ZNAČILNOSTI RADIOAKTIVNIH IN JEDRSKIH SNOVI
VARSTVO PRED SEVANJI
IZREDNI DOGODKI IN UKREPANJE

ENRAS

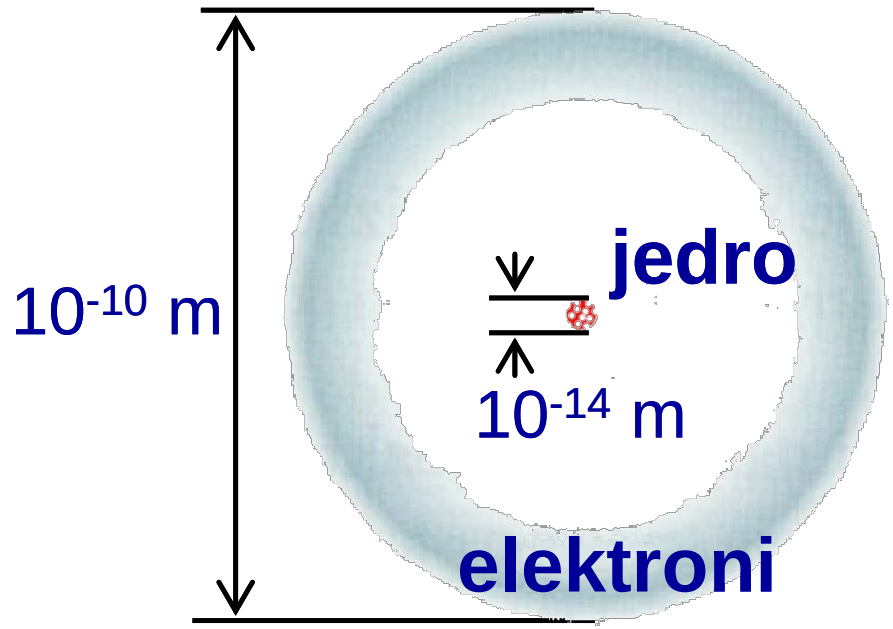
Interreg
SLOVENIA – CROATIA
European Union | European Regional Development Fund

Kako je snov zgrajena

- Vse snovi okoli nas so zgrajene iz ogromnega števila **molekul**, ki so najmanjši gradniki različnih spojin.
- Molekule so dejansko skupki dveh ali več **atomov**.
- Atomi so najmanjši gradniki tistih snovi, ki jim rečemo **kemijski elementi**
  - Število kemijskih elementov je relativno majhno – znanih je 118 elementov, v naravi jih najdemo nekaj čez osemdeset
- Razen atomov žlahtnih plinov so atomi vseh drugih elementov vezani v manjše ali večje molekule.

Zgradba atoma

- **Atom** sestavljajo:
  - pozitivno nabito **jedro**,
  - negativno nabiti **elektroni**, ki se nahajajo kot nekakšen oblak okrog jedra.
- Atomsko **jedro** sestavljajo:
  - pozitivno nabiti **protoni**,
  - **nevtroni**, ki so brez naboja

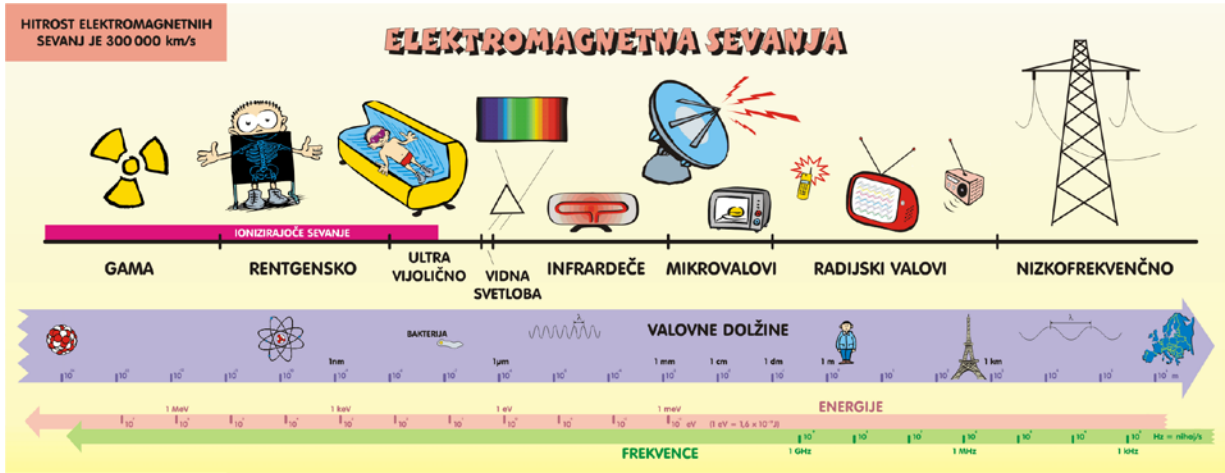


SLIKA NI V MERILU!

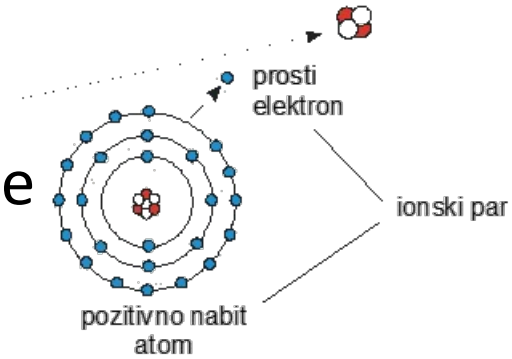
- Elektrone na jedro veže **električna sila**
  - Za odstranitev elektrona iz atoma (ali molekule) je potrebna **energija!**

Ionizirajoče sevanje

- Sevanje je **energija**, ki v obliki **valovanja ali delcev** potuje skozi prostor.
  - Najbolj poznano je **elektromagnetno sevanje**
- **Ionizirajoča sevanja** nosijo dovolj energije, da v snovi povzročijo **ionizacijo** – iz atomov in molekul snovi izbijejo elektron.



Vrste ionizirajočih sevanj



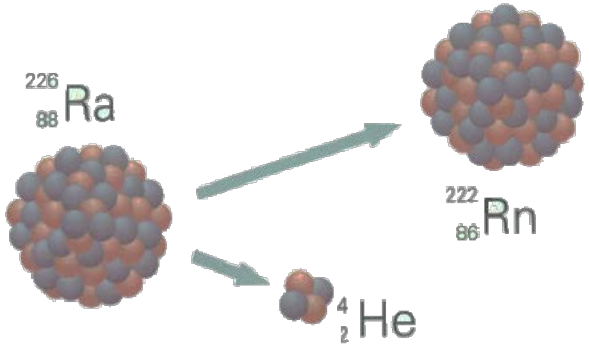
- Med ionizirajoča sevanja spadajo naslednje vrste **elektromagnetnih sevanj**:
  - delno UV (vir je Sonce ali plinske sijalke)
  - rentgensko sevanje (vir so npr. rentgenske cevi/aparati)
  - sevanje gama (vir so radioaktivni viri)
- Med ionizirajoča sevanja prištevamo tudi **delce**, ki nastanejo pri radioaktivnih razpadih in jedrskih reakcijah:
  - delci alfa – jedra ^{4}He - (vir so radioaktivni viri)
  - delci beta – e^{-} -(vir so radioaktivni viri)
  - nevtroni (nastanejo pri cepitvi in zlitju, tudi v nekaterih radioaktivnih virih)
- Različne vrste ionizirajočih sevanj na podoben način vplivajo na snov (tudi živo!) zato jih obravnavamo skupaj

Radioaktivnost

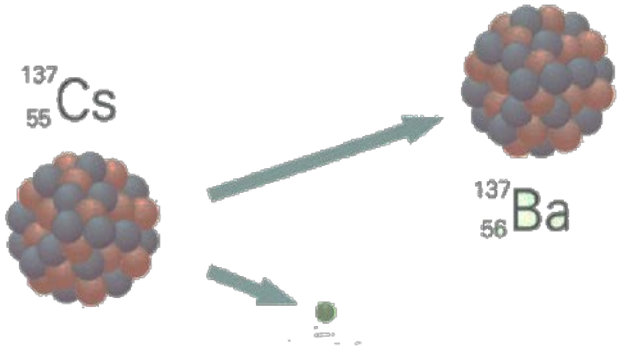
- Nekatera jedra **niso stabilna**
  - takšna jedra se v **naključnem** trenutku **spontano** spremenijo v stabilno (ali stabilnejšo) obliko
  - pri tej spremembi jedra **oddajo odvečno energijo** v obliki izsevanih **delcev ali elektromagnetnega sevanja**
- Za takšna nestabilna jedra običajno rečemo, da so **radioaktivna**, samo spremembo pa imenujemo **radioaktivni razpad**
- Izsevane delce in elektromagnetno sevanje prištevamo med **ionizirajoča sevanja**

Vrste jedrskih (“radioaktivnih”) sevanj

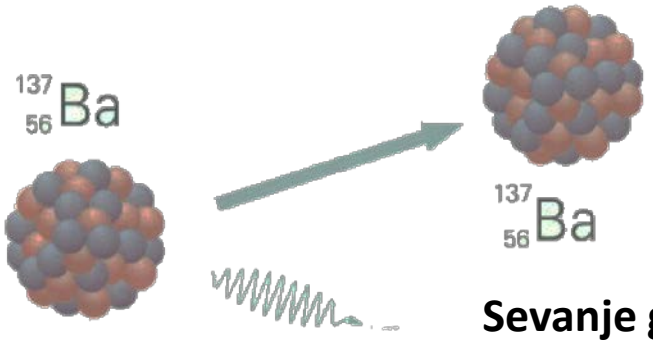
- Jedra razpadajo na različne načine, zato poznamo različne vrste jedrskih sevanj.



Sevanje alfa (α)
Pri razpadu alfa iz radioaktivnih jeder odletijo delci alfa - jedra helija - **2 protona in 2 nevtrona**.



Sevanje beta (β)
Pri razpadu beta iz radioaktivnih jeder odletijo delci beta - **elektroni**.



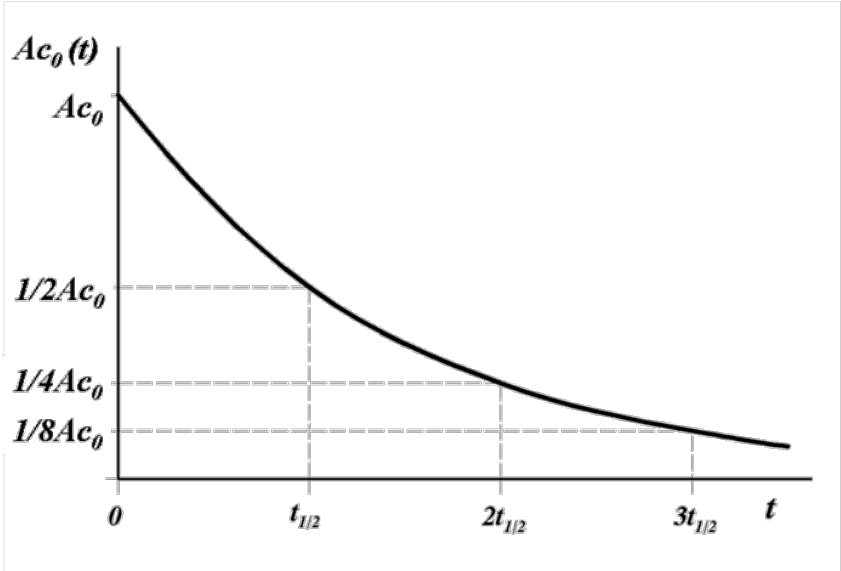
Sevanje gama (γ)
Pri razpadu gama jedro izseva elektromagnetno valovanje - **foton**.

Radioaktivni viri

- Snov, v kateri so atomi z radioaktivnimi jedri, imenujemo **radiaktivni vir**
- Namesto mase ali števila radioaktivnih jeder povemo **aktivnost** $\mathcal{A}c$, tj. **število radioaktivnih razpadov v sekundi**
  - Aktivnost nam pove, koliko sevanja nastane v viru
- Enota za aktivnost je **becquerel** [Bq] / bekerel (1 razpad na sekundo, 1 Bq = 1/s)
- Običajno uporabljamo večje enote kBq, MBq (=10^6 Bq), GBq (=10^9 Bq) ali TBq (=10^{12} Bq) **Močni viri!**
- Stara enota za aktivnost (nedovoljena enota) je **curie** [Ci] / kiri (1 Ci = 0,037 TBq = 37 GBq = $3{,}7\times10^{10}$ Bq).

Časovna odvisnost aktivnosti

- Zaradi razpadov se **število** radioaktivnih jeder in **aktivnost** v viru **s časom zmanjšuje**.
- Časovno odvisnost aktivnosti opišemo enostavno tako, da se **aktivnost razpolovi** po nekem karakterističnem času, ki mu rečemo **razpolovni čas ($t_{1/2}$)**.

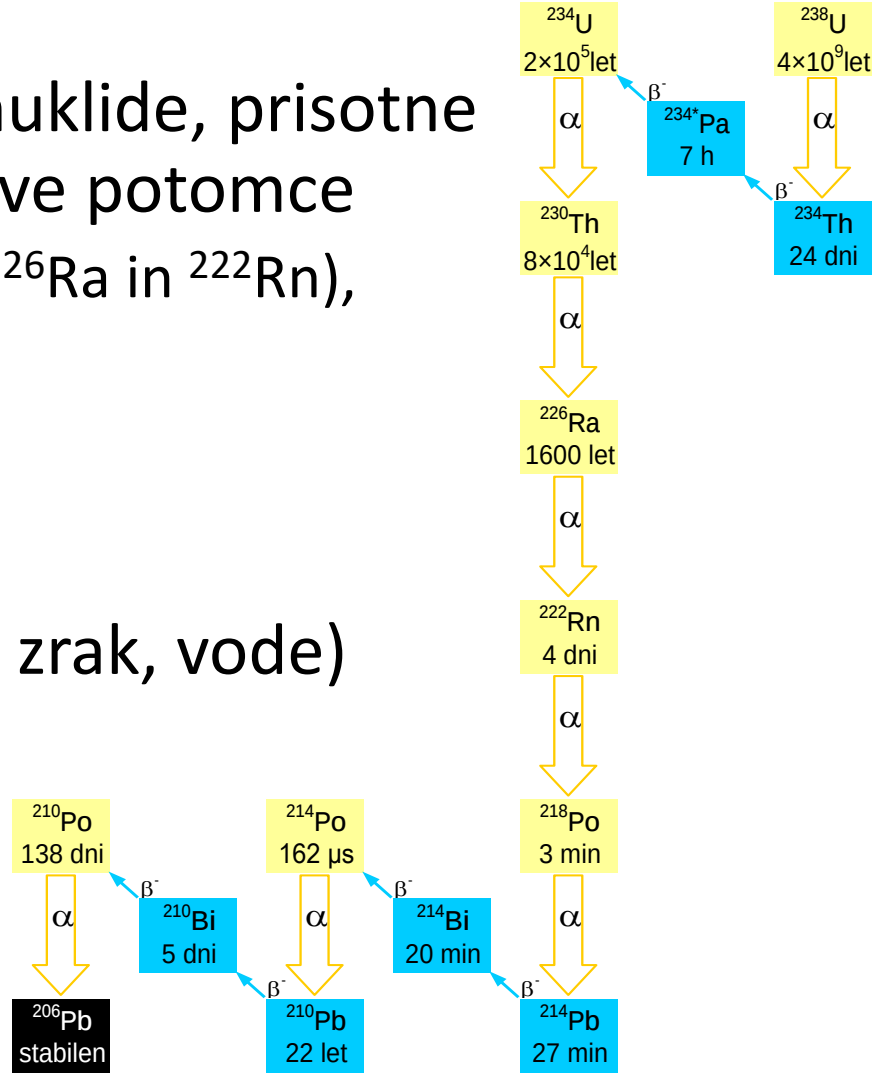


Primeri radioaktivnih virov (umetni)

Radionuklid	$t_{1/2}$	Izsevani žarki	Področje uporabe	Tipične aktivnosti virov [TBq] (od – do)
^{241}Am	433 a	α, γ	ind. instrumentacija	2,2E-03 (4,4E-04 - 4,4E-03)
^{3}H	12 a	β	ind. instrumentacija	Maks 0,74
^{131}I	8 d	β, γ	med diagnostika in terapija	3,7E-03 (3,7E-03 - 7,4E-03)
$^{99}Tc^{m}$	6 h	γ	med. diagnostika	Generator ^{99}Mo: 0,037 (0,037 - 0,37)
^{137}Cs	30 a	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 a	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)
$^{241}Am/Be$	433 a	nevtroni, γ	ind. instrumentacija	1,9E-03 (1,9E-03 - 3,7E-03)
$^{90}Sr/^{90}Y$	29 a	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 a	α, β, γ	med. terapija	5,6E-04 (1,9E-04 - 1,9E-03)

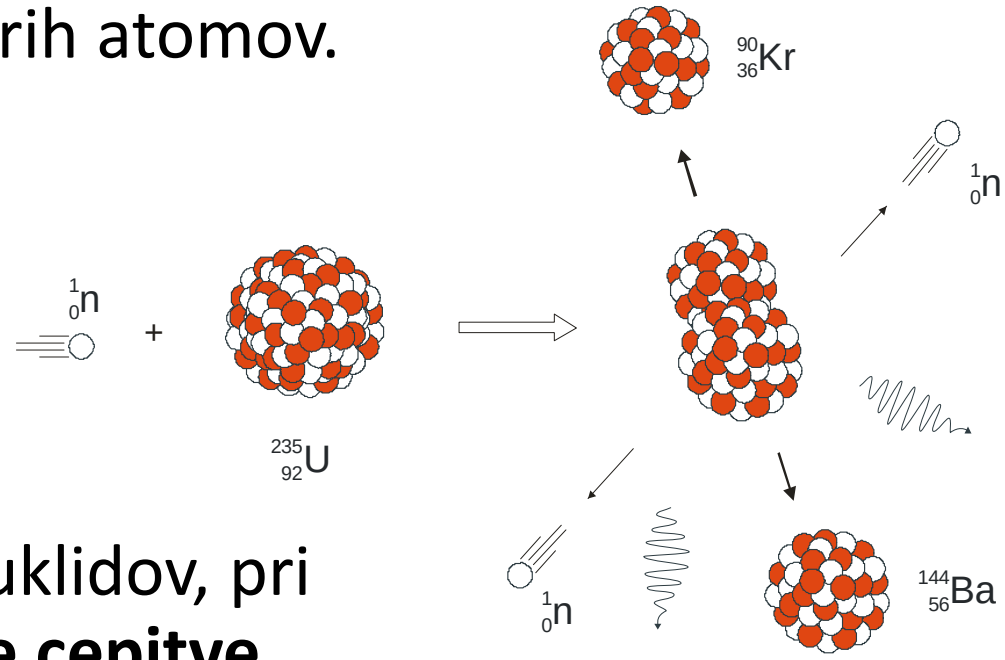
Primeri radioaktivnih virov (naravni)

- Gre za dolgožive radioaktivne nuklide, prisotne na Zemlji od nastanka, ali njihove potomce
  - ^{238}U, $t_{1/2} = 4{,}5 \cdot 10^9$ let (potomca ^{226}Ra in ^{222}Rn),
  - ^{235}U, $t_{1/2} = 7 \cdot 10^8$ let,
  - ^{232}Th, $t_{1/2} = 1{,}4 \cdot 10^{10}$ let,
- Tudi ^{40}K, $t_{1/2} = 1{,}3 \cdot 10^9$ let
- Naravni viri so v naravi (zemlja, zrak, vode) vendar jih obravnavamo kot umetne, če jih “premaknemo” iz nahajališča.

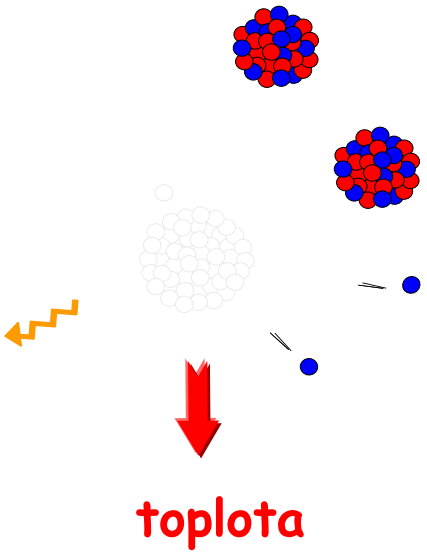


Jedrska cepitev

- Pod določenimi pogoji (prisotnost nevtronov v reaktorjih ali visokoenergijskih delcev v pospeševalnikih) lahko načrtno sprožimo spremembe v jedrih atomov.
- Posebej pomembna je **jedrska cepitev**, ki jo s pomočjo nevtrona sprožimo v **jedru ^{235}U**
- Obstajajo tudi vrste radionuklidov, pri katerih prihaja do **spontane cepitve**



Produkti jedrske cepitve

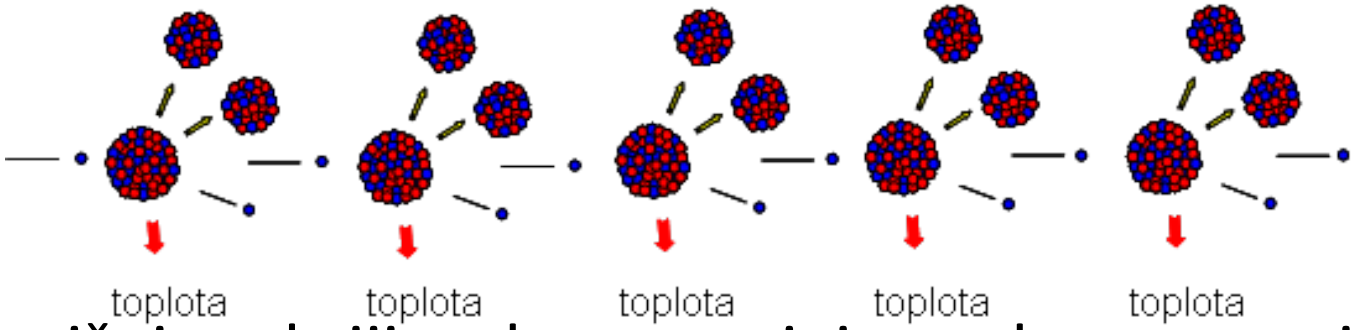


- Pri cepitvi jedra ^{235}U nastanejo
  - razcepki
  - nevtroni
  - žarki gama
  - sprosti se **velika količina energije**, ki je kot kinetična energija porazdeljena po produktih cepitve.

- **Razcepki** so **močno radioaktivni**
  - radioaktivne razcepke in produkte njihovega razpada imenujemo **radioaktivni cepitveni produkti**

Verižna reakcija

- Če so zagotovljene ustrezne razmere, lahko ena cepitev sproži naslednjo cepitev, ta naslednjo, itn.



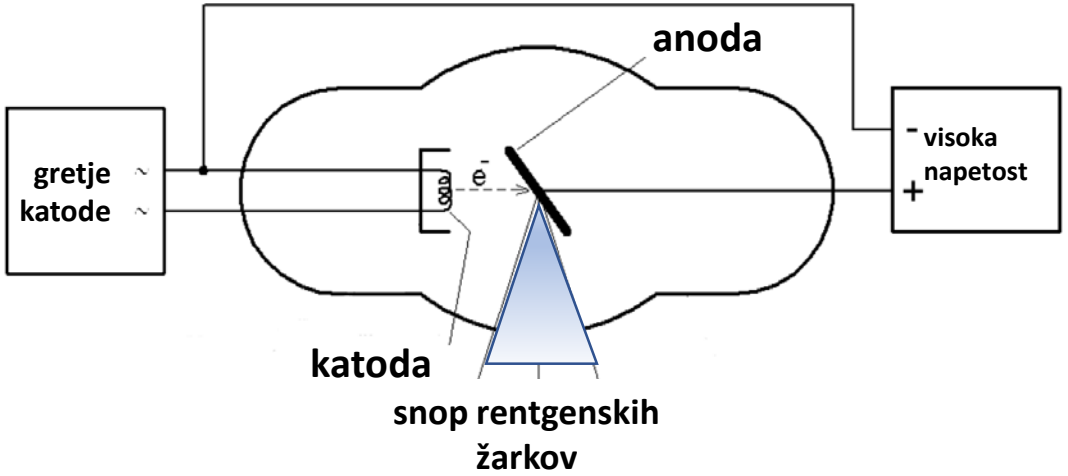
- Pri verižni reakciji stalno nastajajo toplota, sevanje (nevtroni in žarki gama) ter radioaktivni cepitveni produkti.
- Za verižno reakcijo je potrebno zagotoviti ali **zelo visoko koncentracijo cepljivih jeder** (jedrska orožja), ali pogoje pri katerih je **izkoristek nevtronov zelo visok** (jedrski reaktorji)
- V jedrskem reaktorju **znamo verižno reakcijo nadzorovati!**

Radioaktivne in jedrske snovi - kakšna je razlika?

- **Radiaktivne snovi (viri)** vsebujejo radioaktivna jedra:
  - radioaktivna jedra razpadajo in sevajo žarke alfa, beta in gama
  - pojava ne moremo ustaviti – SEVANJE JE STALNO PRISOTNO
- **Jedrske snovi** vsebujejo cepljiva jedra
  - v določenih okoliščinah (ne vedno!) je možno sprožiti VERIŽNO REAKCIJO
  - čiste sevajo zelo malo (npr. sveže jedrsko gorivo)
  - če vsebujejo radioaktivne cepitvene produkte (rabljeno jedrsko gorivo!) močno sevajo predvsem žarke beta in gama
  - sveže jedrsko gorivo ni nevarno (sevanje je minimalno), **rabljeno jedrsko gorivo je smrtno nevarno** in zahteva posebno ravnanje

Rentgensko sevanje

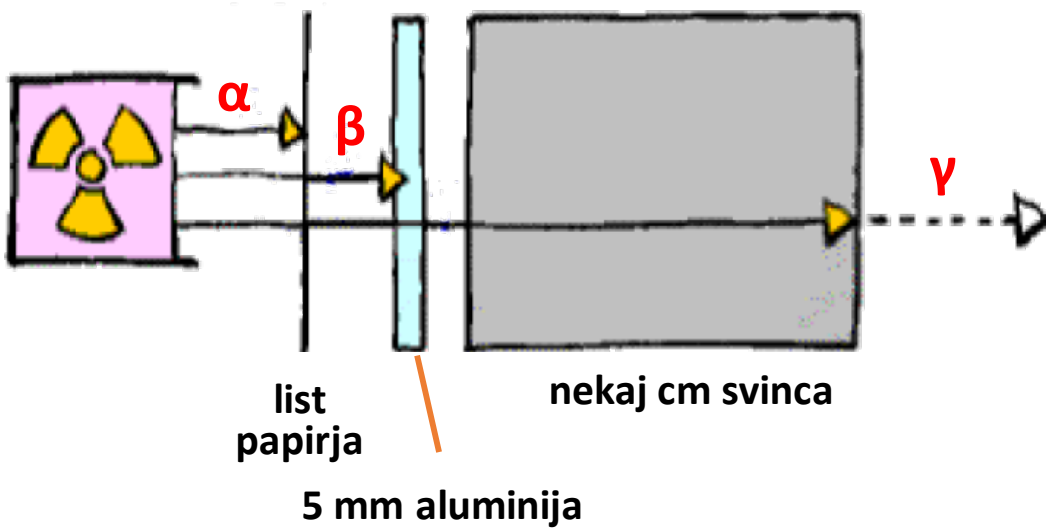
- Elementi rentgenske cevi:
  - **Vir elektronov** – vroča volframova žička (**katoda**),
  - Kovinska tarča (**anoda)**
  - Močno **visoka napetost** za pospeševanje elektronov od vira do tarče



- Rentgensko sevanje nastane pri:
  - **Zaviranju** elektronov v anodi
  - Prehodu elektronov anode med lupinami
- Rentgensko sevanje nastaja **samo takrat, kadar je cev pod napetostjo**
- Cev ne postane radioaktivna zaradi rentgenskega sevanja

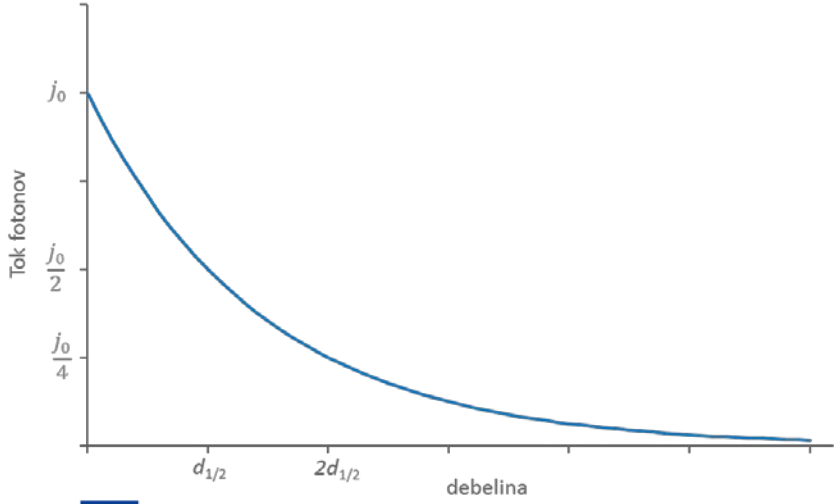
Sodelovanje sevanja v snovi

- Nabiti delci (delci α in delci β) ob svoji poti ionizirajo atome (oz. molekule) in izgubljajo energijo; ko porabijo energijo, se ustavijo v snovi.
  - razdaljo, ki so jo prepotovali, imenujemo **doseg;**
  - doseg je torej **tista debelina snovi,** ki nas **zaščiti pred sevanji α in β**
  - Doseg delcev **α** v zraku je nekaj cm, v tkivu (vodi) 0,05 mm
  - Delci **β** so bolj prodorni, doseg v zraku je več m, v tkivu (vodi) je več mm, v aluminiju nekaj mm



Sodelovanje sevanja v snovi (nad.)

- **Sevanje γ** prav tako povzroča ionizacijo v snovi, vendar je mehanizem zapletenejši.
- Ne moremo definirati dosega, pač pa uporabljamo **poldebelino $d_{1/2}$**
  - to je tista debelina snovi, na kateri se število fotonov (na cm^2) zmanjša na polovico začetne vrednosti



$$d = 0: \qquad j = j_0$$

$$d = d_{1/2}: \qquad j = \frac{j_0}{2}$$

$$d = 2d_{1/2}: \qquad j = \frac{j_0}{4}$$

$$d = 3d_{1/2}: \qquad j = \frac{j_0}{8}$$

...

Primeri poldebelin pri različnih virih

vir	poldebelina $d_{1/2}$ (cm)		
	svinec	železo	beton
$^{99}Tc^{m}$	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
rentgenski žarki	0,05	0,6	2,4

- Za orientacijo: 1 m vode oslabi sevanje gama iz ^{60}Co za 50krat, iz ^{137}Cs za 250krat, iz ^{192}Ir za 500krat in $^{99}Tc^{m}$ za 1000krat!
- Določanje ščita ni preprosto.
- Za nasvet vprašaš **strokovnjaka**!

Ionizirajoča sevanja - pregled

ime (simbol)	značilnost	tipični viri	prodornost
alfa (α)	jedra ^{4}He	težka jedra	zrak: ~cm list papirja
beta (β)	elektroni	cepitveni in aktivacijski produkti	zrak: ~m Al: ~mm
gama (γ)	EM valovanje	skoraj vsi radionuklidi	svinec: ~dm voda: ~m
rentgensko sevanje	EM valovanje	rentgenske cevi	svinec: ~cm voda: ~dm
nevtron (n)	nukleon	reaktor	parafin: ~m voda: ~10 m

Vrednotenje izpostavljenosti sevanju

- Izpostavljenost sevanju ovrednotimo s količino, ki jo imenujemo **doza.**
- Doza je vedno sorazmerna s količino energije, ki jo sevanje odloži pri prehodu skozi snov, preračunana na enoto mase.
- Poznamo različne doze – včasih upoštevamo tudi vrsto sevanja, ki različno poškoduje tkivo, včasih še različno občutljivost različnih organov.
- Enote: gray [Gy], **sievert [Sv]**

Vrednotenje izpostavljenosti sevanju

- **Hitrost doze** nam pove, kako hitro narašča doza med izpostavljenostjo sevanju.
- Hitrost doze je tisto, kar razumemo kot "**jakost sevanja**" (*Kako močno je sevanje pri vratih?*)

- Enote: **sievert na uro [Sv/h]** – kar je zelo velika količina

  manjše količine: μSv/h, mSv/h

DOZA = HITROST DOZE x ČAS

Pretvorbe

AKTIVNOST

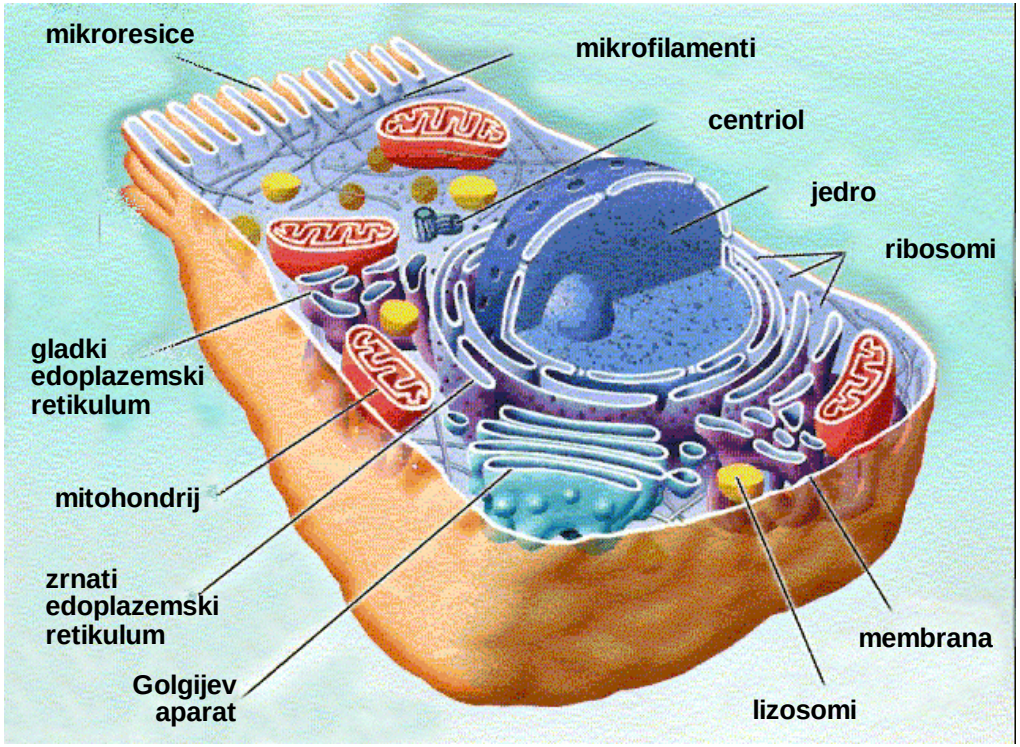
- kBq = 10^3 Bq = 1.000 Bq = 10^3 Bq
- MBq = 10^3 kBq = 1.000 kBq = 10^6 Bq
- GBq = 10^3 MBq = 1.000 MBq = 10^9 Bq VELIKO
- TBq = 10^3 GBq = 1.000 GBq = 10^{12} Bq ZELO VELIKO

DOZA [Sv] (ali tudi hitrost doze, Sv/h)

- nSv = 10^{-3} μSv = 0,001 μSv = 10^{-9} Sv
- μSv = 10^{-3} mSv = 0,001 mSv = 10^{-6} Sv
- mSv = 10^{-3} Sv = 0,001 Sv = 10^{-3} Sv VELIKO
- Sv **ZELO VELIKO!**

Živa snov

- Tkiva in organi živih bitij so zgrajeni iz različnih celic
- Zgradba celice je zapletena, vendar lahko v grobem razlikujemo **jedro**, **citoplazmo z organeli in celično opno**.



Vpliv ionizirajočih sevanj na živa bitja

- Učinki sevanja se manifestirajo skozi ionizacijo atomov in molekul spojin v gradnikih celice.
- Odvisni so od števila in mesta ionizacij znotraj celice
- **Deoksiribonukleinska kislina (DNK oziroma DNA) v jedru** je glavna tarča pri celičnem ubijanju, mutacijah in nastanku raka
- Najbolj občutljive so tiste celice, ki se **hitro delijo** in **niso diferencirane**

Direktni učinek

(sevanje interagira z molekulami DNK)

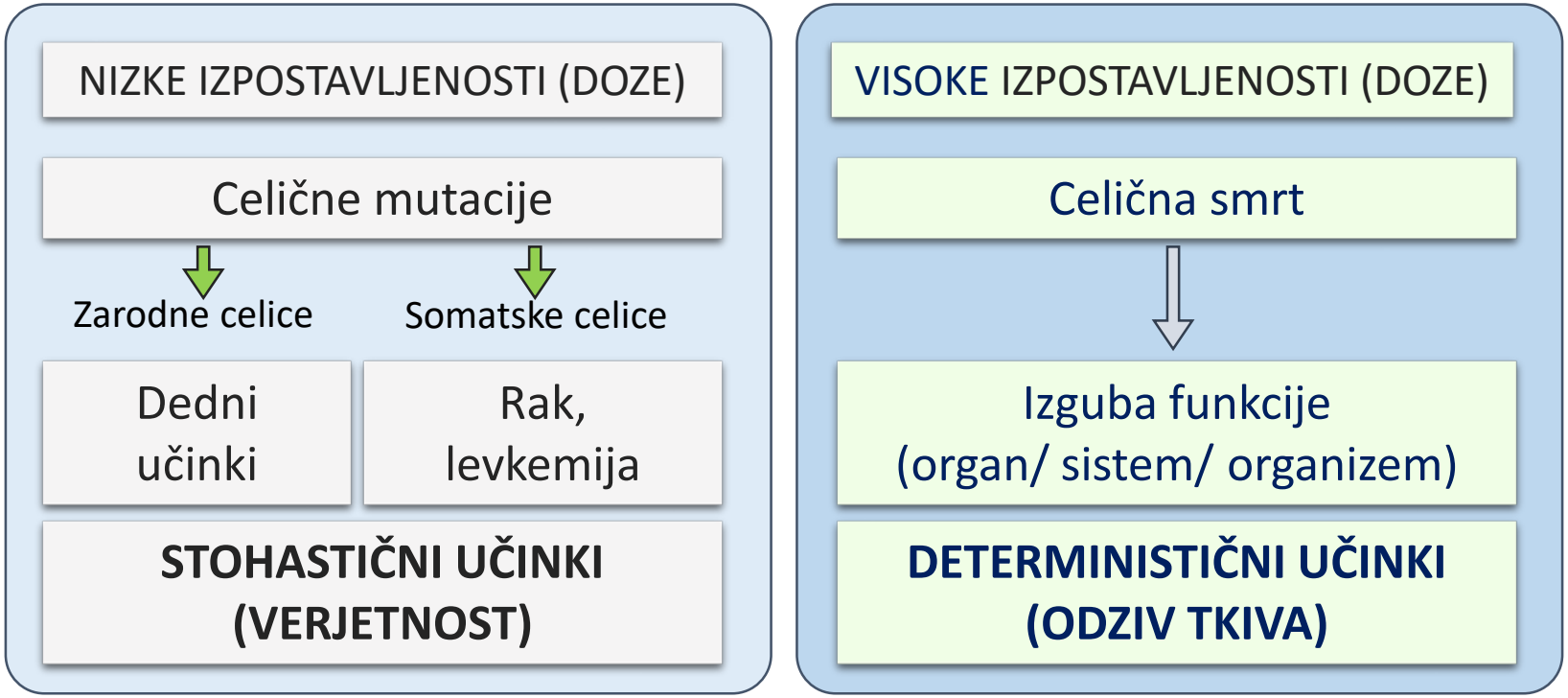
H_2O

Indirektni učinek

(sevanje interagira z vodo in ustvari reaktivne **proste radikale**, ki interagirajo z DNK)

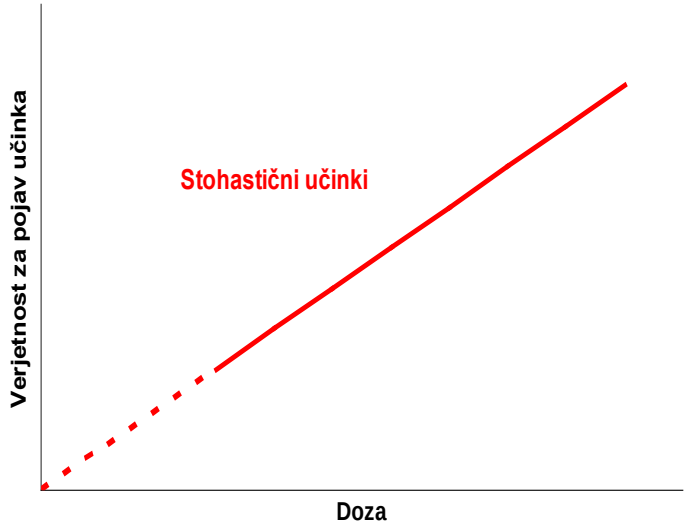
Učinki sevanja

- Na nivoju celic in tkiv delimo učinke sevanja na **stohastične** in **deterministične**



Stohastični učinki

- Pojavijo se **pri vseh dozah**. Za njih je značilno, da:
  - Se pojavijo **naključno**
  - **Verjetnost za pojav** je sorazmerna dozi
  - Obstaja **latentna doba** (leta)
- Stohastični učinki so:
  - Razne vrste raka in levkemija
  - Dedni učinki

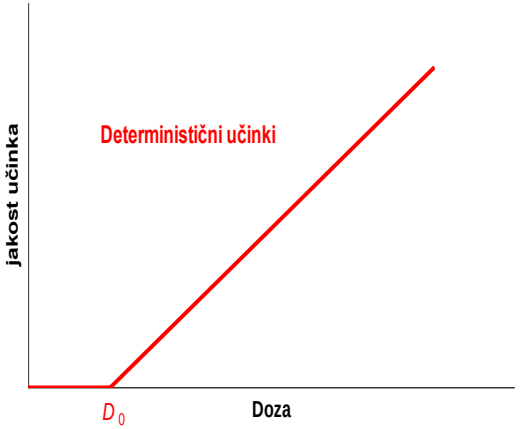


- Količina, ki podaja **verjetnost za pojav stohastičnih učinkov** je **efektivna doza *E***

Efektivna doza *E* je dejansko merilo za tveganje zaradi izpostavljenosti ionizirajočem sevanju.

Deterministični učinki

- Deterministične učinke povezujemo z **visokimi dozami**. Za njih je značilno, da:
  - imajo **prag** (poškodba se pojavi nad neko dozo)
  - **učinek je sorazmeren** dozi
  - pojavijo se **kmalu** po obsevanju (ure, dnevi, tedni, celo meseci)



- Deterministični učinki so:
  - akutni radiacijski sindrom, ARS (pri celotelesnem obsevanju),
  - bolezni sevanja: slabost, bruhanje, izpadanje las, eritem (rdečilo) kože (3-10 Gy), katarakta (poškodba očesne leče).
  - sindromi sevanja: krvni (3-10Gy), prebavnega trakta (10-30 Gy), živčni (>30 Gy).
  - sterilnost (prehodna, trajna)

Deterministični učinki (nad.)

- Ti učinki so vedno posledica izrednih dogodkov.
- Posledice pri akutnem celotelesnem obsevanju

Doza (Gy)	Verjetni učinek
0 – 0,5	**Izrazitih učinkov ni, možne so majhne spremembe v krvni sliki.**
0,6 – 1,2	V 5-10 % primerov se po prvem dnevu pojavi slabost in bruhanje. Resnejših pojavov bolezni ni.
1,3 – 1,7	Po prvem dnevu se pojavi slabost in bruhanje, v 25 % se kažejo simptomi bolezni sevanja. Smrtnih primerov ni.
1,8 – 2,2	V 50 % primerov se pojavi slabost in bruhanje v prvem dnevu. Simptomi bolezni sevanja so izrazitejši. Smrtnih primerov se ne pričakuje.
2,3 – 3,3	V 100 % primerov se v prvem dnevu pojavi slabost in bruhanje. Pojavijo se resni znaki bolezni sevanja.
3,4 – 5,0	Srednja smrtna doza $LD_{50/30}$ – 50 % smrti v 30 dneh.
> 10	Sindromi sevanja. 100 % smrti s časovno zakasnitvijo od nekaj ur do nekaj mesecev.

Primeri izpostavljenosti sevanju

- Značilne doze **globalno** - naravni viri (naravno ozadje!)

Vir	Povprečna letna efektivna doza (mSv)	Tipično območje letnih doz (mSv)
Zunanje obsevanje		
kozmični žarki	0.4	0.3 - 1.0
zemeljski radionuklidi	0.5	0.3 - 0.6
Notranje obsevanje		
inhalacija (predvsem radon)	1.2	0.2 - 10
ingestija	0.3	0.2 - 0.8
Skupno	**2.4**	**1 - 10**

Primeri izpostavljenosti sevanju

- Značilne doze - letne doze posameznikov iz prebivalstva zaradi različnih virov v Sloveniji

Vir	Prispevek
naravno sevanje	2,4 mSv/leto
medicinska diagnostika	0,001 – 10 mSv/leto
poskusne jedrske eksplozije letni maksimum življenjska doza	 0,15 mSv/leto 7,2 mSv
Černobilska kontaminacija v letu 1986	0,72/1,1 mSv/leto (odrasli/otroci)
Černobilska kontaminacija, poskusne jedrske eksplozije in nesreča v Fukušimi (leto 2012)	0,009 mSv (predvsem zunanje sevanje)
NE Krško prebivalcu Krškega	< 0,001 mSv/leto

Primeri izpostavljenosti sevanju (nad.)

- Povprečne letne doze delavcev v Sloveniji v letu 2012

Dejavnost	**Povprečna letna doza [mSv] (upoštevani samo nad nivojem detekcije!)**
NEK	0,79
TRIGA IJS	0,01
industrijska radiografija	1,43
medicina in veterina (skupno)	0,30
nuklearna medicina	0,83
interventna radiologija	0,32
zobni RTG	0,13
letalski prevozi	1,01
kraške jame	3,75

Zaščita pred ionizirajočimi sevanji

- Ionizirajočim sevanjem se ne moremo izogniti (narava!)
- Delo z viri sevanja ali intervencije ob izrednih dogodkih (ID) povzročajo **dodatno izpostavljenost**

Kako se zaščititi?

- **Deterministični učinki** sevanja: doze morajo biti pod pragom!
- **Stohastični učinki** sevanja: uporabljamo **načela varstva pred sevanji:**

1. **Upravičenost:** Uporaba virov samo takrat, kadar je korist večja od škode
2. **Optimizacija**: Velikost osebnih doz, število izpostavljenih ljudi in verjetnost, da pride do izpostavljenosti mora biti tako nizko, kot je to mogoče razumno doseči ob upoštevanju trenutnega tehničnega znanja, ter gospodarskih in družbenih dejavnikov.
3. **Mejne doze (**za poklicno izpostavljene delavce - "normalno delo"): doze, ki se jih ne sme prekoračiti, oz.
   Referenčne ravni (za intervencije): doze, ki se uporabljajo za izpostavljenost ob ID. Ne veljajo kot omejitev, pač pa kot "referenca" za najvišjo dozo pri določenem opravilu med izvajanjem zaščitnih ukrepov.

Letne mejne doze (35 čl. ZVISJV-1)

	Izpostavljeni delavci	Prebivalstvo
efektivna doza	20 mSv/leto	1 mSv/leto
ekvivalentna doza		
- očesne leče	20 mSv/leto	15 mSv/leto
- okončine	500 mSv/leto	
- koža (1cm^2)	500 mSv/leto	50 mSv/leto

- **Naravno sevanje in medicinske izpostavitve niso všteti!**

Načini izpostavljenosti sevanju

- **Zunanje obsevanje**: vir sevanja je izven telesa in sevanje prodira v telo skozi kožo.

- **Notranje obsevanje**: vir sevanja je znotraj telesa. V telo lahko pride na različne načine:
  - z dihanjem (inhalacijo),
  - s hrano, pijačo (ingestijo),
  - skozi kožo, zlasti če je poškodovana.

Načini izpostavljenosti sevanju

- Z **zunanjo izpostavljenostjo** imamo opravka pri **vseh virih** (radioaktivnih virih/snoveh, jedrski materialih, reaktorjih, delujočih rentgenskih aparatih)

- **Notranja izpostavljenost** je praviloma posledica **razpršitve vira** v obliki tekočine, prahu, delcev, aerosolov, in celo v molekularni oz. atomarni obliki (npr. hlapi radioaktivnega joda), ki jih vnesemo v telo.
- Tako razpršene vire običajno imenujemo **kontaminacija** (zraka, površin, predmetov, snovi)
- **Odprti viri: r**adioaktivni viri, pri katerih lahko pride do razpršitve
- **Zaprti viri:** radioaktivni viri, pri katerih ne more priti do razpršitve

Detekcija sevanja

Merjene količine

- Prejeta doza
- Hitrost doze
- Kontaminacija

Merilniki

- Osebni dozimetri
- Merilniki hitrosti doze
- Merilniki kontaminacije

Prejeta doza

- Merilnik: **dozimeter**
- Vrste:
  - **TLD** – laboratorijsko odčitavanje
  - **elektronski** – neposredno odčitavanje, alarmi
- Zazna / meri: **X, γ, β,** (nevtroni)
- Uporaba: **za osebni nadzor ali nadzor okolja**
- Merilno območje: **1μSv in več**

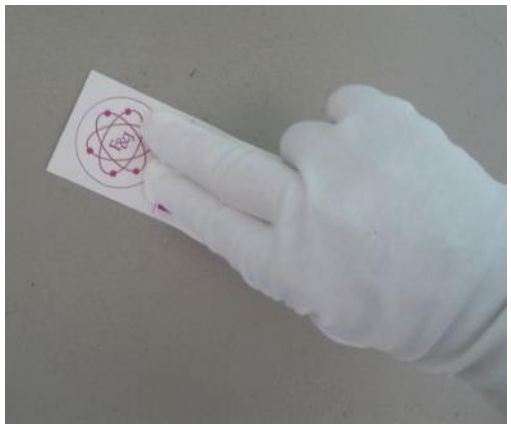
Hitrost doze

- <u>Zazna / meri:</u> X, γ, β, (nevtroni)
- <u>Merilna območja:</u>
  - Nizko: do 100 μSv/h
  - Srednje: do 10 **m**Sv/h
  - Visoko: do 10 Sv/h
- <u>Naravno ozadje:</u> **0,1 μSv/h** (~1 mSv/leto)

Merilniki površinske kontaminacije

V vednost! Kontaminacijo običajno merijo strokovne službe.

- Zazna / meri: **α, β/γ**
- Enote: **cps** ali **Bq/cm²**
  - za zvezo moramo poznati radionuklid
- Naravno ozadje: **15 – 20 cps (β/γ)**



Uporaba merilnikov sevanja

- Vsi interventni delavci morajo nositi osebni dozimeter (TLD)
  - Pravilno nošenje **pod zaščitno obleko** v višini prsi!
- Če je dostopen, se uporablja osebni elektronski dozimeter, ki mora imeti pravilno nastavljena alarma za hitrost doze in dozo.
- Za merjenje hitrosti doze (in doze) se uporabljajo ročni merilniki ChemPRO z dodatnim modulom, PDS-100. AUTOMESS 6150, SSM1 (vendar brez dodatnega detektorja za kontaminacijo).

Nivoji sevanja pri izrednih dogodkih in zahtevani ukrepi

Izmerjena hitrost doze	Ukrepanje
~ 0,1 µSv/h	Naravno ozadje
> 0,5 µSv/h	Povišana radioaktivnost, **uporaba dozimetrov in obveščanje pristojnih služb**
> 100 µSv/h	Resen radiološki dogodek, **vzpostavitev con**
> 1 mSv/h	Prepovedano nepotrebno zadrževanje
> 10 mSv/h	Izjemna pozornost! Dovoljeni le skrbno načrtovani in nadzorovani vstopi.

Referenčne ravni za efektivno dozo za delavce, ki izvajajo zaščitne ukrepe (UV2)

Vrsta ukrepa	Referenčna raven
– Reševanje življenj, – preprečevanje taljenja reaktorske sredice, – preprečevanje velikega izpusta radioaktivnih snovi,	500 mSv
– preprečevanje resnih zdravstvenih poškodb, – varstvo pred veliko skupinsko dozo, – preprečevanje velike škode, – popravilo varnostnih sistemov jedrskega reaktorja, – monitoring hitrosti doze,	100 mSv
– krajša opravila, povezana z vzpostavitvijo prvotnega stanja, – izvajanje takojšnjih zaščitnih ukrepov, – vzorčevanje v okolju,	50 mSv
– daljša opravila, povezana z vzpostavitvijo prvotnega stanja, – rutinsko delo pri intervencijah, – dela, ki niso neposredno povezana z izrednim dogodkom.	20 mSv

Kakšni bi bili priporočljivi alarmi?

Vrsta ukrepa	Referenčna raven
– Reševanje življenj, – preprečevanje taljenja reaktorske sredice, – preprečevanje velikega izpusta radioaktivnih snovi,	500 mSv
– preprečevanje resnih zdravstvenih poškodb, – varstvo pred veliko skupinsko dozo, – preprečevanje velike škode, – popravilo varnostnih sistemov jedrskega reaktorja, – monitoring hitrosti doze,	100 mSv
– krajša opravila, povezana z vzpostavitvijo prvotnega stanja, – izvajanje takojšnjih zaščitnih ukrepov, – vzorčevanje v okolju,	50 mSv
– daljša opravila, povezana z vzpostavitvijo prvotnega stanja, – rutinsko delo pri intervencijah, – dela, ki niso neposredno povezana z izrednim dogodkom.	20 mSv

Izmerjena hitrost doze	Ukrepanje
~ 0,1 µSv/h	Naravno ozadje
> 0,5 µSv/h	Povišana radioaktivnost, **uporaba dozimetrov in obveščanje pristojnih služb**
> 100 µSv/h	Resen radiološki dogodek, **vzpostavitev con**
> 1 mSv/h	Prepovedano nepotrebno zadrževanje
> 10 mSv/h	Izjemna pozornost! Dovoljeni le skrbno načrtovani in nadzorovani vstopi.

Priporočljivi alarmi

Opozorilni alarmi za prisotnost sevanja:

- Prisotnost radioaktivne snovi: 0,5 μSv/h
- Prisotnost močnejšega vira sevanja: 100 μSv/h

Alarmi:

- Hitrost doze: 1 mSv/h
- Prejeta doza: 1 mSv

  (20 mSv za rutinsko delo pri intervenciji, 50 mSv za izvajanje takojšnjih zaščitnih ukrepov)
- Doza povratka: 10 mSv

Merilniki sevanja, ki jih imate gasilci

	Merilno območje		Alarmi		
Merilnik	**HD**	**D**	**HD**	**D**	**TurnBack**
PDS	0,01 µSv/h - 100 µSv/h		Standard: 0,5 µSv/h (2s) or 0,3 µSv/h (5s) Sensitive: 0,1 µSv/h (2s) or 0,05 µSv/h (5s) **Custom:** … - 0,99 µSv/h (2s, 5s) (**0,5 µSv/h**) **Danger:** 25 µSv/h - **100** µSv/h		
Automess	0,1 µSv/h - 10 mSv/h	0 µSv - 100 mSv	Fiksni 7,5, 25, 100 µSv/h 2, 3 mSv/h + en po izbiri (**1 mSv/h**)	Fiksni: **1** ali 2 **mSv** + en po izbiri (**10 mSv**)	
ChemPro	0,04 µSv/h - 100 mSv/h		Po izbiri **(1 mSv/h)**	Po izbiri **(1 mSv)**	Mora biti manjši kot alarm za dozo
RAD60	5 µSv/h - 3 Sv/h	1 µSv - 10 Sv	10, 100 µSv/h **1**, 10, 100 **mSv/h** 1 Sv/h	10 µSv, 100 µSv 1 mSv, **10 mSv**, 100 mSv 1 Sv	

Merilniki sevanja, ki jih imate gasilci

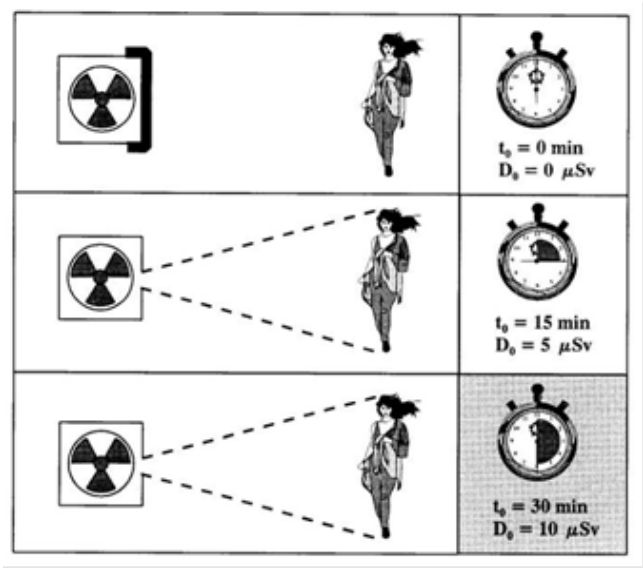
Merilnik	Nastavitve
PDS	Profile: **routine** / expert (psswd: 111) Sensitivity settings: **Stnd**/Sens/Cstm Mode: Detection (5s integration) / Search (1s integration)
	NORM: 40K, 226Ra+, 232Th+ Medical: 18F, 51Cr, 67Ga, 75Se, 99mTc, 111In, 123I, 201Tl Industrial: 22Na, 57Co, 60Co, 133Ba, 137Cs, 152Eu, 192Ir, 241Am SNM: 235U, 238U, 239Pu
Automess	
ChemPro	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!
RAD60	**DOZIMETER!**

Zaščita pred zunanjo izpostavljenostjo

IZPOSTAVLJENOST	**=**	**JAKOST SEVANJA**	**×**	**ČAS IZPOSTAVLJENOSTI**
(doza, mSv)		**(hitrost doze, mSv/h)**		**(h)**

- **Čas**:
  - PREJETA DOZA JE SORAZMERNA ČASU IZPOSTAVLJENOSTI
- **Razdalja**:
  - HITROST DOZE SE ZMANJŠUJE S POVEČANJEM RAZDALJE OD IZVORA
- **Ščit**:
  - ŠČIT ZMANJŠA HITROST DOZE

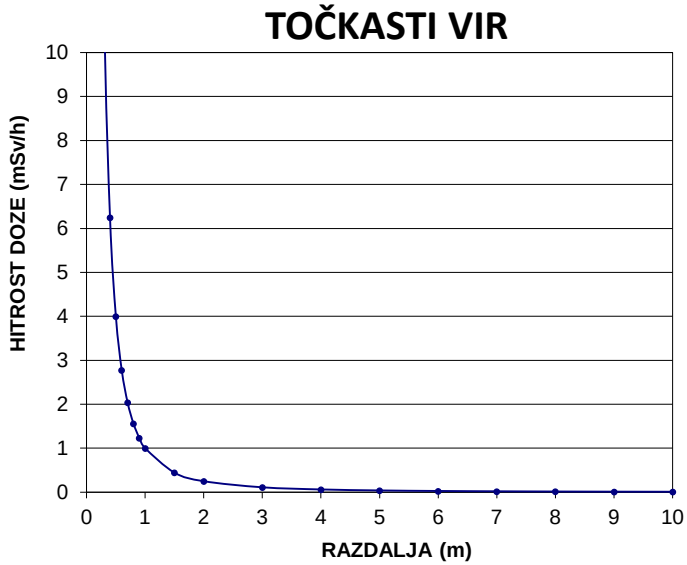
Zaščita pred zunanjo izpostavljenostjo (nad.)



- **Čas kot zaščita**
  - Hitrost dela
  - PRIPRAVA DELA!
    - natančno planiranje in organizacija dela (predhodna razčlenitev opravil),
    - usposabljanje na modelih,
    - optimizacija zaščitne obleke
  - Omejitev zadrževanja v polju vira na dejanski čas opravljanja dela
  - Daljinsko komuniciranje
  - Porazdelitev dela med več delavcev

Zaščita pred zunanjo izpostavljenostjo (nad.)

- **Razdalja kot zaščita**
  - Pri majhnih virih (“točkastih”) se hitrost zmanjšuje s kvadratom razdalje.
    - To praktično velja za vse vire, ko smo od njih oddaljeni več, kot je njihova dimenzija
  - Pri velikih virih (npr. tovornjak poln radioaktivne snovi, veliko razlitje, ali velika kontaminirana površina je odvisnost manj izrazita, običajno upoštevamo linearno odvisnost



Droben / majhen vir: $\dot{H} \propto \frac{1}{r^2}$

Razsežen vir: $\dot{H} \propto \frac{1}{r}$

- **Pri majhnih razdaljah hitrost doze močno naraste, zato se virom ne približujemo, ali poskušamo kakorkoli ravnati z njimi brez primerne opreme!**

Zaščita pred zunanjo izpostavljenostjo (nad.)

- **Ščit kot zaščita**
  - Med nas in vir postavimo snov, ki zadrži (beta), ali oslabi (gama, nevtronsko) sevanje.
  - Učinkovitost ščita je odvisna od vrste vira in od debeline ščita - vsaka snov ni učinkovit ščit (**povprašaj strokovnjaka**!)
  - Primer učinkovitosti ščita za gama in nevtrone (poldebeline)

Snov	^{137}Cs (žarki gama)	^{241}Am:Be (nevtroni)
Beton	5 cm	11 cm
Svinec	0,7 cm	(ni primeren)

UPORABA ŠČITA IN RAZDALJE ZA ZAŠČITO PRI RADIOGRAFSKI NEZGODI

Zaščita pred notranjo izpostavljenostjo

- Po vnosu radioaktivnih snovi v telo je izpostavljenost odvisna od **načina vnosa in kemijske oblike oz. kemijskih značilnosti** spojine (snovi) z radioaktivnim materialom.
  - nekateri izotopi se nabirajo v ciljnih organih (jod, kalcij), nekateri enakomerno po telesu.
  - Sevanja alfa in beta se absorbirajo lokalno, gama "pobegne" in obseva tudi druge organe
  - Po stopnji nevarnosti: **alfa sevanje> beta sevanje> gama sevanje**
  - Po vnosu se koncentracija radionuklidov v telesu s časom manjša zaradi radioaktivnega razpada in izločanja

Zaščita pred notranjo izpostavljenostjo

- **Direktna meritev doze po vnosu ni mogoča**, potrebni so izračuni in ocene
  - Dozo lahko **ocenimo, če poznamo vneseno aktivnost**
  - **Predvideno efektivno dozo $\boldsymbol{E}$** ocenimo, če vneseno aktivnost pomnožimo z doznimi faktorji, ki so navedeni v zakonodaji:

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

  - Kjer je $\boldsymbol{Ac_0}$ podihana ali zaužita aktivnost (Bq), $\boldsymbol{h(g)}$ pa dozni faktor (Sv/Bq)
  - Podatek o vneseni aktivnosti običajno dobimo iz ocene kontaminacije zraka ali površin in časa izpostavitve oz dela.
  - Ocena vnosa je možna tudi z meritvijo na merilniku celotelesne aktivnosti (Whole Body Counter, WBC), z meritvijo aktivnosti ščitnice (za jod), ali z meritvijo aktivnosti izločkov.

Zaščita pred notranjo izpostavljenostjo

- Po vnosu radioaktivnih snovi v telo na razpad ne moremo vplivati, možnost vpliva na izločanje je omejena
  - Edina možnost je **preprečitev vnosa**
- Če obstaja možnost kontaminacije, je potrebno uporabljati **osebno zaščitno opremo in respiratorno zaščito**
  - Le-ta je namenjena **preprečitvi kontaminacije kože** (*zaščitna oblačila*)
  - V primerih povečane kontaminacije zraka prispeva **omejitvi vnosa radioaktivnih snovi z inhalacijo** (*dihalna ali respiratorna oprema*).
  - Pomaga tudi pri zmanjševanju širjenja kontaminacije, vendar **ne zagotavlja zaščite pred zunanjim sevanjem**.

Kontaminacija je nevidna!

- Za potrditev prisotnosti kontaminacije potrebujemo primerne merilnike
- Kdaj lahko pride do kontaminacije okolja
  - pri **hudih nesrečah pri prevozu**, pri katerih pride do poškodbe embalaže
  - pri **požarih ali drugih izrednih dogodkih** v objektih, kjer so **prisotne radioaktivne snovi**
  - pri **težkih jedrskih nesrečah**, pri katerih pride do sproščanja radioaktivnih snovi v okolje

Osebna zaščitna oprema

- Za roke:
  - laboratorijske rokavice
  - gumijaste rokavice
- Za noge:
  - Posebna obuvala
  - Prevleke za čevlje
- Za telo:
  - bombažni kombinezon
  - tyvek
  - PVC obleka

Respiratorna zaščita

- Filtriranje zraka
  - respiratorji
  - polobrazna maska
  - celoobrazna maska

- Dovod čistega zraka
  - skafander (dovod zraka iz nekontaminiranega območja)
  - dihalni aparat (lastni dovod čistega zraka)

Osebna zaščitna oprema (gasilci)

- Če ni požara, se ne uporablja protipožarnih oblek, ker bi jih bilo potrebno v primeru kontaminacije zavreči!
- Pri izvajanju nalog vezanih na podporo evakuaciji (NEK) zadošča zaščitna oprema, ko se uporablja pri intervencijah ob radioloških nesrečah (zaščita pred kontaminacijo in respiratorna zaščita).
- Zadoščajo zaščitne obleke, odporne proti lebdečim delcem ali param nevarnih tekočin (**2a. zaščitna stopnja)**, ki dodatno izpolnjujejo zahteve standarda SIST EN 1073-2: Zaščita pred radioaktivnimi delci (oznaka za zaščito pred radioaktivnimi delci je)
- Obleke **2b. zaščitne stopnje** je potrebno uporabljati samo izjemoma (delo znotraj, ali v neposredni bližini objekta)

Slika 6: Obleke 2b. zaščitne stopnje

Osebna zaščitna oprema (nad.)

- Uporaba **škornjev** je obvezna, stiki morajo biti prelepljeni s trakom
- Vedno se uporabljajo **laboratorijske (tanke zaščitne) rokavice**, po potrebi pa tudi dodatne močnejše gumijaste rokavice. Stiki se prelepijo, po potrebi se menjajo vrhnje rokavice.
- Za zaščito dihal se uporablja celoobrazna maska, vendar samo če obstaja verjetnost delovanja v radioaktivnem oblaku, dviga kontaminacije s tal, ali je to potrebno zaradi drugih nevarnosti.
- Masko je možno tudi večkrat uporabiti, vendar je potrebno preveriti filter/filtre in jih po potrebi zamenjati.
- Možna je tudi uporaba opreme za enkratno uporabo (Tyvek, respirator), vendar mora ta ustrezati standardom

Prevoz radioaktivnih snovi

- Osnovno pravilo: **POŠILJATELJ JE ODGOVOREN ZA ZAGOTOVITEV VARNOSTI MED PREVOZOM!**
- **Tovorek** = embalaža + vsebina
  - Varnost je vgrajena v embalažo pošiljke
- Majhno tveganje izhaja iz **omejitve aktivnosti** in izbire **ustrezne embalaže z upoštevanjem vrste vira**.
- Osnovna delitev radioaktivnih snovi:
  - **Snov posebne oblike** (*Special form material*, "zaprti vir", v pogojih vseh predvidljivih nesreč ohranijo integriteto in ne povzročajo kontaminacije)
  - **Snov, ki ni posebne oblike** ("odprti viri", viri, ki ne izpolnjujejo zahteve za snov posebne oblike)

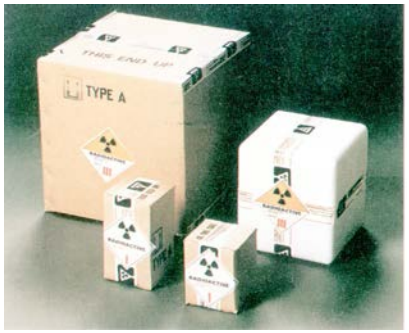
Prevoz radioaktivnih snovi

- **Izvzeti tovorki**: vsebujejo **majhne količine** radioaktivnih snovi , ki so izvzete iz strogega nadzora
  - posebno označevanje ni potrebno
  - pri odpiranju mora biti razvidno, da paket vsebuje (izvzeto) radioaktivno snov ali predmet

- **Industrijski tovorki** so namenjeni prevažanju snovi, ki imajo nizko specifično aktivnost (LSA snovi) ali so samo površinsko kontaminirane (SCO snovi).
  - Prenesejo tudi manjše nezgode
  - To so lahko različni nizkoradioaktivni odpadki, ruda ali NORM

Prevoz radioaktivnih snovi

- **Tovorki tipa A** so namenjeni varnemu in ekonomičnemu prevozu relativno majhnih količin radioaktivnih snovi.
  - Količine oz. aktivnosti so dejansko določene za vse radionuklide
  - Morajo ohraniti integriteto pri **neprimernem ravnanju, ki je še "normalno".** To so **nezgode, ki so verjetne med prevozom**: padec z vozila ali podobne višine, udarec z ostrim predmetom, ki lahko prebije površino, izpostavljenost dežju, postavljanje drugega tovora na paket.



Troxler sonda

Prevoz radioaktivnih snovi

- Tovorki **tipa B** (**Type B(U)** in **Type B(M)**) so namenjeni prevozu **večjih količin** radioaktivnih snovi.
  - Dejansko je meja aktivnosti določena za vsako zasnovo embalaže posebej
- V paketih tipa B se prevažajo viri za industrijsko radiografijo, tehnecijevi generatorji (^{99}Mo), naprave za obsevanje, rabljeno gorivo, radioaktivni odpadki in ostali močni viri;
- Tovorki tipa B morajo prenesti **učinke težkih nesreč**
  - Embalaža se testira z zaporedjem izjemno zahtevnih preizkusov: **mehanski**: preizkus padca z 9 m, padec na drog premera 15 cm z 1 m, ….., **toplotni**: izpostavitev temperaturi 800°C za 30 min, **preizkus potopitve**: potopitev v globino 15 m za čas osem ur.

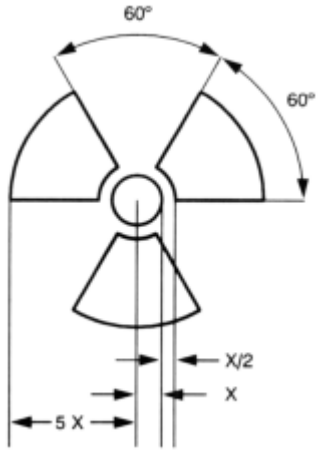
Prevoz radioaktivnih snovi

Primeri embalaže tipa B

Tc-99m generator

Označevanje tovorkov

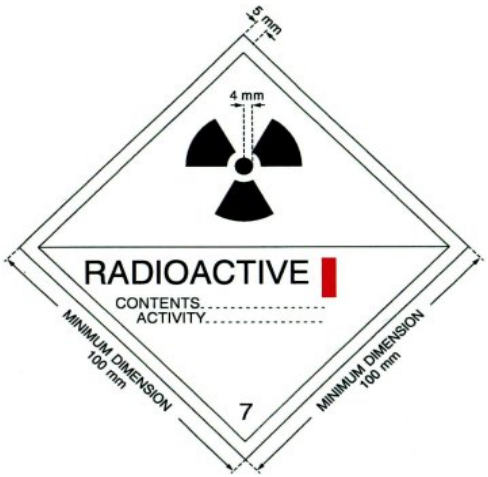
- Tovorki morajo biti označeni z naslednjimi podatki:
  - znak triperesne deteljice
  - razpoznavna štev ZN in “UN” spredaj
  - tehnično ime
  - opredelitev zasnove paketa (TYPE IP-1, TYPE IP-2, TYPE IP-3, TYPE A, TYPE B(U), TYPE B(M))



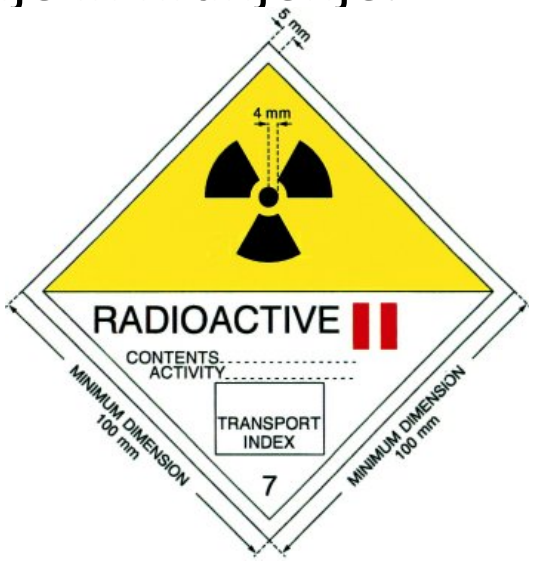
- Vsebina dokumentacije, ki spremlja tovorek, je natančno določena, vsebuje tudi navodila za ukrepanje v sili)
- Na tovorku ne sme biti nevezane kontaminacije

Označevanje tovorkov

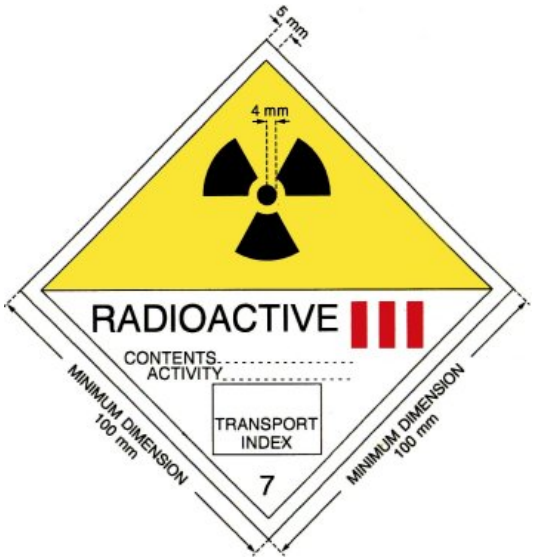
- Kategorije tovorkov
  - So določene na osnovi **jakosti sevanja na razdalji 1 m** od površine in predstavljajo navodilo prevoznikom in delavcem za varno rokovanje in hranjenje.



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



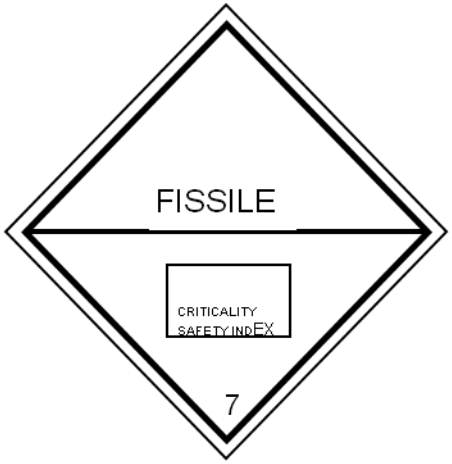
Na površini: 0,5 mSv/h – 2 mSv/h
1m od površine: 0,01 mSv/h – 0,1 mSv/h

Označevanje tovorkov

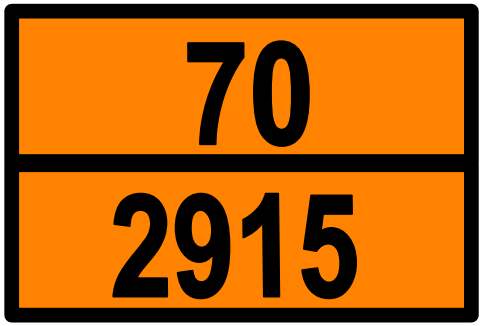
- **Transportni indeks (TI)**
  - Podatek o hitrosti doze za točno določen tovorek.

    Hitrost doze na 1 m v µSv/h = Transportni indeks x 10
- Kategorije:
  - **I-BELO** transportni indeks **0**
  - **II-RUMENO** transportni indeks **med 0 in 1**
    (na 1 m od površine do 10 µSv/h)
  - **III-RUMENO** transportni indeks **med 1 in 10**.
    (na 1 m od površine od 10 µSv/h do 100 µSv/h)
- Transportni indeks **za več tovorkov v vozilu** se sešteva, vendar **ne sme preseči 10.**

Označevanje tovorkov in vozil



- Pri prevozu **cepljivih** (jedrskih) snovi se na tovorku nahaja tudi ustrezna nalepka (**dodatno** nalepkam za kategorijo)
- **Na vozilu** se uporabljajo table z oznakami "RADIOACTIVE" in "FISSILE"), ter v določenih primerih oranžna tabla, z oznako nevarnosti (70 – radioaktivna snov, 768 rad. snov, strupena, jedka, 77 – zelo močna rad. Snov, ali 78 – rad. snov, jedka) in UN številko (tabela!)



IZVLEČEK IZ SEZNAMA RAZPOZNAVNIH ŠTEVILK ZDRUŽENIH NARODOV, TEHNIČNA IMENA IN OPISI, STRANSKA TVEGANJA

Št. ZN	TEHNIČNO IME in opis	Stranska tveganja
2910	RADIOAKTIVNA SNOV, IZVZETI TOVOREK - OMEJENA KOLIČINA SNOVI	
2911	RADIOAKTIVNA SNOV, IZVZETI TOVOREK - INSTRUMENTI ali PREDMETI	
2909	RADIOAKTIVNA SNOV, IZVZETI TOVOREK - PREDMETI, IZDELANI IZ NARAVNEGA ali OSIROMAŠENEGA URANA ali NARAVNEGA TORIJA	
2908	RADIOAKTIVNA SNOV, IZVZETI TOVOREK - PRAZNA EMBALAŽA	
2912	RADIOAKTIVNA SNOV, NIZKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-I), necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	
3321	RADIOAKTIVNA SNOV, NIZKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-II), necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	
3322	RADIOAKTIVNA SNOV, NIZKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-III), necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	
2913	RADIOAKTIVNA SNOV, POVRŠINSKO KONTAMINIRANI PREDMETI (SCO-I ali SCO-II), necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	
2915	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA A ni posebna oblika, necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	
3332	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA A, POSEBNA OBLIKA, necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	
2916	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA B(U), necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	
2917	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA B(M), necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	
3323	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA C, necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	

IZVLEČEK IZ SEZNAMA RAZPOZNAVNIH ŠTEVILK ZDRUŽENIH NARODOV, TEHNIČNA IMENA IN OPISI, STRANSKA TVEGANJA (nad.)

Št. ZN	TEHNIČNO IME[a] in opis	Stranska tveganja
2919	RADIOAKTIVNA SNOV, PREVAŽANA PO IZREDNEM DOGOVORU, necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	
2978	RADIOAKTIVNA SNOV, URANOV HEKSAFLUORID, necepljiva ali cepljiva-izvzeta[b]	jedke (UN razred 8)
3324	RADIOAKTIVNA SNOV, NIZKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-II), CEPLJIVA	
3325	RADIOAKTIVNA SNOV, NIZKA SPECIFIČNA AKTIVNOST (LSA-III), CEPLJIVA	
3326	RADIOAKTIVNA SNOV, POVRŠINSKO KONTAMINIRANI PREDMETI (SCO-I ali SCO-II), CEPLJIVA	
3327	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA A, CEPLJIVA, ni posebna oblika	
3333	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA A, POSEBNA OBLIKA, CEPLJIVA	
3328	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA B(U), CEPLJIVA	
3329	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA B(M), CEPLJIVA	
3330	RADIOAKTIVNA SNOV, TOVOREK TIPA C, CEPLJIVA	
3331	RADIOAKTIVNA SNOV, PREVAŽANA PO IZREDNEM DOGOVORU, CEPLJIVA	
2977	RADIOAKTIVNA SNOV, URANOV HEKSAFLUORID, CEPLJIVA	jedke (UN razred 8)

Nesreča pri prevozu

Nesreča pri prevozu

- Uporaba znanega pristopa **PIRS** (**P**repoznati, **I**zolirati, **R**ešiti, omejiti, **S**anirati)
- **PREPOZNATI**: oznake, ki vsebujejo triperesno deteljico ali oranžne table, z oznako nevarnosti 70) pomenijo **prisotnost radioaktivnih snovi**.
  - Jedrske/cepljive snovi so še dodatno označene, vendar se prevažajo po posebnem dogovoru.

- Dovoljenja za prevoz izdajata Uprava RS za jedrsko varnost in Uprava RS za varstvo pred sevanji (medicina!) – oni imajo podatke o prevozu, vendar nimajo stalne dežurne službe
- Hitro ukrepanje zahteva prepoznavo vrste pošiljke na osnovi dostopnih podatkov (UN številka, kategorija tovorka)

Poenostavljena shema sevalnega tveganja za nesreče pri prevozu

Pogoji	Tip tovorka ali vir	Prevladujoče tveganje	Nivo tveganja
Tovorek je nepoškodovan	I-WHITE, II-YELLOW, III -YELLOW	Zunanja izpost.	Nizko
	Type B Rabljeno gorivo	Zunanja izpost.	Srednje
Tovorek je poškodovan ali pušča	Neznan	Zunanja izpost. Površinska kontam.	Nizko do visoko
	I-WHITE, II-YELLOW, III -YELLOW	Zunanja izpost. Površinska kontam.	Srednje do visoko
	Type B Rabljeno gorivo	Zunanja izpost. Površinska kontam.	Visko
Ogenj ali eksplozija - prisotno razlitje ali dim	Type B Rabljeno gorivo	Inhalacija Zunanja izpost. Površinska kontam.	Srednje do visoko

Poenostavljena shema sevalnega tveganja za nesreče pri prevozu

- Na osnovi UN številk

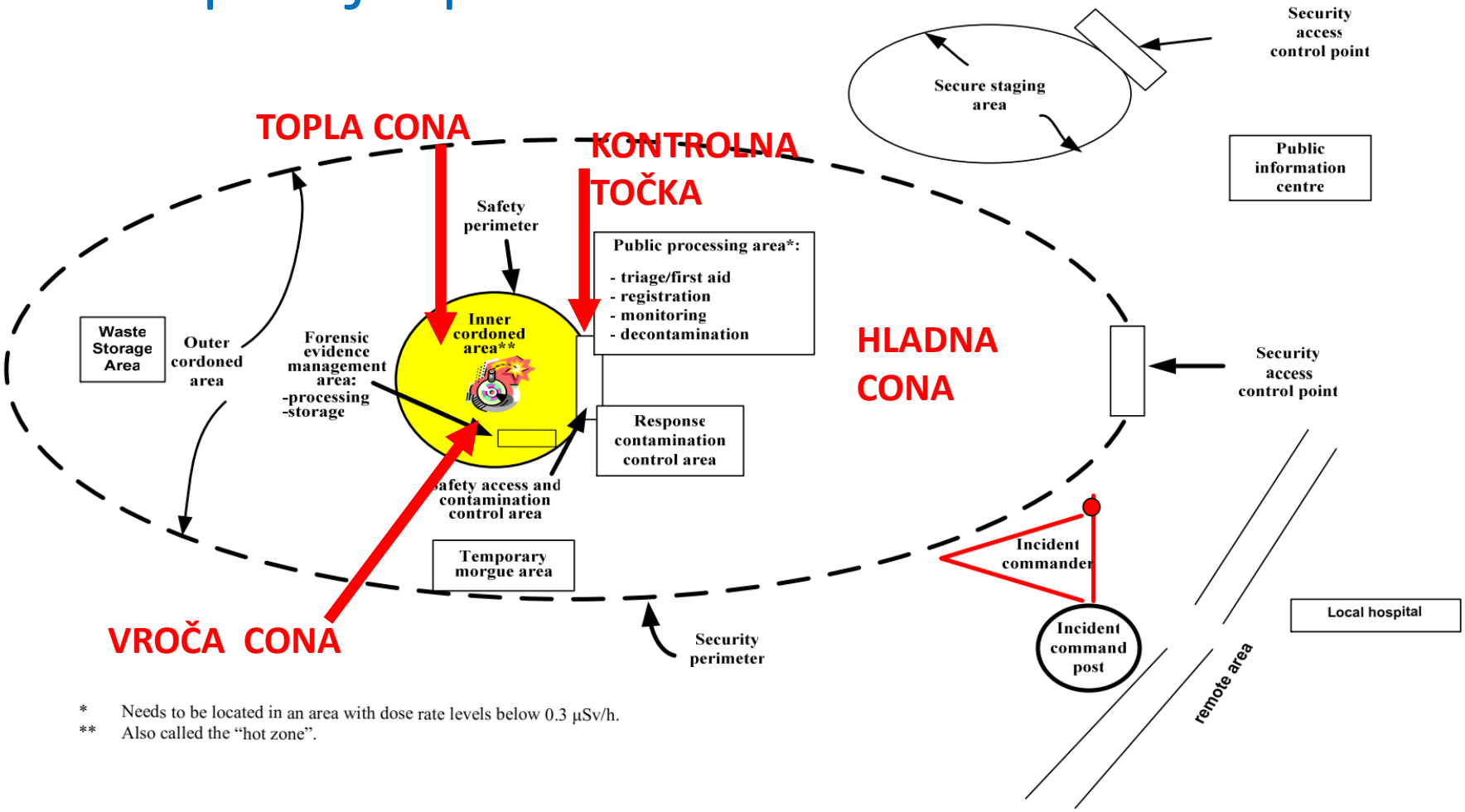
UN številka	Možne dodatne oznake	Tveganje
2908, 2909, 2910, 2911	Ni	**Ni nevarno**
2912, 2913, 3321, 3322, 3324, 3325, 3326	Type IP-1, Type IP-2, LSA, SCO	**Morebiti nevarno**, **če** je snov vdihnjena ali zaužita
2915, 3327, 3332, 3333	Type A	**Morebiti nevarno**
2916, 2917, 3328, 3329	Type B(U), Type B(M)	
3323, 3330	Type C	

Ukrepanje pri nesreči

<u>IZOLIRATI: Vzpostavitev con oz. območij</u>

- Vroča cona (mesto nesreče)
- Topla cona (območje direktne nevarnosti)
- Vstopna kontrolna točka
- Izstopna dekontaminacijska točka
- Hladna cona
- Komandno mesto
- Mesto za reševalce

Ukrepanje pri nesreči



* Needs to be located in an area with dose rate levels below 0.3 µSv/h.
** Also called the "hot zone".

FIG. 3. Generic layout of the response facilities and locations within areas established for a radiological emergency[23].

Ukrepanje pri nesreči (cone/območja)

Stanje	Območje blokiranja (vroča cona)
Nezaščiten ali poškodovan potencialno nevaren vir sevanja ali manjše razlitje	Območje s polmerom 30 m okoli vira/razlitja
Večje razlitje iz potencialno nevarnega vira sevanja	Območje razlitja in 100 m naokoli
Požar, eksplozija ali dim v povezavi s potencialno nevarnim virom sevanja	Območje s polmerom 300 m
Sum na eksplozivno sredstvo ('umazana bomba') – eksplodirano ali neeksplodirano	Območje s polmerom 400 m ali več – vpliv eksplozije
Na osnovi radioloških meritev	
Meritve hitrosti doze dosežejo (in/ali presežejo) 100 µSv/h*	Na robu območja s hitrostjo doze 100 µSv/h

* Hitrost doze je merjena 1 m nad tlemi

Ukrepanje pri nesreči (radiološki nivoji)

- Nivoji in osnovna navodila za ukrepanje

Izmerjena hitrost doze	Ukrepanje
~ 0,1 µSv/h	Naravno ozadje
> 0,5 µSv/h	Povišana radioaktivnost, **uporaba dozimetrov in obveščanje pristojnih služb**
> 100 µSv/h	Resen radiološki dogodek, **vzpostavitev con**
> 1 mSv/h	Prepovedano nepotrebno zadrževanje
> 10 mSv/h	Izjemna pozornost! Dovoljeni le skrbno načrtovani in nadzorovani vstopi.

Ukrepanje pri nesreči

REŠITI, OMEJITI: izvajanje zaščitnih ukrepov

- **Prva naloga je reševanje ponesrečencev – čakanje ni upravičljivo!**
  - Če obstaja sum kontaminacije (možna/potrjena poškodba embalaže, puščanje) je potrebno ponesrečenca po osnovni oskrbi zaviti v folijo in obvestiti reševalno službo o sumu kontaminacije!
- Izvajanje ostalih ukrepov glede na oceno situacije oz. značilnosti in stanje vira.
- Nujni ukrepi (gašenje, omejitev razlitja) se izvajajo takoj, izvajanje nenujnih ukrepov se zamakne do prihoda mobilne enote oz. ustrezne usposobljene ekipe
- Uporaba sredstev mora upoštevati vrsto vira (UN številka, če je znana).
- Pri delu je potrebno upoštevati metode zaščite pred zunanjim sevanjem (čas, razdalja, ščit) ter uporabljati osebno zaščitno opremo (**obleka 2a. zaščitne stopnje, respiratorna zaščita v primeru možne kontaminacije)**

Ukrepanje pri nesreči pri prevozu

POMEMBNO

- Sevanje oz. kontaminacija sta samo **del tveganj**, in je pri zaščitnih ukrepih upoštevati tudi ostala pomembna tveganja
- Izvajalci ukrepov morajo uporabljati **osebne dozimetre**, vendar jih ti ne ščitijo pred sevanji.
  - Osebni dozimetri so namenjeni beleženju doze in jih je potrebno po intervenciji “prečitati” in podatke zabeležiti zaradi zdravstvenega nadzora
- Na kontrolni točki je potrebno preverjati **kontaminacijo** vseh vpletenih in opreme.
  - **Vsi vpleteni in vsa oprema morajo biti pregledani pred zaključkom intervencije!**
- Za **SANACIJO** bodo zadolžene strokovne ekipe

Ukrepanje pri nesreči v industriji, medicinskih, raziskovalnih ustanovah in drugje

- Ukrepanje v primeru nesreče v industriji je podobno ukrepanju ob nesreči pri prevozu.

Stanje	Območje blokiranja (vroča cona)
V zgradbah	
Nezaščiten ali poškodovan potencialno nevaren vir sevanja ali manjše razlitje	Prostor v katerem je vir ali razlitje in vsi sosednji prostori (tudi nadstropje višje in nižje)
Požar, sum na eksplozivno sredstvo ali kak drug dogodek, povezan s potencialno nevarnim virom sevanja, ki lahko razširi kontaminacijo po zgradbi (npr. razpršitev radioaktivnih snovi po ventilcijskemu sistemu zgradbe)	Celotna zgradba in okolica do razdalj priporočenih pod rubriko 'Na prostem'
Na osnovi radioloških meritev	
Kjer meritve pokažejo: - ambientno hitrost doze 100 µSv/h (Merjena 1 m nad tlemi)	

Ukrepanje pri nesreči v industriji, medicinskih, raziskovalnih ustanovah in drugje

Ni vedno vse idealno…

- V industriji oz. medicinskih ustanovah je vrsta vira običajno znana, vendar viri niso v transportnih vsebnikih in je zato možnost kontaminacije večja.
  - Odgovorna oseba oz. imetnik dovoljenja mora biti sposoben posredovati podatke o viru/virih.
- Pri določanju vroče cone – blokiranega območja – je potrebno upoštevati tudi druga možna tveganja (npr. vnetljive snovi, el. napetost, možni zalogovniki energije itd.)
- Meje tople cone - nadzorovanega območja – naj bodo izbrane tako, da je možno enostavno nadzorovati širjenje kontaminacije.

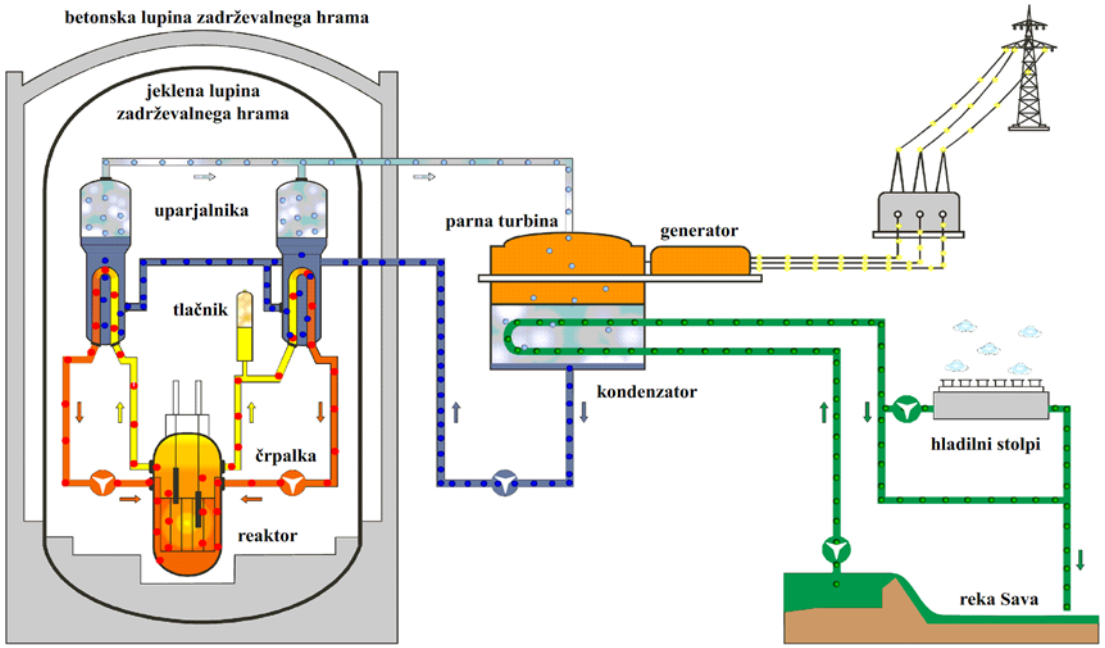
Ukrepanje pri nesreči v industriji, medicinskih, raziskovalnih ustanovah in drugje

- **REŠEVANJE**
  - Pri uporabi osebne zaščitne opreme in respiratorne zaščite se uporabljajo ista izhodišča, kot pri nesreči pri prevozu.
  - **Prva naloga je reševanje ponesrečencev – čakanje ni upravičljivo!**
    - Če obstaja sum kontaminacije (možna/potrjena poškodba embalaže, puščanje) je potrebno ponesrečenca po osnovni oskrbi zaviti v folijo in obvestiti reševalno službo o sumu kontaminacije!
  - Pri vseh, ki so bili vpleteni v nesrečo je potrebno preveriti osebno kontaminacijo (to delajo strokovne ekipe).

- Za **SANACIJO** so zadolžene strokovne ekipe.

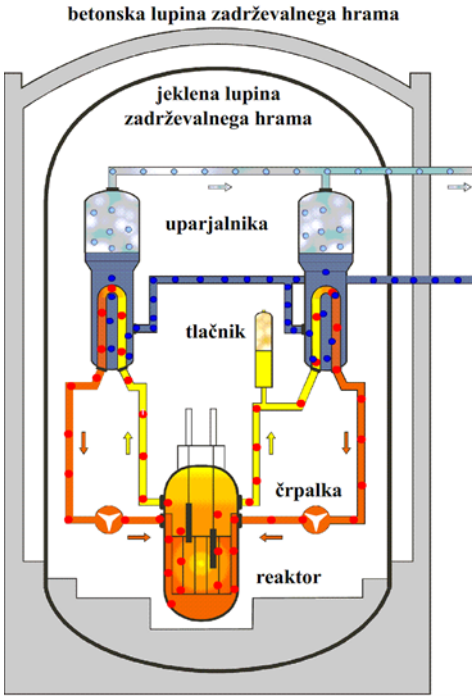
Jedrska elektrarna Krško

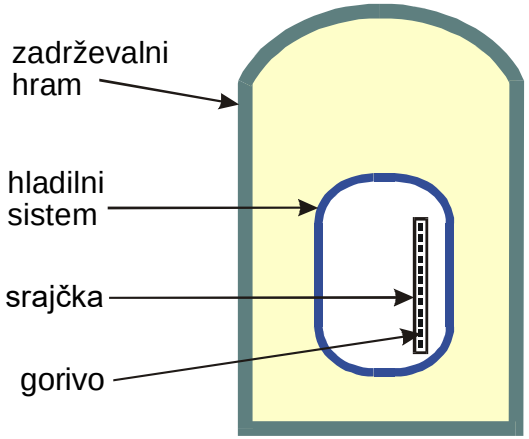
- Tlačnovodna elektrarna
- 2000 MWth/696 MWe
- Hlajenje s savsko vodo
- Deljeno lastništvo
- Nahaja se v Vrbini pri Krškem
- 12 km od državne meje



Jedrska elektrarna Krško (nad.)

- Kar je nevarnega v JE, je v sredici reaktorja in bazenu za rabljeno gorivo
- Problem v vseh JE je **zaostala toplota,** ki se sprošča **po zaustavitvi reaktorja**
  - Zato **sistemi za zasilno hlajenje sredice**
- Pristop varnosti: sistem **globinske obrambe**
  - **zaporedne fizične pregrade** in
  - **koncept več nivojev varnosti**





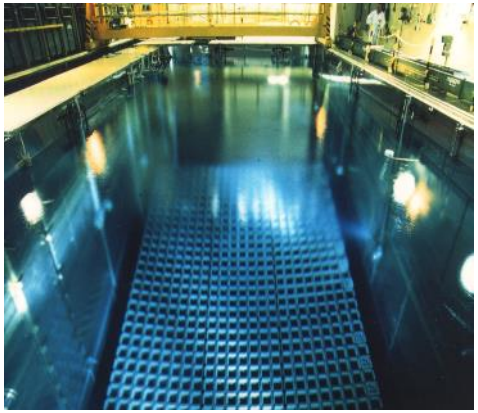
+

I KVALITETA

II VARNOSTNI SISTEMI

III DODATNI VARNOSTNI UKREPI

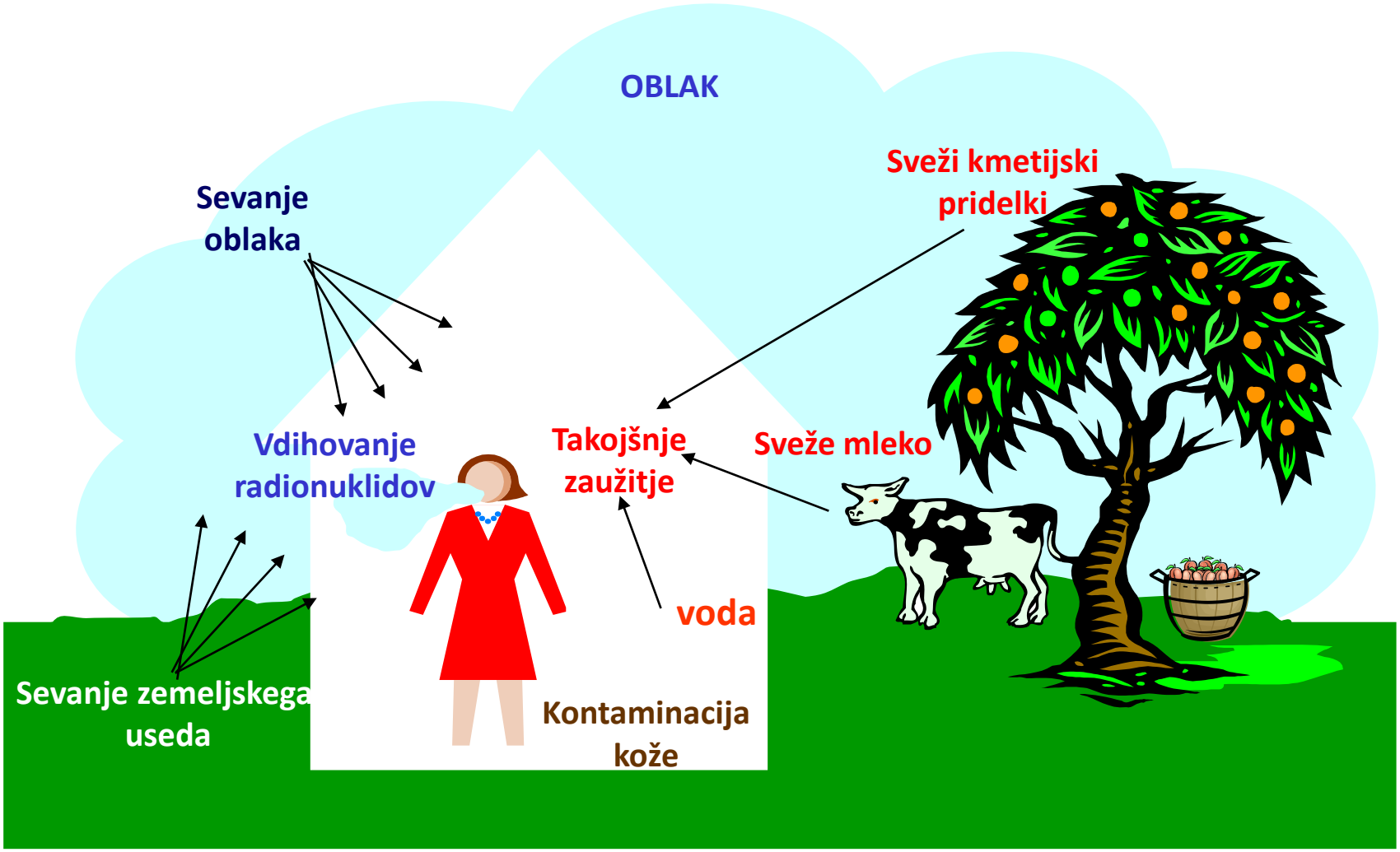
PRIPRAVLJENOST NA NESREČE



Kakšna je izpostavljenost sevanju med jedrsko nesrečo

- Sproščanje in širjenje radioaktivnih snovi (širjenje “radioaktivnega oblaka”) iz elektrarne ni mogoče zanesljivo napovedati.
  - Obseg, velikost in pozicijo “oblaka” je dejansko zelo težko določiti,
- Med prehodom oblaka se del snovi usede na tla (used), še posebej izrazito tam, kjer so padavine.
- Po prehodu oblaka ostane **neenakomeren used**, ki lahko lokalno povzroča zelo visoke hitrosti sevanja (vroče točke oz. “hot spots”).

Možne poti sevalne izpostavljenosti



Možne poti sevalne izpostavljenosti

- Izpostavljenost **med prehodom oblaka** je posledica:
  - vdihovanje radionuklidov
  - zunanje (beta in gama) obsevanje iz oblaka
  - zunanje obsevanje kože zaradi kontaminacije kože
- **Po prehodu oblaka** je izpostavljenost predvsem
  - posledica sevanja iz useda (še posebej vroče točke) ter
  - vdihovanje radionuklidov zaradi ponovnega dviga radioaktivnih snovi s tal v zrak.
- Uživanje lokalne hrane in vode, ki med prehodom oblaka ni bila embalirana oz. v zaprtih prostorih, se odsvetuje.

Pripravljenost na nesreče

- Sistemi v elektrarni so zasnovani tako, da je možno obvladovanje **projektnih nesreč.**
  - npr. zlom parovoda, ali puščanja hladila iz primarnega sistema
- **Pri kombinaciji okvar več varnostnih sistemov, bi lahko prišlo do poškodbe sredice in sproščanja radioaktivnih snovi v zadrževalni hram. Pri odpovedi zadrževalnega hrama bi radioaktivne snovi prišle v okolico NE.**
- Izredne dogodke v NEK razvrščamo glede na obseg dejanskih ali možnih posledic v **štiri stopnje**:

  0 – Nenormalni dogodek,

  I – Začetna nevarnost,

  II – Objektna nevarnost – potrebni zaščitni ukrepi na območju elektrarne

  III – Splošna nevarnost – Ko obstaja možnost sproščanja radioaktivnih snovi v obsegu, ko je zahtevano izvajanje zaščitnih ukrepov v okolici

Naloge gasilcev pri izrednem dogodku v NEK

- Gasilci ne izvajajo nalog znotraj ograje NEK, razen GB Krško, če je to potrebno
- Osnovna naloga: podpora izvajanju zaščitnih ukrepov prebivalstva, gašenje požarov in izvajanju drugih nalog zaščite in reševanja, še posebej pri prevozu pitne vode za živali, reševanju ob prometnih nesrečah in dekontaminaciji.
  - Pri evakuaciji sodelujejo enote CZ, gasilci, policija in po potrebi SV.
  - Dekontaminacijo ljudi, živali in javnih površin lahko **izvajajo gasilske enote pooblaščene za ukrepanje ob nesrečah z nevarnimi snovmi**, enota CZ za RKB dekontaminacijo in po potrebi SV. Preverjanje kontaminacije in dekontaminacija se praviloma izvaja na **dekontaminacijskih postajah**, ki se organizirajo izven območja zaščitnih ukrepov na nadzornih točkah.
- **Uporabo jodovih tablet** za člane intervencijskih ekip in prebivalstvo z ukazom določi poveljnik Civilne zaščite RS