostika i terapija	3,7E-03 (3,7E-03 - 7,4E-03)
$^{99}\text{Tc}^m$	6 h	γ	med. dijagnostika	Generator ^{99}Mo : 0,037 (0,037 - 0,37)
^{137}Cs	30 g	β, γ	med. terapija, ind. instrumentacija,	0,11 (0,11 – 0,3) 0,11 (1,1E-04 - 1,5)
^{75}Se	120 d	γ	ind. radiografija	3,0
^{192}Ir	74 d	β, γ	med. terapija, ind. radiografija	0,22 (0,11 – 0,44) 3,7 (0,19 - 7,4)
^{60}Co	5 g	β, γ	med. terapija, ind. instrumentacija ind. radiografija	0,37 (0,19 – 0,74) 0,19 (3,7E-03 – 0,37) 2,2 (0,41 - 7,4)
$^{241}\text{Am}/\text{Be}$	433 g	neutroni, γ	ind. instrumentacija	1,9E-03 (1,9E-03 - 3,7E-03)
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	29 g	β	ind. instrumentacija	3,7E-03 (3,7E-04 – 7,4E-03)
^{198}Au	3 d	β, γ	med. terapija	3,0E-03
^{226}Ra	1600 g	α, β, γ	med. terapija	5,6E-04 (1,9E-04 - 1,9E-03)

Primjeri radioaktivnih izvora (prirodnih)

- Dugoživi radioaktivni nuklidi, prisutni na Zemlji od nastanka, kao i njihovi potomci
 - ^{238}U , $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ godina (potomci ^{226}Ra i ^{222}Rn)
 - ^{235}U , $t_{1/2} = 7 \cdot 10^8$ godina,
 - ^{232}Th , $t_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$ godina,
- Također ^{40}K , $t_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$ godina
- Prirodni izvori su u prirodi (zemlja, zrak, voda), ali smatramo ih umjetnima ako ih premjestimo iz nalazišta.

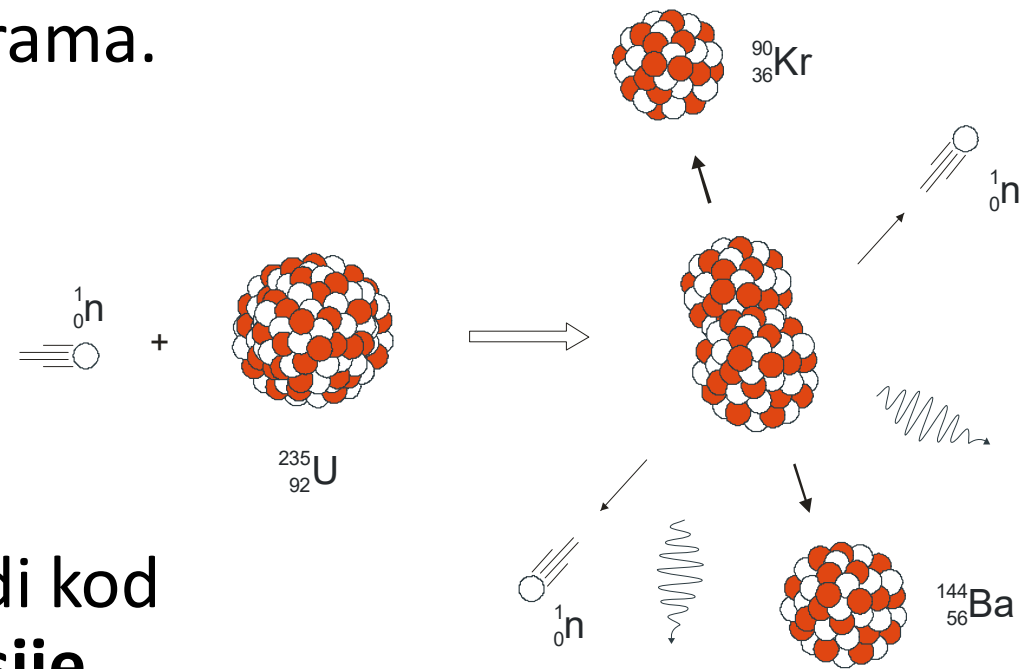


Općenito o radioaktivnim raspadima

- Teške jezgre raspadaju se α raspadom.
- Jezgre s viškom neutrona raspadaju se β^- raspadom.
- Jezgre s viškom protona raspadaju se β^+ raspadom.
- α i β raspadi često vode do jezgre u pobuđenom stanju, što uzrokuje γ raspad.
- Pobuđeno stanje nastale jezgre običajno traje jako kratko, pa γ zrake pripisujemo raspadajućoj jezgri.

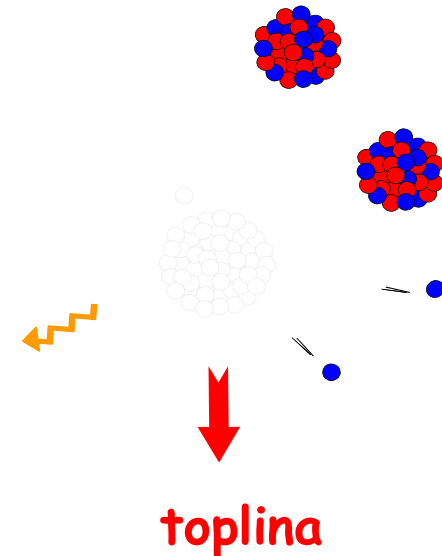
Nuklearna fisija

- U određenim uvjetima (prisutnost neutrona u reaktoru ili visokoenergijskih čestica u ubrzivačima) mogu se dogoditi promjene u atomskim jezgrama.
- Posebno značajna je **nuklearna fisija**, koju pomoću neutrona izazovemo u jezgri ^{235}U
- Postoje također radionuklidi kod kojih dolazi do **spontane fisije**



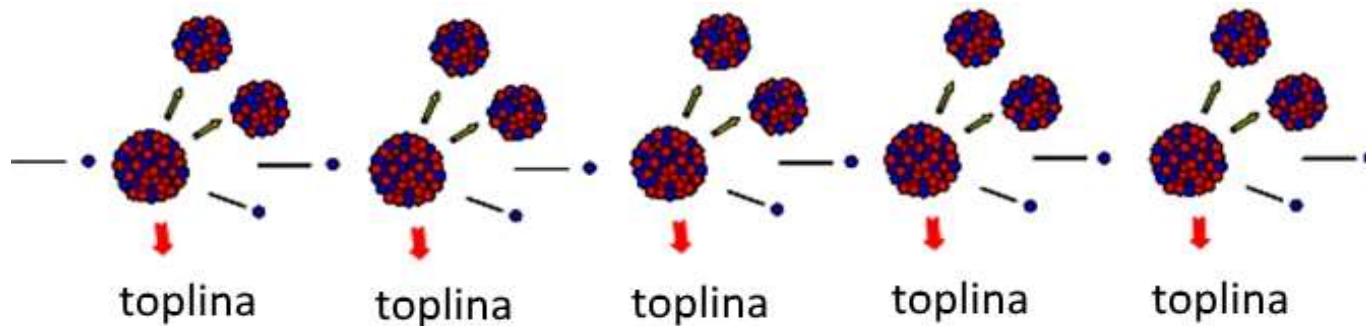
Produkti nuklearne fisije

- Pri fisiji ^{235}U nastaju
 - fragmenti
 - neutroni
 - gama zrake
 - oslobodi se **velika količina energije**, koja je kao kinetička energija razdijeljena između produkata fisije.
- **Fragmenti su jako radioaktivni**
 - radioaktivne fragmente i produkte njihovog raspada nazivamo **radioaktivni fisijski produkti**



Lančana reakcija

- U nekim slučajevima, jedna fisija može uzrokovati sljedeću, ta sljedeću, itd.



- Pri lančanoj reakciji stalno nastaje toplina, zračenje (neutroni i gama zrake) i radioaktivni fisijski produkti.
- Za lančanu reakciju potrebno je osigurati ili **vrlo visoku koncentraciju fisibilnih jezgara** (nuklearno oružje) ili uvjete pri kojima je **iskorištenje neutrona vrlo visoko** (nuklearni reaktori)
- U nuklearnom reaktoru **lančana reakcija može se kontrolirati!**

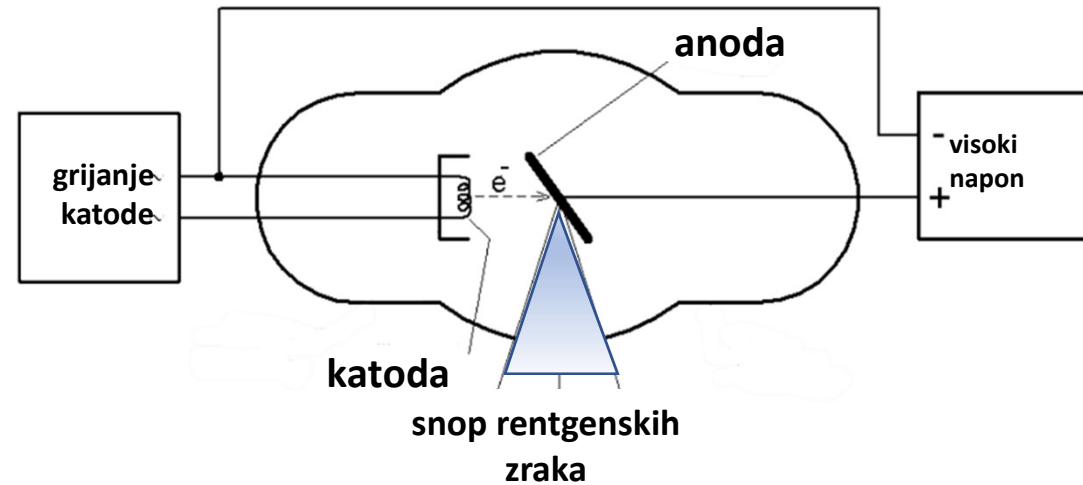
Radioaktivne i nuklearne tvari - koja je razlika?

- **Radioaktivne tvari (izvori)** sadrže radioaktivne jezgre:
 - radioaktivne jezgre raspadaju se i zrače alfa, beta i gama zrake
 - pojavu ne možemo zaustaviti – ZRAČENJE JE STALNO PRISUTNO
- **Nuklearne tvari** sadrže fisibilne jezgre
 - u određenim okolnostima (ne uvijek!) moguće je uspostaviti LANČANU REAKCIJU
 - čiste n.t. zrače vrlo slabo (npr. svježe nuklearno gorivo)
 - ako n.t. sadrže radioaktivne fizijske produkte (rabljeno nuklearno gorivo!) jako zrače, prije svega beta i gama zrake
 - svježe nuklearno gorivo nije opasno (zračenje je minimalno), **rabljeno nuklearno gorivo je smrtno opasno** i zahtijeva posebno postupanje

Rendgensko zračenje

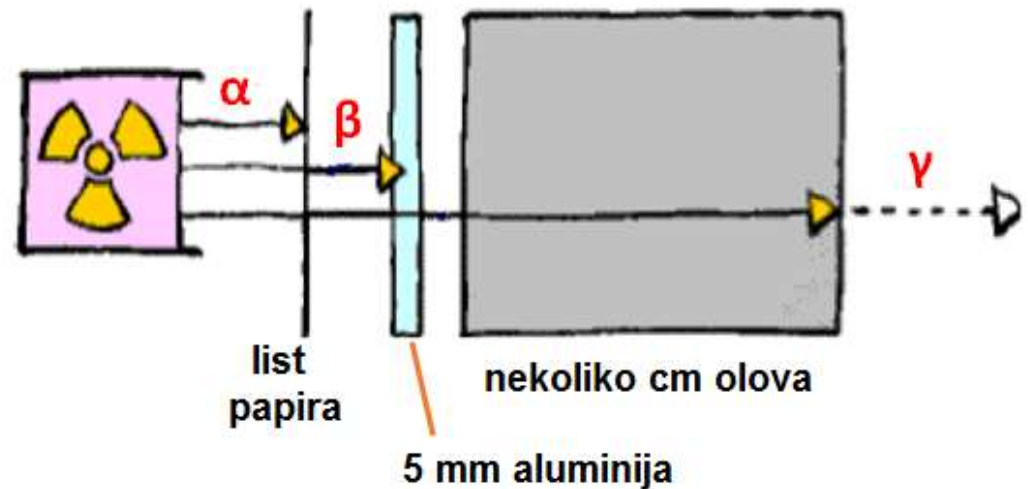
• Elementi rendgenske cijevi:

- **Izvor elektrona** – vruća volframova žica (**katoda**),
 - Metalna meta (**anoda**)
 - Vrlo **visoki napon** za ubrzavanje elektrona od izvora do mete
- Rendgensko zračenje nastaje pri:
 - **Usporavanju** elektrona na anodi
 - Prijelazu elektrona anode između ljusaka
 - Rendgensko zračenje nastaje **samo onda kad je cijev pod naponom**
 - Cijev ne postaje radioaktivna zbog rendgenskeg zračenja



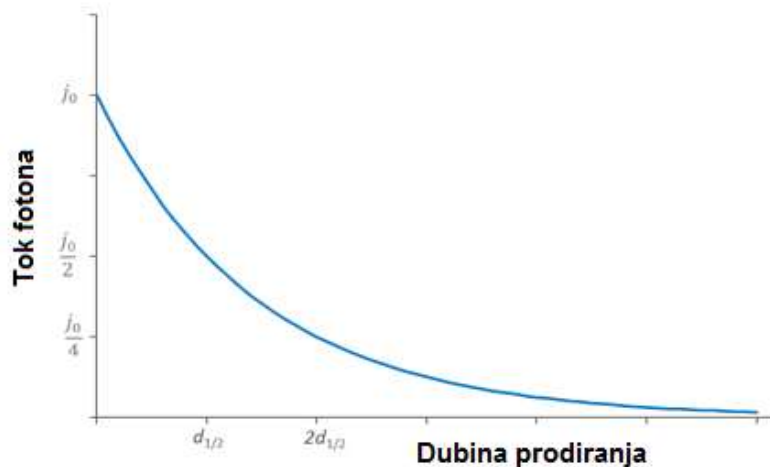
Utjecaj zračenja na tvar

- Nabijene čestice (α čestice i β čestice) na svojem putu ioniziraju atome (tj. molekule) i gube energiju; kad potroše energiju, zaustave se u tvari.
 - udaljenost koju proputuju nazivamo **doseg**;
 - doseg je dakle **ona debljina tvari** koja nas **zaštićuje od α i β zračenja**
 - Doseg α čestica u zraku je nekoliko cm, u tkivu (vodi) 0,05 mm
 - β čestice su prodornije, doseg u zraku je više m, u tkivu (vodi) je više mm, u aluminiju par mm



Utjecaj zračenja na tvar

- **γ zračenje** također izaziva ionizaciju u tvari, iako je mehanizam složeniji.
- Ne možemo definirati doseg, pa stoga koristimo **poludebljinu $d_{1/2}$**
 - to je ona debljina tvari pri kojoj se broj fotona (na cm^2) smanji na polovicu početne vrijednosti



$$\begin{aligned}d = 0: & \quad j = j_0 \\d = d_{1/2}: & \quad j = \frac{j_0}{2} \\d = 2d_{1/2}: & \quad j = \frac{j_0}{4} \\d = 3d_{1/2}: & \quad j = \frac{j_0}{8}\end{aligned}$$

...

Primjeri poludebeljine za različite izvore

izvor	poludebljina $d_{1/2}$ (cm)		
	olovo	željezo	beton
^{99m}Tc	0,04	0,8	8,4
^{131}I	0,39	3,2	11,8
^{137}Cs	0,78	2,9	12,1
^{192}Ir	0,38	3,2	11,9
^{60}Co	1,6	3,6	13,1
Rentgenske zrake	0,05	0,6	2,4

- Za orijentaciju: 1 m vode oslabi gama zračenje iz ^{60}Co 50 puta, iz ^{131}I i ^{137}Cs 250 puta, iz ^{192}Ir 500 puta i iz ^{99m}Tc 1000 puta!
- Odabir štita nije jednostavan.
- Za savjet upitati **stručnjaka!**

Ionizirajuće zračenje - pregled

ime (simbol)	značenje	tipični izvori	prodornost
alfa (α)	jezgre ^4He	teške jezgre	zrak: ~cm list papira
beta (β)	elektroni	fisijski i aktivacijski produkti	zrak: ~m Al: ~mm
gama (γ)	EM zračenje	skoro svi radionuklidi	olovo: ~dm voda: ~m
rentgensko zračenje	EM zračenje	rentgenske cijevi	olovo: ~cm voda: ~dm
neutron (n)	nukleon	reaktor	parafin: ~m voda: ~10 m

Procjena izloženosti zračenju

- Izloženost zračenju procjenjujemo pomoću veličine koju nazivamo **doza**.
- Doza je uvijek proporcionalna količini energije koju zračenje preda pri prolazu kroz tvar, preračunana na jedinicu mase.
- Poznajemo različite doze – ponekad razlikujemo i vrstu zračenja, koja različito oštećuje tkivo, ponekad i različitu osjetljivost različitih organa.
- Jedinice: **gray [Gy]**, **sievert [Sv]**

Procjena izloženosti zračenju

- **Brzina doze** kaže nam koliko se brzo mijenja doza pri izloženosti zračenju.
- Brzinu doze možemo shvatiti kao “**jačinu zračenja**”
- Jedinice: **sievert na sat [Sv/h]** – što je vrlo velika vrijednost

manje vrijednosti: $\mu\text{Sv/h}$, mSv/h

$$\text{DOZA} = \text{BRZINA DOZE} \times \text{VRIJEME}$$

Pretvorbe

AKTIVNOST

- kBq = 10^3 Bq = 1.000 Bq = 10^3 Bq
- MBq = 10^3 kBq = 1.000 kBq = 10^6 Bq
- GBq = 10^3 MBq = 1.000 MBq = 10^9 Bq
- TBq = 10^3 GBq = 1.000 GBq = 10^{12} Bq

VELIKO

VRLO VELIKO

DOZA [Sv] (također i brzina doze, Sv/h)

- nSv = 10^{-3} μ Sv = 0,001 μ Sv = 10^{-9} Sv
- μ Sv = 10^{-3} mSv = 0,001 mSv = 10^{-6} Sv
- mSv = 10^{-3} Sv = 0,001 Sv = 10^{-3} Sv
- Sv

VELIKO

VRLO VELIKO!

Procjena izloženosti zračenju

- Izloženost zračenju procjenjujemo pomoću veličine koju nazivamo **doza**.
- Kad želimo različite posljedice izloženosti zračenju opisati objektivno, za procjenu se upotrebljavaju različite vrste doze: **apsorbirana, ekvivalentna i efektivna doza**.

- **Apsorbirana doza D**

- Je količina energije koju zračenje preda pri prolazu kroz tvar, preračunata na jedinicu mase.

$$D = \frac{\Delta \bar{E}}{\Delta m}$$

- Jedinica: gray [Gy] = J/kg [1 mGy = 0,001 Gy, 1 μ Gy = 0,001 mGy]

Procjena izloženosti zračenju

- **Ekvivalentna doza H**

- Vrijedi da **različite vrste zračenja različito oštećuju živu tvar.**
- Uvodi se **mjera za oštećenje tkiva**, nastalog zbog izloženosti
- Izračunavamo je iz apsorbirane doze D uzimajući u obzir vrstu zračenja:

$$H = w_r \times D$$

- w_r je težinski faktor zračenja, koji je zakonski određen:
 - za **rentgensko** zračenje, γ zračenje, β zračenje je **$w_r = 1$**
 - za **α** zračenje je **$w_r = 20$**
 - za **neutronska** zračenje je **$w_r = 2,5$ do 20** (ovisno o energiji)
- Jedinica: sievert[Sv] [1 mSv= 0,001 Sv, 1 μ Sv=0,001 mSv]

Procjena izloženosti zračenju

- **Brzina ekvivalentne doze \dot{H}**

- Kaže nam **koliko brzo raste ekvivalentna doza** u nekom organu pri izloženosti zračenju.

$$\dot{H} = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

- Jedinice: Sv/h, mSv/h in $\mu\text{Sv/h}$
- Brzinu doze možemo shvatiti kao “jačinu zračenja”
- **Mjerači zračenja** su kalibrirani tako da što točnije prikažu **brzinu ekvivalentne doze ($\mu\text{Sv/h}$ ili mSv/h)**, a neki **ekvivalentnu dozu (μSv ili mSv)**
 - $1 \text{ mSv/h} = 1000 \mu\text{Sv/h}$

Procjena izloženosti zračenju

- **Efektivna doza E**

- Uzima u obzir **različitu osjetljivost tkiva (organa)** na zračenje:

$$E = w_T \times H_T$$

- w_T je **tkivni težinski faktor**, H_T je **ekvivalentna doza** organa T
- Jedinica: **sievert (Sv)** (mSv, μ Sv)
- Pri **izloženosti cijelog tijela** uzimamo u obzir izloženost svih organa, kao i vrstu izloženosti.

$$E = \sum_T w_T \times H_T$$

Procjena izloženosti zračenju

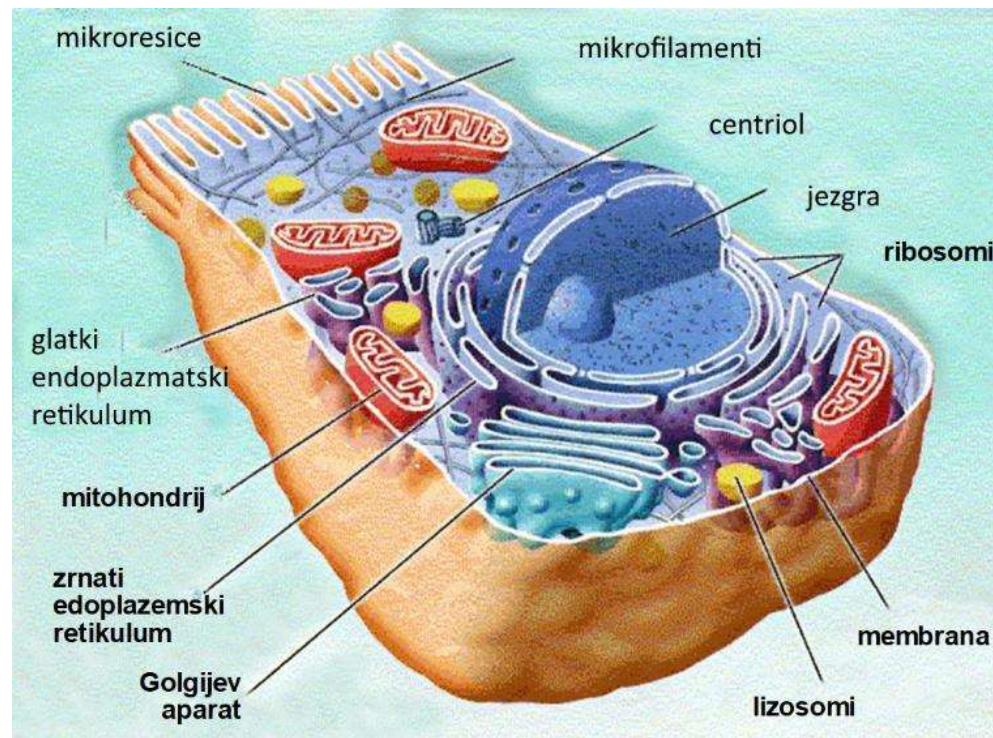
- Tkivni težinski faktori w_T određeni su na osnovi epidemioloških podataka
- Organi koji su više osjetljivi na zračenje imaju veće faktore.

**Uredba UV2
(prema ICRP 103, 2007)**

Organ ili tkivo	Težinski faktor	Organ ili tkivo	Težinski faktor
Crvena koštana srž	0,12	Dušnik	0,04
Debelo crijevo	0,12	Jetra	0,04
Pluća	0,12	Štitnjača	0,04
Želudac	0,12	Površina kosti	0,01
Dojke	0,12	Mozak	0,01
Preostala tkiva	0,12	Žljezde slinovnice	0,01
Spolne žljezde	0,08	Koža	0,01
Mjehur	0,04	UKUPNO:	1,00

Živa tvar

- Tkiva i organi živih bića izgrađeni su od različitih stanica
- Građa stanice je složena, ali možemo razlikovati **jezgru**, **citoplazmu s organelama** i **staničnu membranu**.



Utjecaj ionizirajućeg zračenja na živa bića

- Učinci zračenja manifestiraju se kroz ionizaciju atoma i molekula koje grade stanicu.
- Ovisni su o broju i mjestima ionizacija unutar stanice
- **Deoksiribonukleinska kiselina (DNK odnosno DNA) u jezgri** je presudna pri smrti stanice, mutacijama i nastanku raka
- Najosjetljivije su one stanice koje se **brzo dijele** i **nisu diferencirane**



Direktan učinak
(zračenje međudjeluje s molekulama DNK)



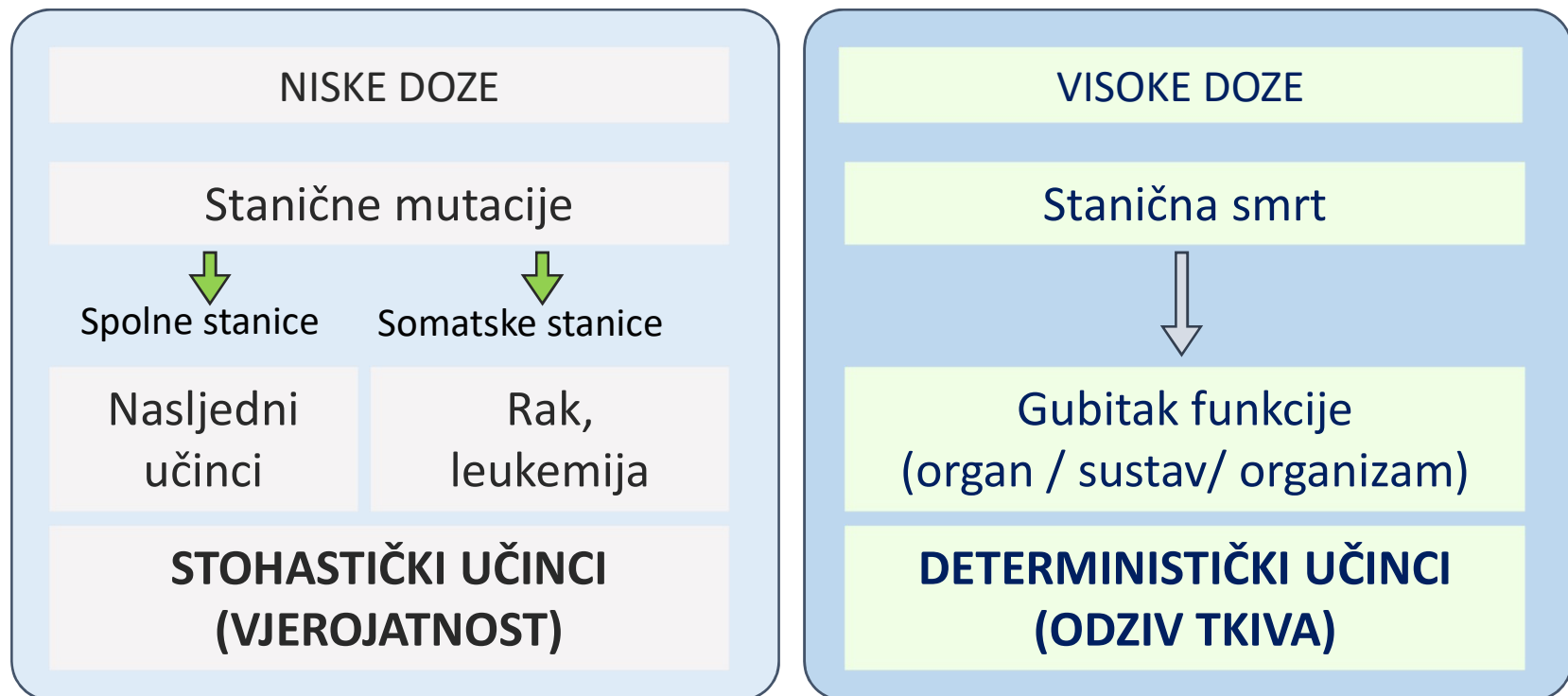
H₂O
Indirektan učinak

(zračenje međudjeluje s vodom i stvara reaktivne **slobodne radikale** koji međudjeluju s DNK)



Učinci zračenja

- Na razini stanica i tkiva, učinke zračenja dijelimo na **stohastičke** i **determinističke**



Stohastički učinci

- Pojavljaju se **pri svim dozama**. Za njih je značajno da:
 - Se pojavljuju **slučajno**
 - **Vjerojatnost pojavljivanja** je proporcionalna dozi
 - Postoji **latentno razdoblje** (godine)
- Stohastički učinci su:
 - Razne vrste raka i leukemija
 - Nasljedni učinci
- Veličine koja daje **vjerojatnost za pojavu stohastičkih učinaka** je **efektivna doza E**



Efektivna doza E je zapravo mjera rizika zbog izloženosti ionizirajućem zračenju.

Deterministički učinci

- Determinističke učinke povezujemo s **visokim dozama**. Za njih je značajno da:
 - imaju **prag** (šteta se pojavljuje iznad neke doze)
 - **učinak je proporcionalan dozi**
 - pojavljuju se **ubrzo** nakon izloženosti (sati, dani, tjedni, ponekad mjeseci)
- Deterministički učinci su:
 - **akutni radijacijski sindrom**, ARS (pri ozračenju cijelog tijela),
 - radijacijska bolest: slabost, povraćanje, gubitak kose, crvenilo kože, katarakt (oštećenje očne leće).
 - radijacijski sindromi: krvni, probavnog trakta, živčani.
 - sterilnost (privremena, trajna)



Deterministički učinci (nastavak)

- Ti učinci su uvijek posljedica izvanrednih događaja.
- Posljedice pri akutnom ozračenju cijelog tijela

Doza (Sv)	Vjerojatni učinak
0 – 0,5	Izrazitih učinaka nema, moguće su manje promjene krvne slike.
0,6 – 1,2	U 5-10 % slučajeva se nakon prvog dana pojavljuje slabost i povraćanje. Nema indikacija teže bolesti..
1,3 – 1,7	Nakon prvog dana pojavljuje se slabost i povraćanje, u 25 % slučajeva se iskazuju simptomi radijacijske bolesti. Nema smrtnih slučajeva.
1,8 – 2,2	U 50 % slučajeva pojavljuje se slabost i povraćanje prvog dana. Simptomi radijacijske bolesti su izrazitiji. Smrtni slučajevi ne očekuju se.
2,3 – 3,3	U 100 % slučajeva pojavljuje se slabost i povraćanje prvog dana. Pojavljuju se stvarni znakovi radijacijske bolesti.
3,4 – 5,0	Srednja smrtna doza LD _{50/30} – 50 % smrti kroz 30 dana.
> 10	Sindromi ozračenja. 100 % smrti s u vremenu od nekoliko sati do nekoliko mjeseci.

Primjeri izloženosti zračenju

- Karakteristične doze **globalno** – prirodni izvori
prirodno pozadinsko zračenje

Izvor	Prosječna godišnja efektivna doza (mSv)	Tipičan raspon godišnjih doza (mSv)
Vanjsko ozračenje		
kozmičke zrake	0,4	0,3 - 1,0
zemaljski radionuklidi	0,5	0,3 - 0,6
Unutarnje ozračenje		
inhalacija (uglavnom radon)	1,2	0,2 - 10
ingestija	0,3	0,2 - 0,8
Ukupno	2,4	1 - 10

Primjeri izloženosti zračenju

- Karakteristične doze - godišnje pojedinačne doze stanovništva iz različitih izvora u Republici Hrvatskoj

Izvor	Doprinos
Prirodno zračenje	2,4 mSv/godina
Medicinska diagnostika	0,001 – 10 mSv/godina
Pokusne nuklearne eksplozije godišnji maksimum životna doza	0,15 mSv/godina 7,2 mSv
Černobilska kontaminacija godine 1986.	0,72/1,1 mSv/godina (odrasli/djeca)
Černobilska kontaminacija, pokusne nuklearne eksplozije i nesreća u Fukushimi (2012.)	0,009 mSv (uglavnom vanjska izloženost)
NE Krško - stanovnici Krškog	< 0,001 mSv/godina

Primjeri izloženosti zračenju (nastavak)

- Prosječne godišnje doze djelatnika u Hrvatskoj

Djelatnost	Prosječna godišnja doza [mSv] (uzeta u obzir samo na razini detekcije!)
NEK (SLO)	0,79
TRIGA IJS (SLO)	0,01
industrijska radiografija	1,43
medicina i veterina (ukupno)	0,30
nuklearna medicina	0,83
interventna radiologija	0,32
zubarski RTG	0,13
zračni promet	1,01
kraške jame	3,75

Zaštita od ionizirajućeg zračenja

- Od ionizirajućeg zračenja ne možemo pobjeći (priroda!)
- Rad s izvorima zračenja ili intervencije pri izvanrednim događajima (ID) uzrokuju **dodatnu izloženost**

Kako se zaštititi?

- **Deterministički učinci** zračenja: doze moraju biti ispod praga!
- **Stohastički učinci** zračenja: držimo se **načela zaštite od zračenja**:
 1. **Opravdanost**: Upotreba izvora samo ako je korist veća od štete
 2. **Optimizacija**: Iznos osobnih doza, broj izloženih ljudi i vjerojatnost da dođe do izloženosti moraju biti onoliko niski koliko je moguće postići uz trenutno tehničko znanje, gospodarske i društvene okolnosti.
 3. **Granične doze** (za profesionalno izložene djelatnike - “normalan rad”): doze koje se ne smiju prekoračiti
Referentne razine (za intervencije): doze koje se upotrebljavaju za izloženost pri ID. Nemaju značenje ograničenja već su “referenca” za najvišu dozu pri određenom postupku kod provođenja zaštitnih mjera.

Godišnje granične doze (Pravilnik NN 38/18. čl. 4-6)

	Izloženi djelatnici	Stanovništvo
efektivna doza	20 mSv/godina	1 mSv/godina
ekvivalentna doza		
- očne leće	20 mSv/ godina	15 mSv/ godina
- udovi	500 mSv/ godina	
- koža (1cm ²)	500 mSv/ godina	50 mSv/ godina

- **Prirodno zračenje i medicinske procedure nisu uračunati**

Vrste izloženosti zračenju

- **Vanjsko ozračenje:** izvor zračenja je van tijela i zračenje prodire u tijelo kroz kožu.
- **Unutarnje ozračenje:** izvor zračenja je u tijelu. U tijelo može doći na različite načine:
 - disanjem (inhalacija),
 - hranom, pićem (ingestija),
 - kroz kožu, naročito ako je oštećena.

Vrste izloženosti zračenju

- Kod **vanjske izloženosti** imamo posla sa **svim izvorima** (radioaktivni izvori/tvari, nuklearni materijal, reaktori, operativni rentgenski aparati)
- **Unutarnja izloženost** je u pravilu posljedica **raspršivanja izvora** u obliku tekućine, praha, čestica, aerosola, čak i u molekularnom ili atomarnom obliku (npr. hlapljenje radioaktivnoga joda), kad dođe do unosa u tijelo.
- Tako raspršene izvore obično nazivamo **kontaminacija** (zraka, površine, predmeta, tvari)
- **Otvoreni izvori:** radioaktivni izvori kod kojih može doći do raspršenosti
- **Zatvoreni izvori:** radioaktivni izvori kod kojih ne može doći do raspršenosti



Detekcija zračenja

Mjerene veličine

- Primljena doza
- Brzina doze
- Kontaminacija

Mjerni uređaji

- Osobni dozimetri
- Mjerači brzine doze
- Mjerači kontaminacije

Primljena doza

- Uređaj: **dozimeter**
- Vrste:
 - **TLD** – laboratorijsko očitavanje
 - **elektronički** – neposredno očitavanje, alarmi
- Mjeri: **X, γ , β** , (neutroni)
- Upotreba: **za osobni nadzor ili nadzor okoliša**
- Mjerno područje: **1 μ Sv i više**



Brzina doze

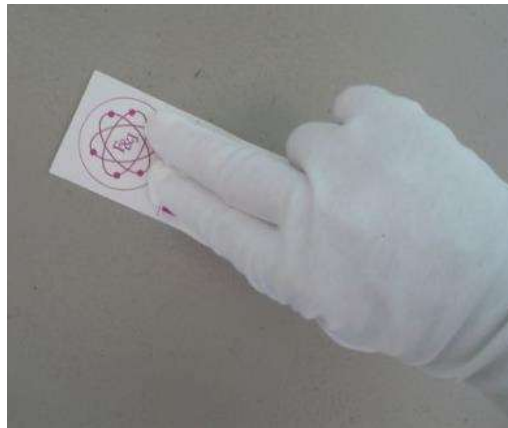
- Mjeri: X, γ , β , (neutroni)
- Mjerna područja:
 - Nisko: do 100 $\mu\text{Sv/h}$
 - Srednje: do 10 mSv/h
 - Visoko: do 10 Sv/h
- Prirodna pozadina: 0,1 $\mu\text{Sv/h}$
(~1 mSv/godina)



Mjerenje površinske kontaminacije

NA ZNANJE! Kontaminaciju obično mjere stručne službe.

- Mjeri se: α , β/γ
- Jedinice: **cps** ili **Bq/cm²**
 - za povezanost moramo poznavati radionuklid
- Prirodna pozadina: **15 – 20 cps (β/γ)**



Mjerenje površinske kontaminacije

NA ZNANJE ! Kontaminaciju obično mjere stručne službe.

- Neposredna mjerenja kontaminacije (fiksna + odstranjiva kontaminacija)
- Mjerenja s brisevima (odstranjiva kontaminacija)
 - bris 10 cm x 10 cm
 - izmjerimo brojačem (β/γ ili α) ili spektrometrom



Mjerenje kontaminacije zraka

- Zračna pumpa + filter
- Vrste uzorkivača:
 - prenosni
 - fiksni
- Mjerenja:
 - trenutna
 - naknadna



Upotreba mjernih uređaja

- Svi interventni djelatnici moraju nositi osobni dozimeter (TLD)
 - Pravilno nošenje - **ispod zaštitne odjeće** u visini prsiju!
- Ako je dostupan, upotrebljava se osobni elektronski dozimeter, koji mora imati pravilno postavljen alarm za brzinu doze i dozu.
- Za mjerenje brzine doze (i doze) upotrebljavaju se ručni mjerni uređaji



Razine zračenja pri izvanrednim događajima i potrebne mjere

Izmjerena brzina doze	Postupanje
~ 0,1 $\mu\text{Sv/h}$	Prirodna pozadina
> 0,5 $\mu\text{Sv/h}$	Povišena radioaktivnost, upotreba dozimetara i obavještanje potrebnih službi
> 100 $\mu\text{Sv/h}$	Pravi radiološki događaj, uspostava zona
> 1 mSv/h	Zabranjeno nepotrebno zadržavanje
> 10 mSv/h	Poseban oprez! Dozvoljen je pažljivo planiran i nadziran pristup

Referentne razine efektivne doze za djelatnike koji provode zaštitne mjere

Mjera	Referentna razina
<ul style="list-style-type: none"> – spašavanje stanovništva, – sprječavanje taljenja reaktorske jezgre, – sprječavanje velikog ispuštanja radioaktivnih tvari, 	500 mSv
<ul style="list-style-type: none"> – sprječavanje stvarnih zdravstvenih oštećenja, – osiguravanje od velike ukupne doze, – sprječavanje velike štete, – popravak sigurnosnih sustava nuklearnog reaktora, – nadzor brzine doze, 	100 mSv
<ul style="list-style-type: none"> – kraći popravci povezani s uspostavom prvobitnog stanja, – provođenje hitnih zaštitnih mjera, – uzorkovanje u okolišu, 	50 mSv
<ul style="list-style-type: none"> – daljnji poslovi povezani s uspostavom prvobitnog stanja, – rutinski poslovi pri intervencijama, – poslovi koji nisu neposredno povezani s izvanrednim događajem. 	20 mSv

Koje su preporučene vrijednosti alarma?

Mjera	Referentna razina
<ul style="list-style-type: none"> – spašavanje stanovništva, – sprečavanje taljenja reaktorske jezgre, – sprečavanje velikog ispuštanja radioaktivnih tvari, 	500 mSv
<ul style="list-style-type: none"> – sprečavanje stvarnih zdravstvenih oštećenja, – osiguravanje od velike ukupne doze, – sprečavanje velike štete, – popravak sigurnosnih sustava nuklearnog reaktora, – nadzor brzine doze, 	100 mSv
<ul style="list-style-type: none"> – kraći popravci povezani s uspostavom prvobitnog stanja, – provođenje hitnih zaštitnih mjera, – uzorkovanje u okolišu, 	50 mSv
<ul style="list-style-type: none"> – daljnji poslovi povezani s uspostavom prvobitnog stanja, – rutinski poslovi pri intervencijama, – poslovi koji nisu neposredno povezani s izvanrednim događajem. 	20 mSv

Izmjerena brzina doze	Djelovanje
~ 0,1 $\mu\text{Sv/h}$	Prirodna pozadina
> 0,5 $\mu\text{Sv/h}$	Povišena radioaktivnost, upotreba dozimetara i obavještavanje potrebnih službi
> 100 $\mu\text{Sv/h}$	Pravi radiološki događaj, uspostava zona
> 1 mSv/h	Zabranjeno nepotrebno zadržavanje
> 10 mSv/h	Poseban oprez! Dozvoljen je pažljivo planiran i nadziran pristup

Preporučene vrijednosti alarma

Alarmi upozorenja na prisutnost zračenja:

- Prisutnost radioaktivne tvari: 0,5 $\mu\text{Sv/h}$
- Prisutnost jakog izvora zračenja: 100 $\mu\text{Sv/h}$

Alarmi:

- Brzina doze: 1 mSv/h
- Primljena doza: 1 mSv
(20 mSv za rutinski posao pri intervenciji, 50 mSv za provođenje hitnih zaštitnih mjera)
- Doza povratka: 10 mSv

Mjerači zračenja u posjedu vatrogasaca

Uređaj	Mjerni opseg		Alarmi		
	HD	D	HD	D	TurnBack
PDS	0,01 $\mu\text{Sv/h}$ - 100 $\mu\text{Sv/h}$		Standard: 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ (2s) or 0,3 $\mu\text{Sv/h}$ (5s) Sensitive: 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ (2s) or 0,05 $\mu\text{Sv/h}$ (5s) Custom: ... - 0,99 $\mu\text{Sv/h}$ (2s, 5s) 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ Danger: 25 $\mu\text{Sv/h}$ - 100 $\mu\text{Sv/h}$		
Automess	0,1 $\mu\text{Sv/h}$ - 10 mSv/h	0 μSv - 100 mSv	Fiksni 7,5, 25, 100 $\mu\text{Sv/h}$ 2, 3 mSv/h + en po izbiri 1 (mSv/h)	Fiksni: 1 ali 2 mSv + en po izbiri 10 mSv	
ChemPro	0,04 $\mu\text{Sv/h}$ - 100 mSv/h		Po izbiri (1 mSv/h)	Po izbiri (1 mSv)	Mora biti manjši kot alarm za dozo
RAD60	5 $\mu\text{Sv/h}$ - 3 Sv/h	1 μSv - 10 Sv	10, 100 $\mu\text{Sv/h}$ 1, 10, 100mSv/h 1 Sv/h	10 μSv , 100 μSv 1 mSv, 10 mSv , 100 mSv 1 Sv	

Mjerači zračenja u posjedu vatrogasaca

Merilnik	Nastavitve
PDS	<p>Profile: routine / expert (psswd: 111) Sensitivity settings: Stnd/Sens/Cstm Mode: Detection (5s integration) / Search (1s integration)</p> <p>NORM: 40K, 226Ra+, 232Th+ Medical: 18F, 51Cr, 67Ga, 75Se, 99mTc, 111In, 123I, 201Tl Industrial: 22Na, 57Co, 60Co, 133Ba, 137Cs, 152Eu, 192Ir, 241Am SNM: 235U, 238U, 239Pu</p>
Automess	
ChemPro	<p>ENOTE: Sv in Sv/h!!! (NE Rad, Gy ali Rem!!) Mode: normal (5s visok HD, 3min bkg) / fast (2,5 s) Alarm mode: alarm / search (chirp) Alarm na dozo je manjši kot TurnBack limit. TBL je na misijo, dose alarm se pa kumulira. DOZA MORA BITI RESETIRANA PRED VSAKO UPORABO!</p>
RAD60	DOZIMETER!

Zaštita od vanjske izloženosti

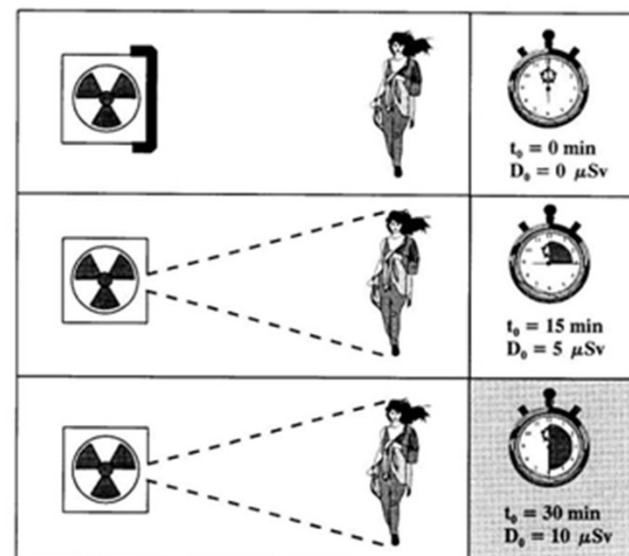
$$\begin{array}{l} \text{IZLOŽENOST} \\ \text{(doza, mSv)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{JAČINA ZRAČENJA} \\ \text{(brzina doze, mSv/h)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{VRIJEME IZLOŽENOSTI} \\ \text{(h)} \end{array}$$

- **Vrijeme:**
 - PRIMLJENA DOZA JE PROPORCIONALNA VREMENU IZLOŽENOSTI
- **Udaljenost:**
 - BRZINA DOZE SMANJUJE SE S POVEĆANJEM UDALJENOSTI OD IZVORA
- **Štit:**
 - ŠTIT SMANJUJE BRZINU DOZE

Zaštita od vanjske izloženosti (nastavak)

- **Vrijeme kao zaštita**

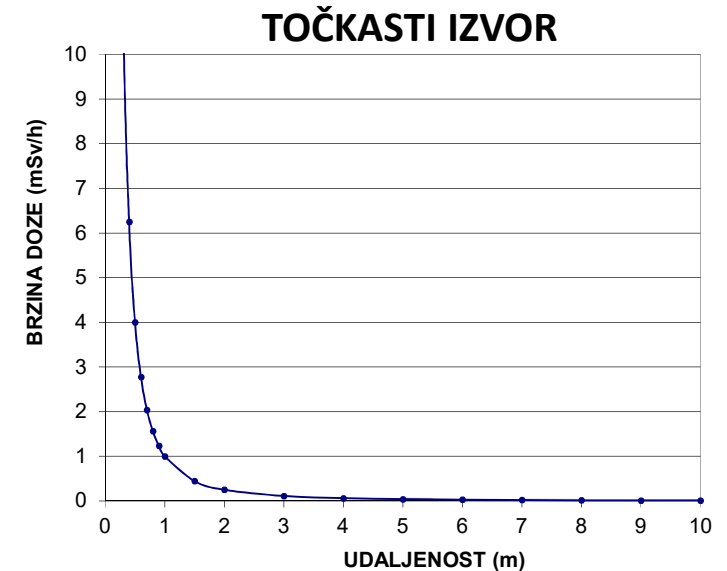
- Brzina rada
- **PRIPREMA RADA!**
 - detaljno planiranje i organizacija rada (prethodna rasčlamba postupaka),
 - osposobljavanje na modelima,
 - optimizacija zaštitne odjeće
- Ograničavanje zadržavanja u polju izvora na vrijeme rada
- Daljinsko komuniciranje
- Raspodjela rada između više djelatnika



Zaštita od vanjske izloženosti (nastavak)

• Udaljenost kao zaštita

- Kod malih izvora (“točkastih”) brzina doze smanjuje se s kvadratom udaljenosti.
 - To praktično vrijedi za sve izvore od kojih smo udaljeni više nego što je njihova dimenzija
- Kod velikih izvora (npr. kamion pun radioaktivne tvari, veliko razlivanje ili velika kontaminirana površina) je ovisnost manje jaka, najčešće je linearna
- **Na malim udaljenostima brzina doze jako raste, stoga se izvoru ne treba približavati niti s njim rukovati bez primjerene opreme!**



Sitan / mali
izvor:

$$\dot{H} \propto \frac{1}{r^2}$$

Prošireni
izvor:

$$\dot{H} \propto \frac{1}{r}$$

Zaštita od vanjske izloženosti (nastavak)

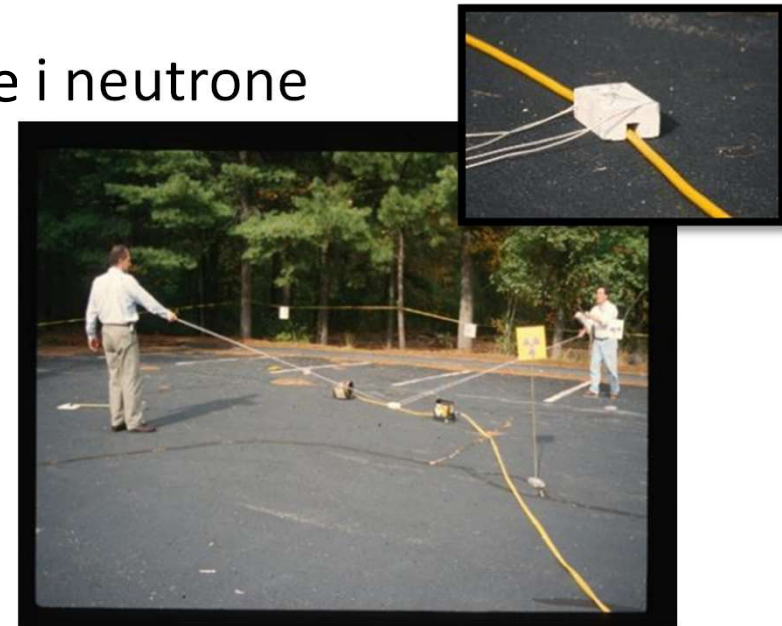
• Štit kao zaštita

- Između nas i izvora postavimo tvar koja zadržava (beta) ili slabi (gama, neutronska) zračenje.
- Učinkovitost štita ovisi o vrsti izvora i debljini štita - svaka tvar nije učinkovit štit (**pitaj stručnjaka!**)
- Primjer učinkovitosti štita za gama zrake i neutrone (poludebljne)



Tvar	^{137}Cs (gama zrake)	$^{241}\text{Am:Be}$ (neutroni)
Beton	5 cm	11 cm
Olovo	0,7 cm	(nije primjeren)

UPOTREBA ŠTITA I UDALJENOSTI
ZA ZAŠTITU PRI RADIOGRAFSKOJ NEZGODI



Zaštita od unutarnje izloženosti

- Kod unosa radioaktivnih tvari u tijelo, izloženost ovisi o **načinu unosa i kemijskim oblicima tj. kemijskim svojstvima spoja (tvari) s radioaktivnim materijalom.**
 - neki izotopi se nakupljaju u ciljanim organima (jod, kalcij), a neki jednoliko po tijelu.
 - alfa i beta zračenja bivaju absorbirana lokalno, dok gama “pobjegne” i ozračuje također i druge organe
 - Po stupnju opasnosti: **alfa zračenje > beta zračenje > gama zračenje**
 - Kod unosa se koncentracija radionuklida u tijelu s vremenom smanjuje zbog radioaktivnog raspada i izlučivanja

Zaštita od unutarnje izloženosti

- **Direktna mjerenja doze poslije unosa nisu moguća, potrebni su izračuni i procjene**
 - Dozu možemo **procijeniti ako poznajemo unesenu aktivnost**
 - **Predviđenu efektivnu dozu E** procjenjujemo tako da unesenu aktivnost pomnožimo s doznim faktorima koji su dani zakonom:

$$E = Ac_0 \times h(g)$$

- Gdje je Ac_0 unesena aktivnost (Bq), a $h(g)$ dozni faktor (Sv/Bq)
- Podatke o unesenoj aktivnosti obično dobivamo iz ocjene kontaminacije zraka ili površina te vremena izlaganja.
- Ocjena unosa moguća je i mjerenjem na mjerачu aktivnosti cijelog tijela (Whole Body Counter, WBC), mjerenjem aktivnosti štitnjače (za jod) ili mjerenjem aktivnosti izlučevina.

Zaštita od unutarnje izloženosti

- Po unosu radioaktivnih tvari u tijelo, na raspad ne možemo utjecati a mogućnost utjecaja na izlučivanje je ograničena
 - Jedina mogućnost je **sprečavanje unosa**
- Ako postoji mogućnost kontaminacije, potrebno je upotrebljavati **osobnu zaštitnu opremu i respiratornu zaštitu**
 - Namjenjenu **sprečavanju kontaminacije kože** (*zaštitna odjeća*)
 - U slučaju povećane kontaminacije zraka, treba **ograničiti unos radioaktivnih tvari preko inhalacije** (*dišna ili respiratorna oprema*).
 - Pomaže i pri smanjenju širenja kontaminacije, ali **ne predstavlja zaštitu od vanjskog zračenja**.

Kontaminacija je nevidljiva!

- Za potvrdu prisutnosti kontaminacije trebaju nam primjereni uređaji
- Do kontaminacije okoliša može doći
 - u **teškim nesrećama pri prijevozu**, kad dođe do oštećenja ambalaže
 - u **požarima ili drugim izvanrednim događajima** u objektima gdje su **prisutne radioaktivne tvari**
 - pri **teškim nuklearnim nesrećama** kod kojih dolazi do ispuštanja radioaktivnih tvari u okoliš



Osobna zaštitna oprema

- Za ruke:
 - laboratorijske rukavice
 - gumene rukavice
- Za noge:
 - Posebna obuća
 - Navlake za cipele
- Za tijelo:
 - pamučni kombinezon
 - tyvek
 - PVC obuća




Respiratorna zaštita

- Filtriranje zraka
 - respiratori
 - poluobrazna maska
 - cjeloobrazna maska
- Dovod čistog zraka
 - skafander (dovod zraka iz nekontaminiranoga područja)
 - dišni aparat (vlastiti dovod čistog zraka)



Osobna zaštitna oprema (vatrogasci)

- Ako nema požara, ne upotrebljava se protupožarna odjeća, jer bi je u slučaju kontaminacije bilo potrebno baciti!
- Pri provođenju zadaća vezanih uz potporu evakuaciji (NEK), dovoljna je zaštitna oprema koja se upotrebljava pri intervencijama zbog radioloških nesreća (zaštita od kontaminacije i respiratorna zaštita).
- Dovoljna je zaštitna odjeća otporna na lebdeće čestice ili pare opasnih tekućina (**2a. zaštitni stupanj**), a koja dodatno ispunjava zahtjeve norme SIST EN 1073-2: Zaštita od radioaktivnih čestica (oznaka za zaštitu od radioaktivnih čestica je )
- Odjeću **2b. zaštitnog stupnja** potrebno je upotrebljavati samo iznimno (rad u zatvorenom ili u neposrednoj blizini objekta)



Slika 6: Obleke 2b. zaštitne stupnje

Osobna zaštitna oprema (nastavak)

- Upotreba **čizmi** je obvezatna, otvori moraju biti priljepljeni trakom
- Uvijek upotrebljavati **laboratorijske (tanke zaštitne) rukavice**, po potrebi i dodatne jače gumene rukavice. Otvore priljepiti, po potrebi mijenjati obloge rukavica.
- Za zaštitu dišnih puteva upotrebljava se cjeloobrazna maska, ali samo ako postoji vjerojatnost djelovanja u radioaktivnom oblaku, podizanja kontaminacije s tla ili je to potrebno zbog drugih opasnosti.
- Masku se može upotrijebiti više puta, ali je potrebno provjeriti filter/filtre te ih po potrebi zamijeniti.
- Moguća je također upotreba jednokratne opreme (Tyvek, respirator), ali ta mora odgovarati standardima.



Prijevoz radioaktivnih tvari

- Osnovno pravilo: **POŠILJATELJ JE ODGOVORAN ZA OSIGURANJE SIGURNOSTI PRI PRIJEVOZU!**
- **Teret** = ambalaža + sadržaj
 - Sigurnost je osigurana ambalažom pošiljke
- Umanjeni rizik proizlazi iz **ograničenja aktivnosti** i odabira **prikladne ambalaže poštujući vrstu izvora.**
- Osnovna podjela radioaktivnih tvari:
 - **Zatvoreni izvor** (*Special form material*, u uvjetima svih predvidljivih nesreća zadržavaju integritet i ne uzrokuju kontaminaciju)
 - **Otvoreni izvor** (izvori koji ne ispunjavaju zahtjeve za zatvoreni izvor)

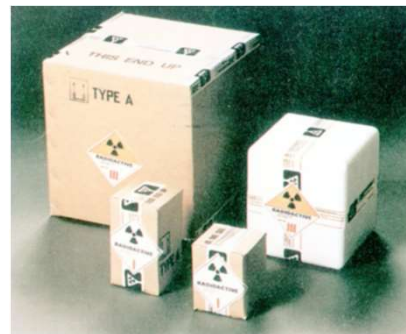
Prijevoz radioaktivnih tvari

- **Izuzeti tereti:** sadrže **manje količine** radioaktivnih tvari koje su izuzete iz strogog nadzora
 - posebno označavanje nije potrebno
 - kod otvaranja mora biti razvidno da paket sadrži (izuzetu) radioaktivnu tvar ili predmet
- **Industrijski tereti** su namjenjeni prevažanju tvari niske specifične aktivnosti (LSA tvari) ili samo površinski kontaminirane (SCO tvari).
 - Podnose manje nezgode
 - To mogu biti različiti niskoradioaktivni otpadci, rudača ili NORM



Prijevoz radioaktivnih tvari

- **Tereti tipa A** namijenjeni su sigurnom i ekonomičnom prijevozu relativno malih količina radioaktivnih tvari.
 - Količine tj. aktivnosti su određene za sve radionuklide
 - Moraju sačuvati integritet pri **neprimjernom rukovanju**, a koje je još "normalno". To su **nezgode koje su moguće pri prijevozu**: pad iz vozila ili s određene visine, udarac oštrim predmetom koji može probiti površinu, izloženost kiši, postavljanje drugog tereta na paket.



Prijevoz radioaktivnih tvari

- Tereti **tipa B (Type B(U) i Type B(M))** namjenjeni su prijevozu **većih količina** radioaktivnih tvari.
 - Granica aktivnosti određena je za svaki dizajn ambalaže posebno
- U paketima tipa B prevoze se izvori za industrijsku radiografiju, tehnećijevi generatori (^{99}Mo), naprave za ozračivanje, potrošeno gorivo, radioaktivni otpad i ostali jaki izvori;
- Tereti tipa B moraju podnijeti **učinke teških nesreća**
 - Ambalaža se testira izimno zahtjevnim pokusima:
mehanički: pad s 9 m, pad na motku promjera 15 cm s 1 m,,
toplinski: izlaganje temperaturi od 800°C kroz 30 min,
potapanje: potapanje na dubini of 15 m kroz osam sati.

Prijevoz radioaktivnih tvari

Primjeri ambalaže tipa B

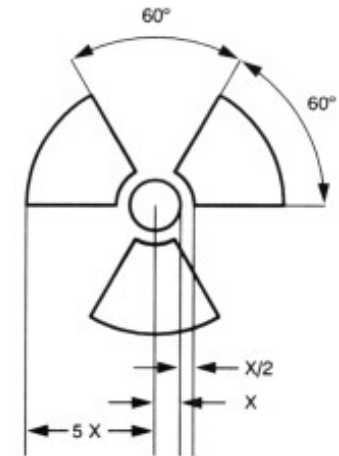


Tc-99m generator



Označavanje tereta

- Tereti moraju biti označeni sa sljedećim podacima:
 - znak trolisne djeteline
 - raspoznavajuća oznaka UN sprijeda
 - tehničko ime
 - definicija dizajna paketa (TYPE IP-1, TYPE IP-2, TYPE IP-3, TYPE A, TYPE B(U), TYPE B(M))
- Sadržaj popratne dokumentacije tereta je precizno određen, sadrži i upute za postupanje u opasnosti
- Na teretu ne smije biti nevezane kontaminacije



Označavanje tereta

- Kategorije tereta

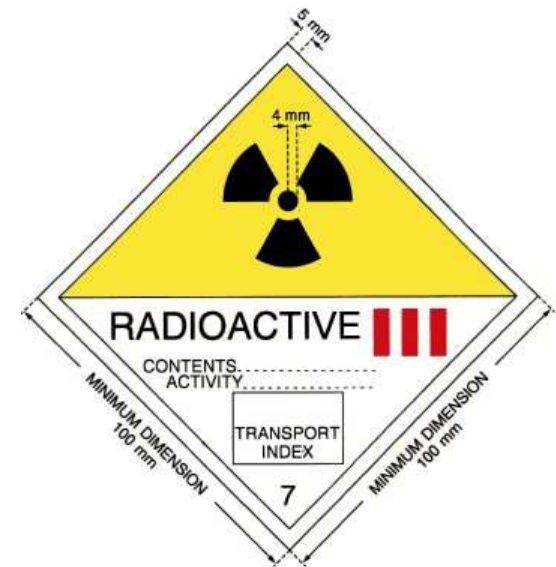
- Određene su na osnovi **jačine zračenja na udaljenosti 1 m** od površine i predstavljaju upute prevoznicima i djelatnicima za sigurno rukovanje i pohranjivanje.



Na površini: do 0,005 mSv/h
1 m od površine: 0



Na površini: 0,005 mSv/h – 0,5 mSv/h
1m od površine: do 0,01 mSv/h



Na površini: 0,5 mSv/h – 2 mSv/h
1m od površine: 0,01 mSv/h – 0,1 mSv/h

Označavanje tereta

- **Transportni indeks (TI)**

- Podatak o brzini doze za točno određen teret.

Brzina doze na 1 m u $\mu\text{Sv/h}$ = Transportni indeks x 10

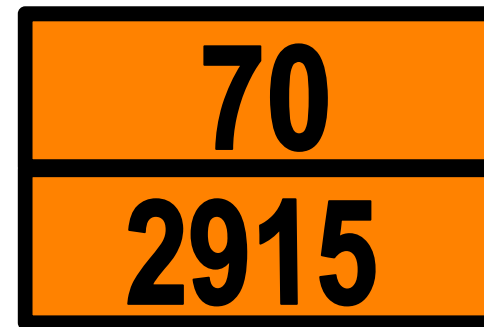
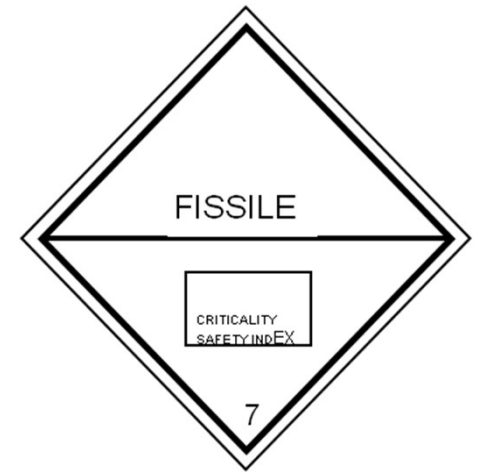
- Kategorije:

- **I-BIJELO** transportni indeks **0**
- **II-ŽUTO** transportni indeks **između 0 in 1**
(na 1 m od površine do 10 $\mu\text{Sv/h}$)
- **III-ŽUTO** transportni indeks **između 1 in 10.**
(na 1 m od površine od 10 $\mu\text{Sv/h}$ do 100 $\mu\text{Sv/h}$)

- Transportni indeks **za više tereta u vozilu** se zbraja, ali **ne smije prijeći 10.**

Označevanje tereta i vozila

- Pri prijevozu **fisijskih** (nuklearnih) tvari se na teretu nalazi i prikladna oznaka (**dodatna** oznaka za kategoriju)
- **Na vozilu** se upotrebljavaju pločice s oznakama “RADIOACTIVE” i “FISSILE”), kao i, u određenim slučajevima, narančasta pločica s oznakom opasnosti (70 – radioaktivna tvar, 768 rad. tvar, otrovna, nagrizajuća, 77 – vrlo jaka rad. tvar, ili 78 – rad. tvar, nagrizajuća) i UN broj (tablica!)



IZVADAK IZ POPISA RASPOZNAVAJUĆIH BROJEVA UJEDINJENIH NARODA, TEHNIČKA IMENA I OPISI, DODATNI RIZICI

Br. UN	TEHNIČKO IME i opis	Dodatni rizici
2910	RADIOAKTIVNA TVAR, IZUZETI TERET - OGRANIČENA KOLIČINA TVARI	
2911	RADIOAKTIVNA TVAR, IZUZETI TERET - INSTRUMENTI ili PREDMETI	
2909	RADIOAKTIVNA TVAR, IZUZETI TERET - PREDMETI, IZRAĐENI OD PRIRODNOG ili OSIROMAŠENOG URANA ili PRIRODNOG TORIJA	
2908	RADIOAKTIVNA TVAR, IZUZETI TERET - PRAZNA AMBALAŽA	
2912	RADIOAKTIVNA TVAR, NISKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-I), nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	
3321	RADIOAKTIVNA TVAR, NISKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-II), nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	
3322	RADIOAKTIVNA TVAR, NISKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-III), nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	
2913	RADIOAKTIVNA TVAR, POVRŠINSKI KONTAMINIRANI PREDMETI (SCO-I ili SCO-II), nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	
2915	RADIOAKTIVNA TVAR, TERET TIP A nema posebnog oblika, nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	
3332	RADIOAKTIVNA SNOV, TERET TIP A, POSEBNOG OBLIKA, nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	
2916	RADIOAKTIVNA TVAR, TERET TIP B(U), nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	
2917	RADIOAKTIVNA TVAR, TERET TIP B(M), nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	
3323	RADIOAKTIVNA TVAR, TERET TIP C, nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	

IZVADAK IZ POPISA RASPOZNAVAJUĆIH BROJEVA UJEDINJENIH NARODA, TEHNIČKA IMENA I OPISI, DODATNI RIZICI (NASTAVAK)

Br. UN	TEHNIČKO IME i opis	Dodatni rizici
2919	RADIOAKTIVNA TVAR PREVOŽENA PO POSEBNOM DOGOVORU, nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	
2978	RADIOAKTIVNA TVAR, URANOV HEKSAFLUORID, nefisijska ili fisijska-izuzeta ^b	nagrizajuće (UN razred 8)
3324	RADIOAKTIVNA TVAR, NISKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-II), FISIJSKA	
3325	RADIOAKTIVNA TVAR, NISKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-II), FISIJSKA	
3326	RADIOAKTIVNA TVAR, POVRŠINSKO KONTAMINIRANI PREDMETI (SCO-I ali SCO-II), FISIJSKA	
3327	RADIOAKTIVNA TVAR, TERET TIPA A, FISIJSKA nema posebnog oblika	
3333	RADIOAKTIVNA TVAR, TERET TIPA A, POSEBNOG OBLIKA, FISIJSKA	
3328	RADIOAKTIVNA TVAR, TERET TIPA B(U), FISIJSKA	
3329	RADIOAKTIVNA TVAR, TERET TIPA B(M), FISIJSKA	
3330	RADIOAKTIVNA TVAR, TERET TIPA C, FISIJSKA	
3331	RADIOAKTIVNA TVAR, PREVOŽENA PO POSEBNOM DOGOVORU, FISIJSKA	
2977	RADIOAKTIVNA TVAR, URANOV HEKSAFLUORID, FISIJSKA	nagrizajuće (UN razred 8)

Nesreća pri prijevozu

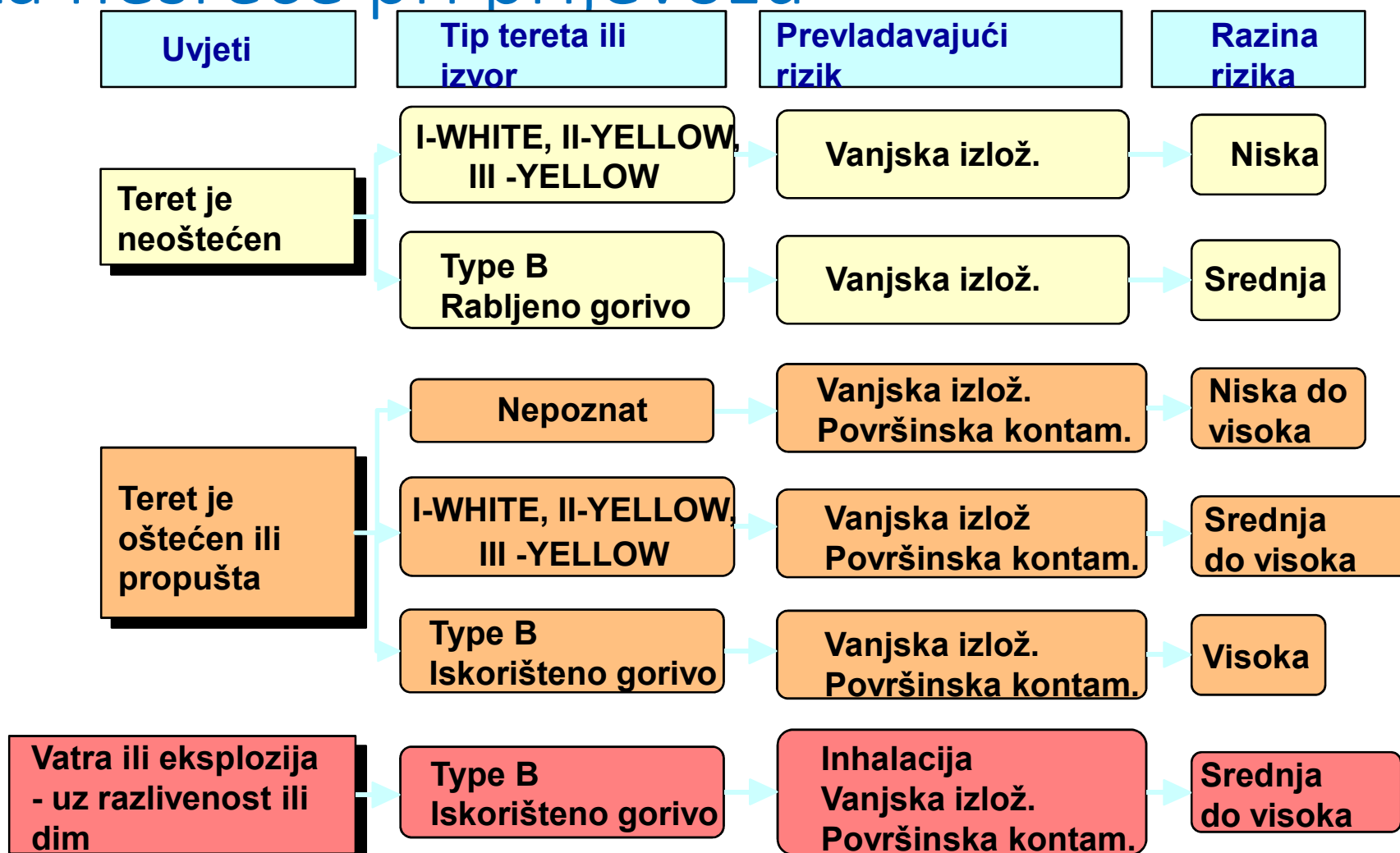


Nesreća pri prijevozu

- Upotreba poznatog pristupa **PIRS** (**P**repoznati, **I**zolirati, **R**iješiti, ograditi, **S**anirati)
- **PREPOZNATI**: oznake s trolisnom djetelinom ili narančaste pločice (s oznakom opasnosti 70) znače **prisutnost radioaktivnih tvari**.
 - Nuklearne/fizijske tvari su još dodatno označene, iako se prevoze po posebnom dogovoru.
- Dozvolu za prijevoz izdaje nadležno državno tijelo
- Brzo djelovanje zahtijeva prepoznavanje vrste pošiljke na osnovi dostupnih podataka (UN broj, kategorija tereta)



Pojednostavljena shema radiološkog rizika za nesreće pri prijevozu



Pojednostavljena shema radiološkog rizika za nesreće pri prijevozu

- Na osnovi UN brojeva

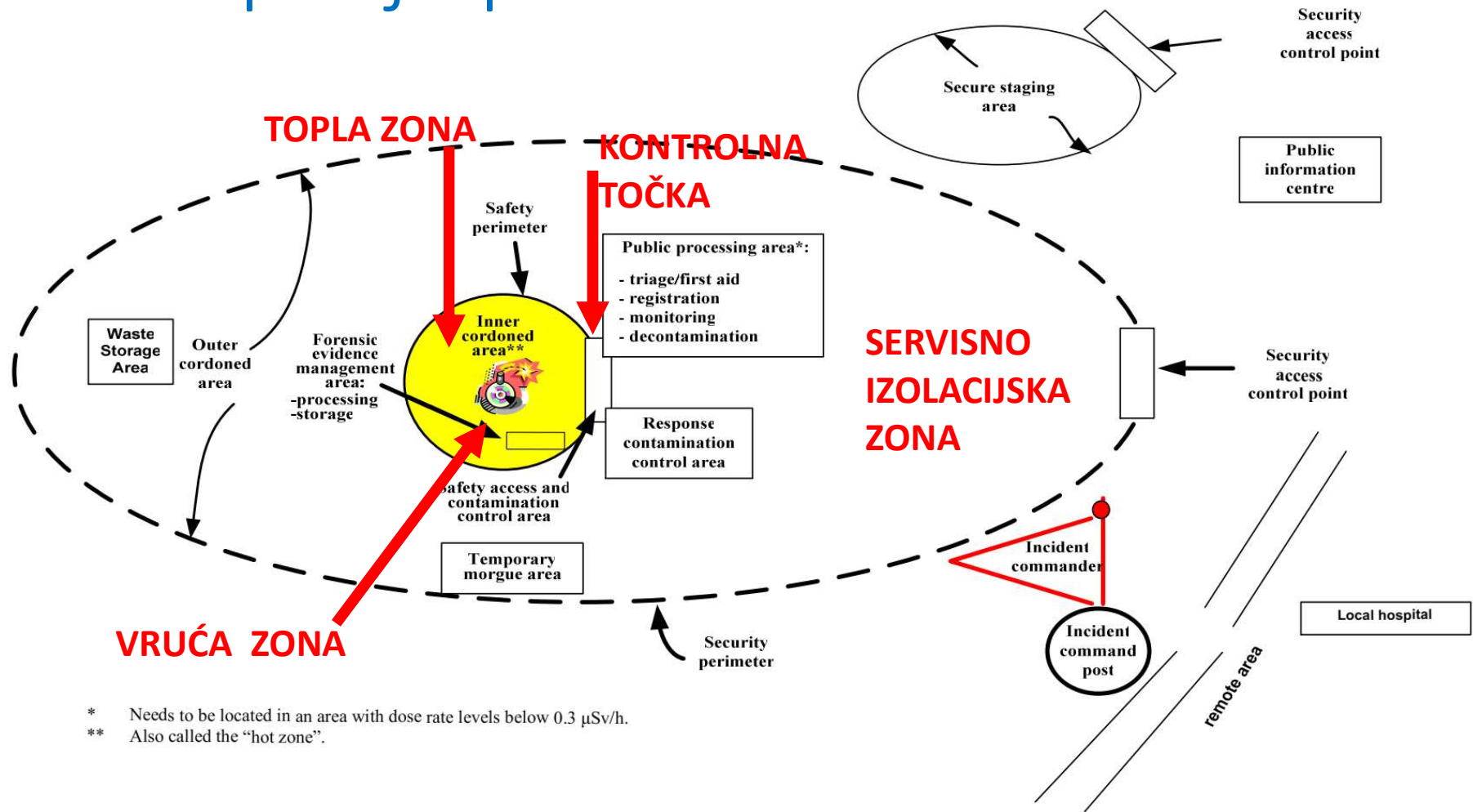
UN broj	Moguće dodatne oznake	Rizik
2908, 2909, 2910, 2911	Ni	Nije opasno
2912, 2913, 3321, 3322, 3324, 3325, 3326	Type IP-1, Type IP-2, LSA, SCO	Može biti opasno ako je tvar udahnuta ili progutana
2915, 3327, 3332, 3333	Type A	Može biti opasno
2916, 2917, 3328, 3329	Type B(U), Type B(M)	
3323, 3330	Type C	

Postupanje pri nesreči

IZOLIRATI: Uspostava zona tj. područja

- Vruća zona (mjesto nesreće)
- Topla zona (područje neposredne opasnosti)
- Pristupna kontrolna točka
- Izlazna dekontaminacijska točka
- Hladna zona
- Zapovjedno mjesto
- Mjesto za spasioce

Postupanje pri nesreči



* Needs to be located in an area with dose rate levels below $0.3 \mu\text{Sv/h}$.
 ** Also called the "hot zone".

FIG. 3. Generic layout of the response facilities and locations within areas established for a radiological emergency²³.

Postupanje pri nesreći(zone/područja)

Stanje	Područje blokiranja (vruća zona)
Nezaštićen ili oštećen, potencijalno opasan izvor zračenja ili manja razlivenost	Područje polumjera 30 m oko izvora/razlivenosti
Veća razlivenost iz potencijalno opasnog izvora zračenja	Područje razlivenosti i 100 m uokolo
Požar, eksplozija ili dim vezano uz potencijalno opasan izvora zračenja	Područje polumjera 30 m
Sumnja na eksplozivno sredstvo („priljava bomba“) – eksplozivirano ili neeksplozivirano	Područje polumjera 400 m ili više – utjecaj eksplozije
Na osnovi radioloških mjerenja	
Ako mjerenja pokažu: - ambientalnu brzinu doze 100 μ Sv/h (Mjereno 1 m iznad tla)	

Postupanje pri nesreći (radiološke razine)

- Razine i osnovne upute za postupanje

Izmjerena brzina doze	Postupanje
~ 0,1 $\mu\text{Sv/h}$	Prirodna pozadina
> 0,5 $\mu\text{Sv/h}$	Povišena radioaktivnost, upotreba dozimetara i obavještavanje potrebnih službi
> 100 $\mu\text{Sv/h}$	Pravi radiološki događaj, uspostava zona
> 1 mSv/h	Zabranjeno nepotrebno zadržavanje
> 10 mSv/h	Poseban oprez! Dozvoljen je pažljivo planiran i nadziran pristup

Postupanje pri nesreći

RIJEŠITI, OGRANIČITI: izvođenje zaštitnih postupaka

- **Prva zadaća je spašavanje unesrećenih – čekanje nije prihvatljivo!**
 - Ako postoji sumnja na kontaminaciju (moguće/potvrđeno oštećenje ambalaže, propušta) potrebno je unesrećenog po pruženoj osnovnoj skrbi zaviti u foliju i obavijestiti relevantne službe o sumnji na kontaminaciju!
- Izvođenje ostalih postupaka ovisi o ocjeni situacije, tj. svojstvima i stanju izvora.
- Nužni postupci (gašenje, ograđivanje razlivenosti) također is provode, dok se provođenje manje važnih postupaka odlaže do dolaska mobilne jedinice tj. posebno osposobljene ekipe
- Upotreba sredstava mora uzimati u obzir vrstu izvora (UN broj, ako je poznat).
- U radu je potrebno poštovati metode zaštite od ionizirajućeg zračenja (vrijeme, udaljenost, štit) te upotrebljavati osobnu zaštitnu opremu (**odjeća 2a. zaštitnog stupnja, respiratorna zaštita u slučaju moguće kontaminacije**)

Postupanje pri nesreći u prijevozu

VAŽNO

- Zračenje tj. kontaminacija samo je **dio rizika**, pa je kod zaštitnih postupaka potrebno uzeti u obzir ostale moguće rizike.
- Provoznici postupaka moraju upotrebljavati **osobne dozimetre**, ali to ih ne štiti od zračenja.
 - Osobni dozimetri namijenjeni su bilježenju doze i potrebno ih je poslije intervencije “pročitati” te podatke zabilježiti zbog zdravstvenog nadzora
- Na kontrolnoj točki potrebno je provjeriti **kontaminaciju** svih uključenih kao i sve opreme.
 - **Svi uključeni i sva oprema moraju biti pregledani prije zaključivanja intervencije!**
- Za **SANACIJU** će biti zadužene stručne ekipe

Postupanje pri nesreći u industriji, medicinskim, istraživačkim ustanovama i drugdje

- Postupanje u slučaju nesreće u industriji slično je postupanju pri nesreći u prijevozu.

Stanje	Područje blokiranja (vruća zona)
U zgradama	
Nezaštićen ili oštećen, potencijalno opasan izvor zračenja ili manja razlivenost	Prostor u kojem je izvor ili razlivenost i svi susjedni prostori (kao i kat više i niže)
Požar, sumnja na eksplozivno sredstvo ili neki drugi događaj, povezan s potencijalno opasnim izvorom zračenja, koji može proširiti kontaminaciju po zgradi (npr. raspršivanje radioaktivnih tvari kroz ventilacijski sustav zgrade)	Cijela zgrada i okolica do udaljenosti preporučenih u rubrici 'Na otvorenom'
Na osnovi radioloških mjerenja	
Ako mjerenja pokažu: - ambientalnu brzinu doze 100 $\mu\text{Sv/h}$ (Mjereno 1 m iznad tla)	

Postupanje pri nesreći u industriji, medicinskim, istraživačkim ustanovama i drugdje

- U industriji tj. medicinskim ustanovama je vrsta izvora obično poznata, ali izvori nisu u transportnoj ambalaži pa je stoga mogućnost kontaminacije veća.
 - Odgovorna osoba tj. posjednik dozvole mora biti u stanju prenijeti podatke o izvoru/izvorima.
- Pri određivanju vruće zone – blokiranog područja – potrebno je uzeti u obzir druge moguće rizike (npr. zapaljive tvari, el. napon, moguća energijska postrojenja itd.)
- Granice tople zone - nadgledanog područja – treba izabrati tako da je moguće jednostavno nadgledati širenje kontaminacije.



Nije uvijek sve idealno...

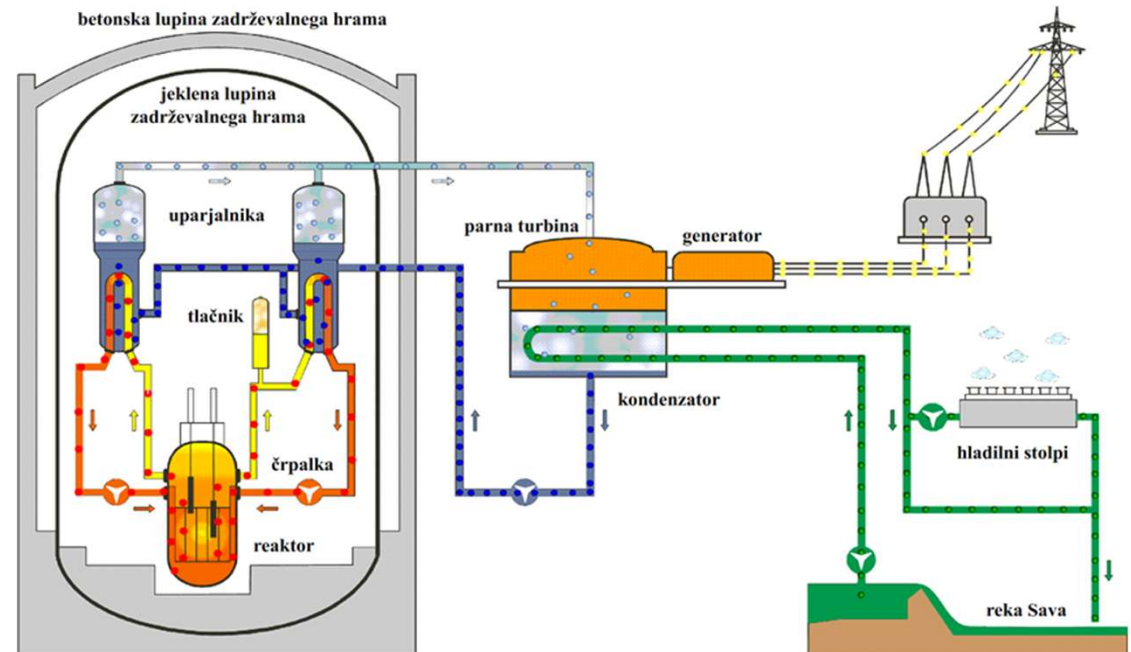
Postupanje pri nesreći u industriji, medicinskim, istraživačkim ustanovama i drugdje

• SPAŠAVANJE

- Pri upotrebi osobne zaštitne opreme i respiratorne zaštite koriste se iste osnove kao pri nesreći u prijevozu.
 - **Prva zadaća je spašavanje unesrećenih – čekanje nije prihvatljivo!**
 - Ako postoji sumnja na kontaminaciju (moguće/potvrđeno oštećenje ambalaže, propušta) potrebno je unesrećenog po pruženoj osnovnoj skrbi zaviti u foliju i obavijestiti relevantne službe o sumnji na kontaminaciju!
 - Za sve koji su bili uključeni u nesreću potrebno je provjeriti osobnu kontaminaciju (to rade stručne ekipe).
- Za **SANACIJU** su zadužene stručne ekipe.

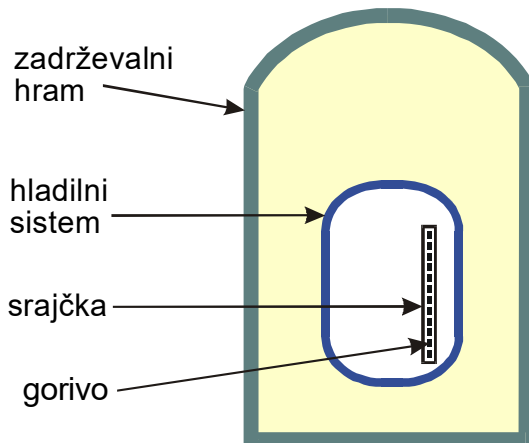
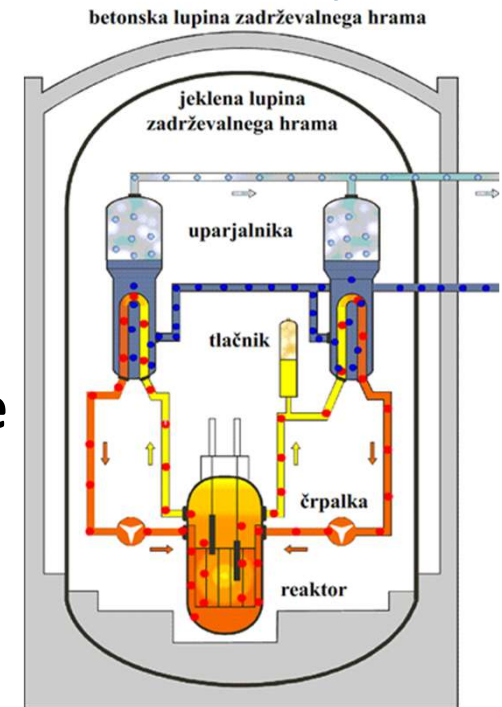
Nuklearna elektrana Krško

- Tlakovodna elektrana
- 2000 MWth/696 MWe
- Hlađenje savskom vodom (vanjski krug)
- Podijeljeno vlasništvo
- Nalazi se u Vrbini kod Krškog
- 12 km od državne granice



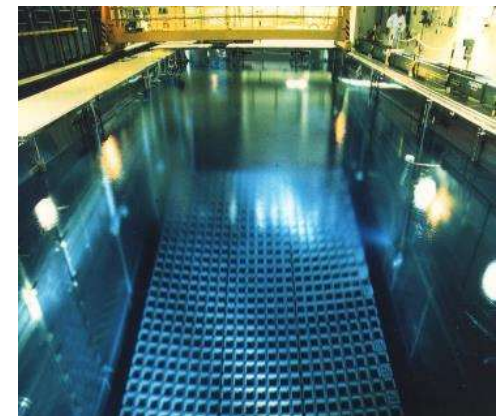
Nuklearna elektrana Krško (nastavak.)

- Ono što je opasno u NE nalazi se u jezgri reaktora i bazenu za potrošeno gorivo
- Problem u svim NE je **zaostala toplina** koja se oslobađa **po zaustavljanju reaktora**
 - Stoga **sustavi za privremeno hlađenje jezgre**
- Pristup zaštiti: sustav **dubinske obrane**
 - **uzastopne fizičke pregrade i**
 - **koncept više razina zaštite**



+

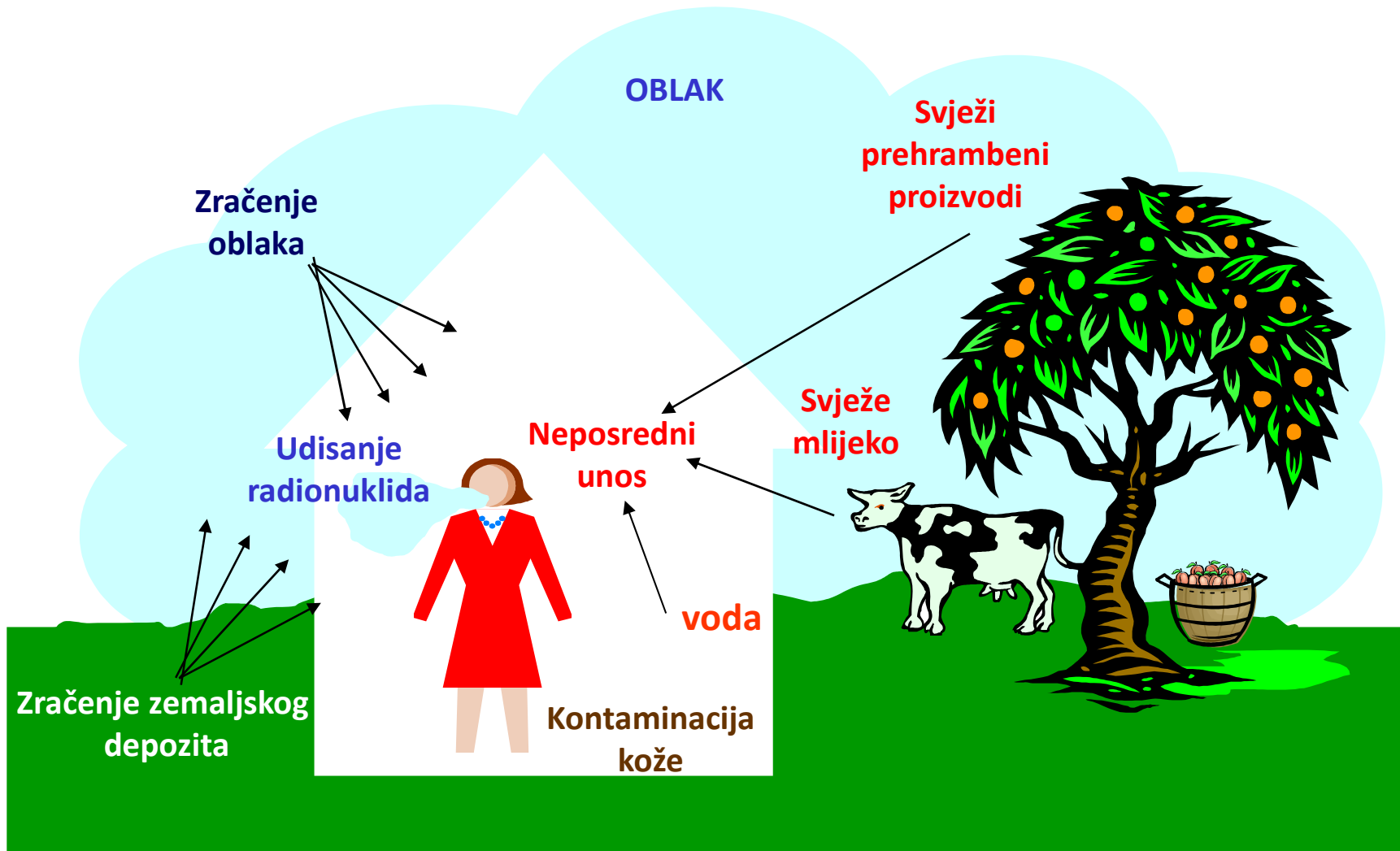
- | | |
|-----|--------------------------------------|
| I | KVALITETA |
| II | VARNOSTNI SISTEMI |
| III | DODATNI
VARNOSTNI UKREPI |
| | PRIPRAVLJENOST
NA NESREČE |



Kakva je izloženost zračenju pri nuklearnoj nesreći

- Ispuštanje i širenje radioaktivnih tvari (širenje “radioaktivnog oblaka”) iz elektrane nije moguće pouzdano predvidjeti.
 - Opseg, veličinu i položaj “oblaka” je u stvarnosti vrlo teško odrediti
- Prilikom prolaska oblaka dio tvari padne na tlo (depozit), posebice tamo gdje ima oborina.
- Poslije prolaska oblaka ostaje **nejednolik depozit** koji lokalno može uzrokovati vrlo jako zračenje (vruće točke tj. “hot spots”).

Mogući putevi izloženosti zračenju



Mogući putevi izloženosti zračenju

- Izloženost **prilikom prolaska oblaka** posljedica je:
 - udisanja radionuklida
 - vanjsko (beta i gama) zračenje iz oblaka
 - vanjsko ozračivanje kože zbog njene kontaminacije
- **Poslije prolaska oblaka** je izloženost prije svega
 - posljedica zračenja iz depozita (posebice vruće točke) te
 - udisanje radionuklida zbog ponovnog uzdizanja radioaktivnih tvari s tla u zrak.
- Konzumacija lokalne hrane i vode, a koje za vrijeme prolaska oblaka nisu bile ambalažirane tj. u zatvorenim prostorima, ne preporučuje se.

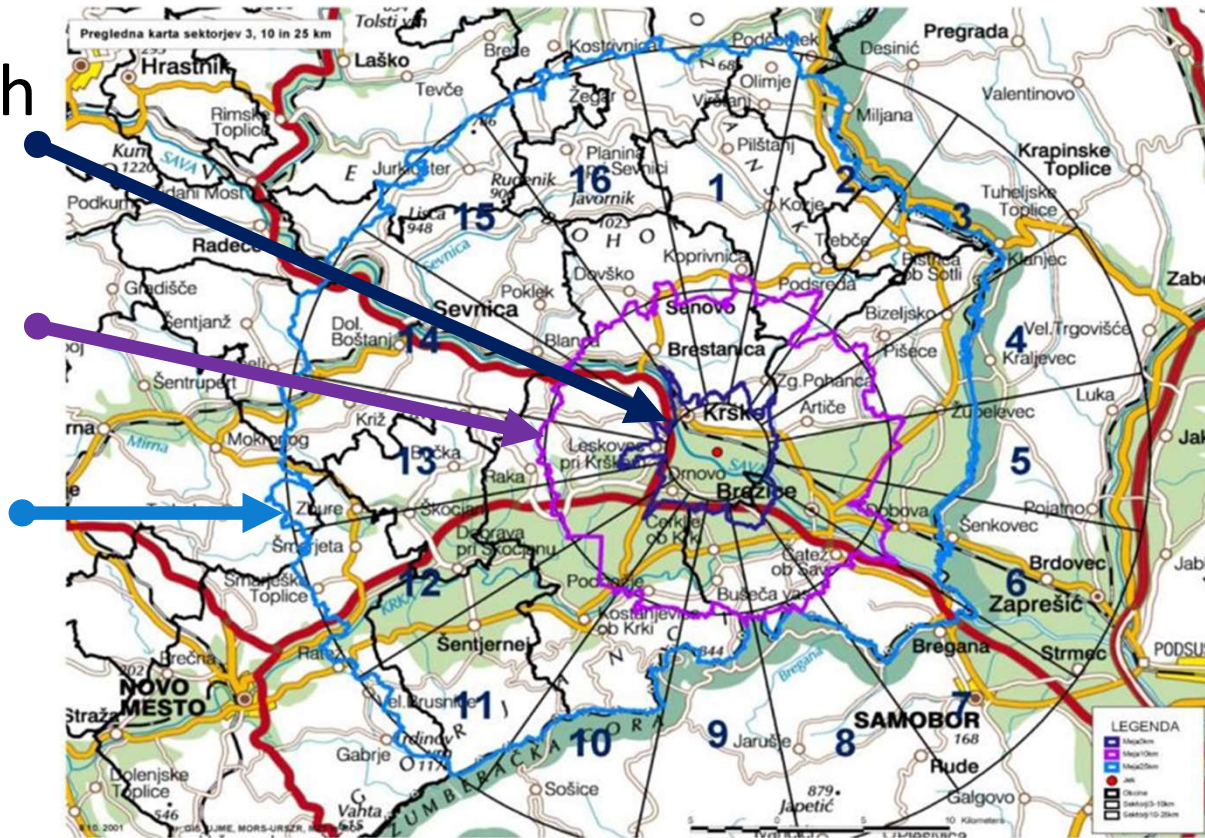
Pripravnost na nesreću

- Sustavi u elektrani dizajnirani su tako da je moguće upravljanje **projektnim nesrećama**.
 - npr. lom parovoda ili propuštanje hladila iz primarnega sustava
- **Pri kombinaciji kvara više sigurnosnih sustava moglo bi doći do oštećenja jezgre i ispuštanje radioaktivnih tvari unutar zaštitne zgrade. U odsustvu zaštitne zgrade radioaktivne tvari bi bile ispuštene u okolinu NE.**
- Izvanredne događaje u NEK razvrstavamo prema opsegu stvarnih ili mogućih posljedica u **četiri stupnja**:
 - 0 – Nenormalni događaj,
 - I – Početna opasnost,
 - II – Objektna opasnost – potrebni zaštitni postupci na području elektrane
 - III – **Opća opasnost – Kad postoji mogućnost ispuštanja radioaktivnih tvari u opsegu koji zahtijeva provođenje zaštitnih radnji u okolini**

Provođenje zaštitnih radnji

- Određene su zone izvođenja zaštitnih radnji za stanovništvo:

- Područje preventivnih radnji (PPR) - 3km
- Područje trenutnih radnji (PTR) - 10 km
- Područje dugoročnih radnji (PDR) -25 km



Provođenje zaštitnih radnji

- U početnim fazama ID zaštitne se radnje izvode **automatski na osnovi klasifikacije!!!**
- U slučaju **opće opasnosti (stupnja III)** pokreće se **evakuacija PPR i potom PTR.**
 - Evakuacija se odvija **po unaprijed određenim evakuacijskim putevima**, na evakuacijska mjesta unutar PDR, a od tamo na lokacije privremenog smještaja.

Provođenje zaštitnih radnji

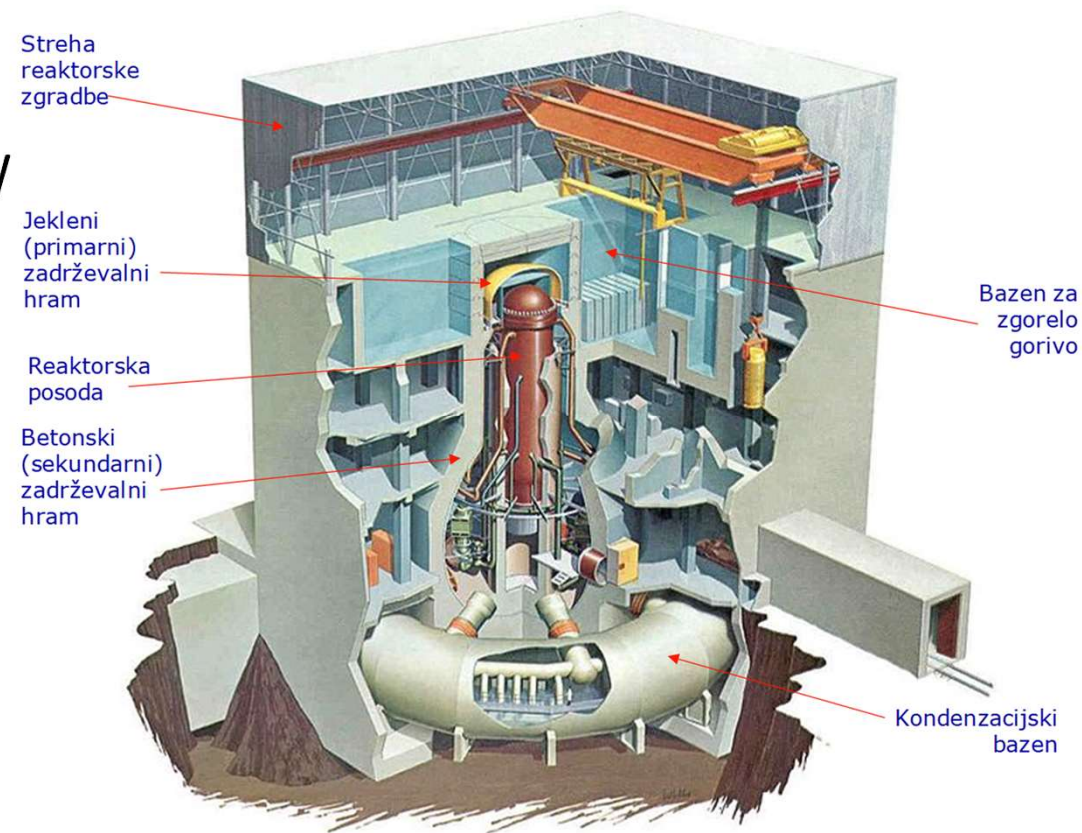
- **Zaštitne mjere za PDR (i šire u Hrvatskoj i Sloveniji)**
 - Pobriniti se za ograničavanje mogućnosti unosa kontaminacije u tijelo, zaštititi izvore hrane i vode, zatvoriti životinje, upotrebljavati samo prije proizvedenu hranu,
- **Pored toga se u PDR na osnovi unaprijed određenih kriterija ili mjerenja u okolišu po potrebi provode:**
 - **Trenutne zaštitne radnje** (podjela i uzimanje tableta KI, trenutna sigurnosna evakuacija),
Privremene zaštitne radnje (priprema na privremeno preseljenje, obustava konzumiranja lokalno pripremljene hrane, privremeno preseljenje),
 - **Dugoročne zaštitne radnje** (također na širem području po potrebi)

Zadaće vatrogasaca pri izvanrednem događaju u NEK

- Vatrogasci ne djeluju unutar ograde NEK, to radi VP Krško, ako je potrebno
- Osnovna zadaća: potpora izvođenju radnji za zaštitu stanovništva, gašenje požara i izvođenje drugih zadaća zaštite i spašavanja, posebno pri prijevozu pitke vode za životinje, spašavanje u prometnim nesrećama i dekontaminacija.
 - Pri evakuaciji sudjeluju jedinice CZ, vatrogasci, policija i po potrebi HV.
 - Dekontaminaciju ljudi, životinja i javnih površina mogu **izvoditi vatrogasne jedinice ovlaštene za postupanje pri nesrećama s opasnim tvarima**, jedinica CZ za RKB dekontaminaciju i po potrebi HV. Provjera kontaminacije i dekontaminacije se u pravilu provodi u **dekontaminacijskim postajama**, koje se organiziraju izvan područja zaštitnih mjera na nadzornim točkama.
- **Upotrebu tableta joda** za članove intervencijskih ekipa i stanovništvo određuje se posebnom odredbom

Nuklearne nesreće – Fukushima

- Presjek reaktora Fukushima 1
 - Snaga elektrarne 460 MWe
 - **Vrijući reaktor**
 - Toplinska snage ~1400 MW
 - U pogonu od 1971.



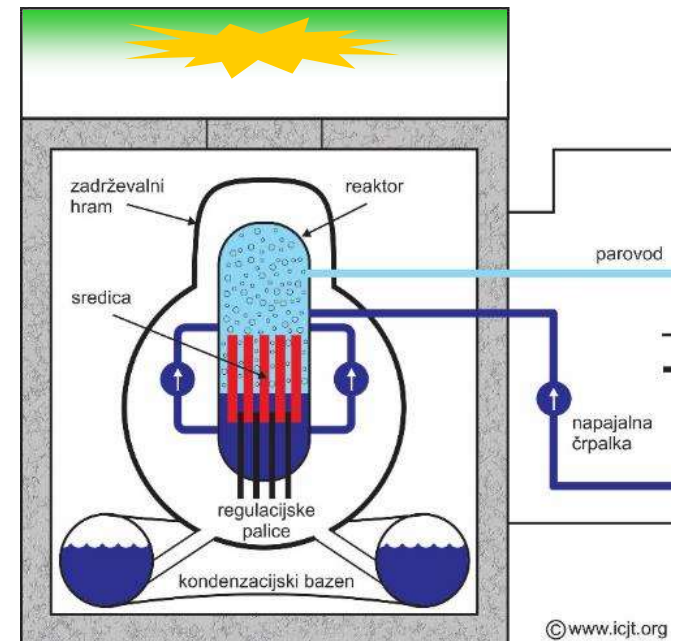
Fukushima - tijekom događaja

- 11 ožujka 2011. potres jačine 9,0 u 14:46 po lokalnom vremenu
- Potres nije oštetio elektranu
- Automatsko zaustavljanje elektrane,
- Prekid napajanja strujom iz mreže,
- Automatsko pokretanje dizelskih agregata,
- Prisilno hlađenje reaktora počelo je normalno djelovati
- 1 sat po potresu na obalu je udario cunami: val se je prelio preko 10 m valobrana (ocjenjena visina cunamija na lokaciji 14 m)
- Val je poplavio zgradu dizelskih agregata (razina tla), dizeli su stali,
- **Prisilno hlađenje reaktora (pumpe) je prestalo,**
- Električni akumulatori za regulacijske sustave još 8 sati,
- Hlađenje reaktora još samo isparavanjem vode i ispuštanjem pare u kondenzacijski bazen



Fukushima - tijekom događaja

- Voda u reaktoru je isparila
- Na košuljici goriva počeo je nastajati vodik, koji je s parom ušao u bazen
- Tlak u bazenu je narastao, stoga su kondenzacijski bazen rasteretili ispuštanjem pare i vodika u reaktorsku zgradu
- Vodik koji se je nakupio pod krovom je eksplodirao
- Sličan scenarij također u dva druga reaktora (jedinice 3 i 2, sumnja na oštećenje zaštitne zgrade), na jednici 4 je pak zavrila voda u bazenu za iskorišteno gorivo (posljedica, eksplozija vodika i ispuštanje radioaktivnih tvari)



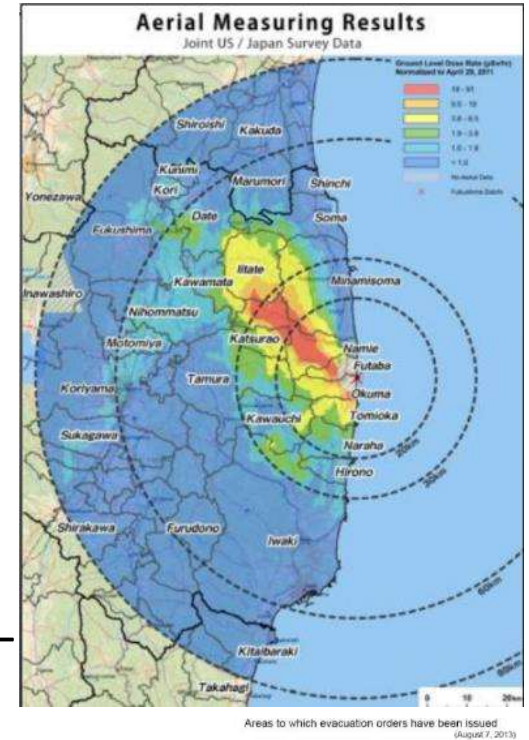
Nuklearne nesreće – Fukushima

- Ispuštanje:

- Glavnina zračnih ispuštanja 12. - 25. ožujka 2011. (ukupno 15 ispuštanja, najvažniji prije 17. ožujka)
- Plemeniti plinovi (Xe-133, $t_{1/2} = 5,3$ d), pribl. 6.550×10^{15} Bq (isti red veličine kao u Černobilu)
- Radioaktivni jod (glavni I-131, $t_{1/2} = 8$ d), pribl. 408×10^{15} Bq (približno 1/10 Černobilskega ispuštanja)
- Radioaktivni cezij (Cs-137, Cs-134, $t_{1/2} = 30$ g i 2,1 g), pribl. 58×10^{15} Bq (1/3 Černobilskega ispuštanja)

Fukushima – zaštitne mjere

- Prva mjerenja kontaminacije (slika desno)
 - Preventivna evakuacija 3 km (11. 3. 2011.)
 - Evakuacija unutar 20 km (12. 3. 2011.)
 - Sklanjanje (zadržavanje u kućama) 20–30 km (15. 3. 2011.)
 - ZATVORENO PODRUČJE: službena uspostava područja – 20 km (22. 4. 2011.), ≈ 80.000 stanovnika , pristup dozvoljen samo intervencijskim djelatnicima
- “Konačna” karta:
 - **Područje 1** (< 20 mSv/godina): brz povratak stanovništva (postupno ukidanje evakuiranog područja);
 - **Područje 2** (> 20 mSv/godina): trenutna zabrana prebivanja;
 - **Područje 3** (> 50 mSv/godina): stanovnici se ne mogu vratiti do daljnjega



Areas to which evacuation orders have been issued (August 7, 2013)

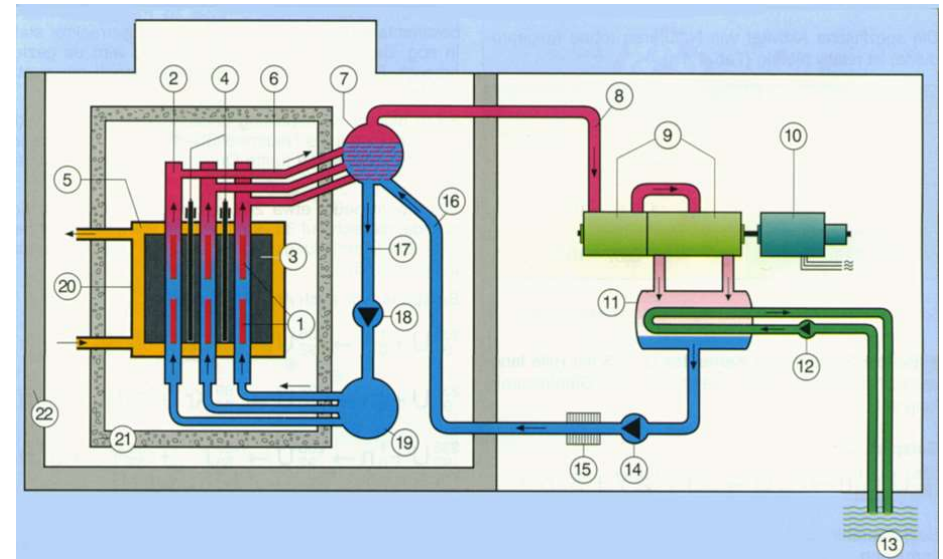


Fukushima - primljene doze djelatnika

- Ukupan broj provjerenih: ≈ 20.000 (siječanj 2012.)
- Uspostava nadzora i ublažavanje posljedica
- 6 djelatnika > 250 mSv
- 170 djelatnika > 100 mSv
- Najveća objavljena 679 mSv (većinom od unutarnje kontaminacije)
- Nikakve zdravstvene posljedice (2013.)
 - Determinističkih posljedica nije bilo!
 - Stohastički učinci (rak) imaju latentno razdoblje
- 6 žrtava radi drugih čimbenika

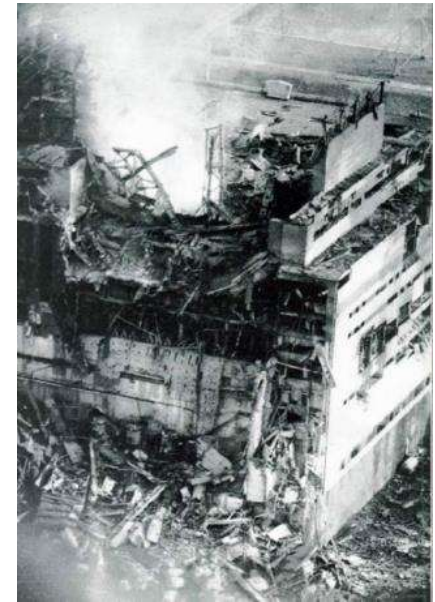
Černobilska nesreća

- Reaktor tipa RBMK (moderator je grafit, gorivo i voda za hlađenje u posebnih cijevima)
- Za taj tipu reaktora je problematičan rad pri niskim snagama
- Nesreću su uzrokovali operateri koji su u pokusu djelovanja opreme prekršili administrativna ograničenja i isključili sigurnosne sustave.

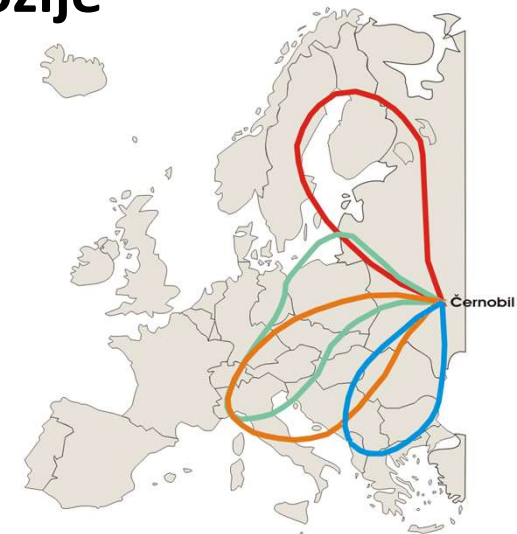
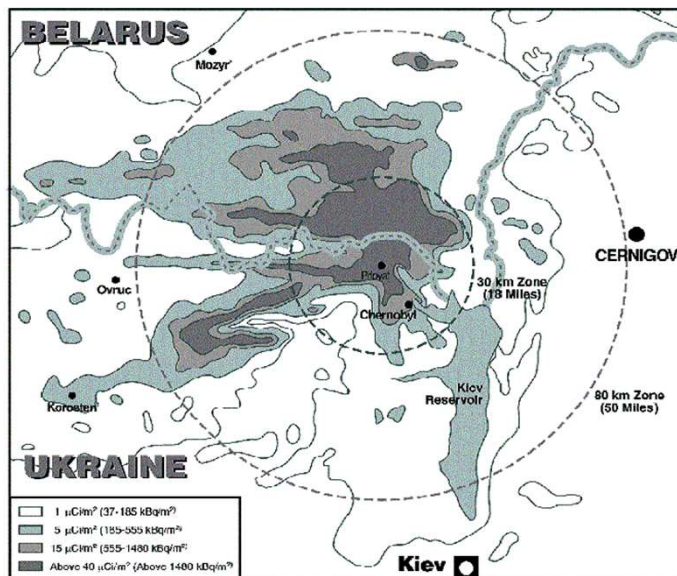


Posljedice nesreće

- 26. travnja 1986. rano ujutro došlo je do brzog porasta snage (1000x), eksplozije para te požara (grafit)



Reaktor
poslije
eksplozije



Širenje radioaktivnog
oblaka



Likvidatori

- Zbog akutne radijacijske bolesti (> 1 Sv)
 - kod 134 likvidatora dijagnoza ARS
 - 28 smrti godine 1986.
 - 19 smrti u razdoblju 1987.-2004.
 - 200.000 likvidatora > 100 mSv



- Nije bilo nadzora primljenih doza!
- Intervencijski djelatnici nisu bili osposobljeni!
- Nisu imali doznih ograničenja!



Opekline vatrogasca (40. dan po nesreći)

Posljedice nesreće

- Procjenjuje se da je od ukupno 600.000 “likvidatora” i stanovnika najviše kontaminiranih područja približno 4000 ljudi umrlo od raka i leukemije uzrokovanih zračenjem. To je približno 3% smrti od spontanog raka koji nije povezan s černobilskim zračenjem.
- Oko 4000 djece oboljelo je od raka štitnjače, 9 ih je umrlo, ostali su izliječeni.
- Pored štetnih posljedica koje su biološki uvjetovane zračenjem, brojni su i zdravstveni problemi koji su posredna posljedica nesreće, evakuacije, gubitka radnog mjesta, razrušenih socijalnih struktura itd. Pojavljuje se depresija, alkoholizam, kardiovaskularna oboljenja i sl.
- Osim unutar 30-kilometarskog isključivog područja su razine zračenja uglavnom normalne.
- Ekonomska šteta je ogromna i mjeri se u stotinama milijardi dolara.

Nesreća s izvorom u Goiânii (Brazil)

- Rujna 87. dvije su osobe ušle u zapuštenu medicinsku ustanovu i uzeli terapijski radioaktivni izvor (^{137}Cs , 50.9 TBq) iz zaboravljenog uređaja
- Kod kuće su ga pokušali rastaviti i pri tome su ga oštetili.
- Čestice izvora, veličine zrna riže, raznesene su po više domova, a ostatak konstrukcije prodan je u staro željezo.
- Nakon pet dana opaženi su prvi znakovi radijacijske bolesti, i bili su relativno brzo prepoznati.



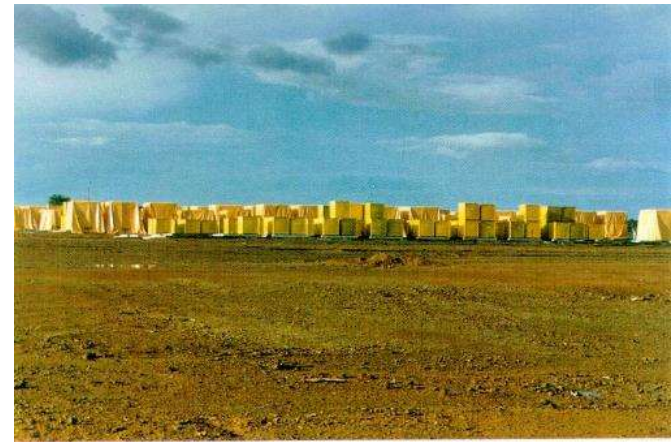
Opseg i posljedice nesreće

- Pregledano je 112.800 osoba
 - Kontaminiranih : 271
 - Lokalne radijacijske ozljede (opekline) kod 28 osoba
 - Jake ozljede koštane srži kod 14 osoba
 - Akutni radijacijski sindrom kod 8 osoba
- 4 smrtne žrtve



Opseg i posljedice nesreće

- Pri dekontaminaciji sudjelovalo je 730 djelatnika
 - 98 kontaminiranih kuća
 - 58 dekontaminirano javnih mjesta (pločnici, trgovine, lokali)
 - 64 dekontaminiranih vozila
- Nastalo je oko 3.500 m³ radioaktivnog otpada.



Condition	Source or package type	Dominant radiological hazard	Hazard level	Main actions
Package appears intact	I-WHITE, II-YELLOW, III-YELLOW	External exposure	Low	1. Handle the package carefully and store as required.
	Type B Spent fuel	External exposure	Medium	1. Do not handle the package until the Radiological Assessor is present. 2. Isolate the accident area. 3. Call the Radiological Assessor, consignee and the owner. 4. Survey and recover the package - handle the package with gloves. 5. Check the integrity of the package- confirm that there is no contamination.
Package appears to be damaged or leaking	Unknown	External exposure Surface contamination	Low to high	1. Do not handle the package until the Radiological Assessor is present. 2. Isolate the accident area. 3. Keep non-essential personnel away from the accident area. 4. Call the Radiological Assessor. 5. Survey and recover the package - handle the package(s) with gloves. 6. Survey surroundings for possible contamination; monitor personnel. 7. Identify and segregate potentially contaminated or exposed ones. 8. Clean up as required.
	I-WHITE, II-YELLOW, III-YELLOW	External exposure Surface contamination	Medium to high	1. Do not handle the package until the Radiological Assessor is present. 2. Isolate the accident area, keep non-essential personnel away. 3. Call the Radiological Assessor, consignee and the owner. 4. Notify hospital if contaminated injury. 5. Survey and recover the package, handle the package(s) with gloves. 6. Survey the area and personnel. 7. Clean up as required.
	Type B Spent fuel	External exposure Surface contamination	High	1. Evacuate 100 m around and 200 m downwind. 2. Do not handle the package until the Radiological Assessor is present. 3. Isolate accident area, keep non-essential personnel away. 4. Call the Radiological Assessor, consignee and the owner. 5. Identify and segregate potentially contaminated people. 6. Notify hospital if contaminated injury. 7. Survey and recover the package. 8. Survey the area and the personnel; clean up as required.
Fire or explosion - spill or fumes present	Type B Spent fuel	Inhalation External exposure Surface contamination	Medium to high	1. Treat as conventional hazard. 2. Evacuate up to 300 m around. 3. Wear respiratory protection and protective clothing. 4. Call the Radiological Assessor. 5. Notify hospital if contaminated injury. 6. Survey and recover the source; survey cool transport flask. 7. Monitor personnel and survey the area. 8. Clean up as required.