

## OPASNI OTPAD

U velikoj količini otpada koji dolazi iz industrije, trgovine, domaćinstva, zdravstva, poljoprivrede i iz drugih izvora nalazi se i otpad koji se po svojim fizikalnim, kemijskim i biološkim osobinama svrstava u **opasni otpad**.

### Identifikacija opasna otpada

Prema američkoj agenciji za zaštitu okoliša (USEPA):

- Materijal predstavlja opasni otpad ako ima jednu ili više karakteristika koje se mogu karakterizirati kao:

- **zapaljivost** (uzrokuje ili pospješuje plamen),
- **reaktivnost** (reagira s drugim materijama te pri čemu može nastati eksplozija),
- **korozivnost** (oštećuje tkivo ili metal)
- **toksičnost** (štetnost za zdravlje, vodu, hranu i zrak).

**Karakteristiku zapaljivosti** ima otpadni materijal:

- koji je tekući, te ima temperaturu zapaljivosti  $< 60^{\circ}\text{C}$ ;
- koji nije tekući ali kod normalnoga okolnog tlaka i temperature može uzrokovati požar pod djelovanjem trenja, apsorpcijom vlage ili spontanom kemijskim reakcijama, te kada se zapali izgara intenzivno;
- koji je zapaljivi stlačeni plin;

**Karakteristiku reaktivnosti** ima otpadni materijal koji zbog svoje nestabilnosti može uzrokovati burnu reakciju, odnosno:

- koji je nestabilan i podložan je burnim reaktivnim promjenama bez detoniranja;
- koji burno reagira s vodom;
- koji u dodiru s vodom stvara eksplozivnu smjesu;
- koji u dodiru s vodom stvara otrovne pare ili plinove;
- koji sadrži cijanide ili sulfide te u uvjetima s pH između 2 i 11,5 može može razviti otrovne pare ili plinove štetne za ljudsko zdravlje i okoliš;
- koji može izazvati detonacijsku i eksplozijsku reakciju pod nekim vanjskim djelovanjem (zagrijavanjem).

**Karakteristiku korozivnosti** ima otpadni materijal:

- koji je tekući te ima pH vrijednost manju ili jednaku 2, ili jednaku ili veći od 11,5;
- koji je tekući te uzrokuje koroziju ugljičnoga čelika s intenzivnošću većom od 6.35 mm/god pri temperaturi od 55 °C, što je definirano u skladu sa standardnom metodom mjerenja;

**Karakteristika toksičnosti** otpadnoga materijala utvrđuje se posebnom metodom koja simulira uvjete ispiranja toksičnih sastojaka iz otpada s procjednim vodama tijekom njegova neodgovarajućeg manipuliranja ili odlaganja. Otpad se smatra toksičnim kada koncentracija određenih sastojaka nadilazi definirane granične veličine (prema sljedećoj tablici).

• **Koncentracije toksičnosti u otpadu**

Sastojak	Max. konc. (mg/l)	Sastojak	Max. konc. (mg/l)
Arsen	5,0	Heksaklorbutadien	0,5
Barij	100,0	Heksakloretnan	3,0
Benzen	0,5	Olovo	5,0
Kadmij	1,0	Živa	0,2
Ugljik-tetraklorid	0,5	Metil-etil-keton	200,0
Klorobenzen	100,0	Notrobenzen	2,0
Kloroform	6,0	Pentaklorofenol	100,0
Krom	5,0	Piridin	5,0
Kresol	200,0	Selenium	1,0
Diklorobenzen	7,5	Srebro	5,0
Dikloretnan	0,5	Tetrakloretilen	0,7
Dikloretilen	0,7	Toksafen	0,5
Dinitrotoluen	0,13	Trikloretilen	0,5
Heksaklorobenzen	0,13	Vinil-klorid	0,2

Izvor: Buis, P.A.; Evans, M.A., Hazardous Waste, Environmental Engineer's Handbook. CRC Press LLC

• **Kategorizacija opasna otpada prema EU direktivi:**

Kategorija	EU Direktiva 91/689/EEC, Anex III
H1	Ekspozivni
H2	Oksidirajući
H3A	Visoko-zapaljivi
H3B	Zapaljivi
H4	Iritirajući
H5	Štetan
H6	Toksičan
H7	Karcinogen
H8	Korozivan
H9	Infektivan
H10	Teratogeničan
H11	Mutageničan
H12	U kontaktu s vodom oslobađa otrovne plinove
H13	Izvor opasnih supstanci
H14	Ekotoksičan

Zaključak o kategorizaciji otpada donosi se temeljem propisanih evaluacijskih testova koji mogu biti:

- kemijski,
- fizikalni,
- ispitivanja ispuštanja procjednim vodama.

Temeljem evaluacijskih testova, otpad može biti deklariran kao:

- neopasan i prikladan za odlaganje,
- opasan i prikladan za spaljivanje,
- opasan i prikladan za spaljivanje nakon predobrade,
- opasan anorganski otpad koji se može tretirati u posebnom procesu bez spaljivanja.

• **Popis (nekih) industrija gdje nastaje opasni otpad**

Tip industrije	Opasne tvari
Proizvodnja baterija i akumulatora	Cd, Pb, Zn, NO <sub>2</sub>
Kemijska industrija	Cr, Cu, Pb, Hg, organske, ugljikovodici
Proizvodnja električne i elektronske opreme	C, Cu, Co, Pb, Hg, Zn, Se, organske, ugljikovodici
Proizvodnja boja	Cd, Cr, Cu, Co, Pb, Hg, Se, organske
Elektroliza	Co, Cr, Cu, Zn
Tekstilna industrija	Cr, Cu, organske
Farmaceutska industrija	As, Hg, organske
Proizvodnja plastike	Co, Hg, Zn, organske, ugljikovodici
Kožna industrija	Cr, organske

- Tehnološki procesi u kojima nastaju pojedine vrste opasnih organskih otpadnih tvari

TIP ORG. OTP. MATERIJALA	VRSTA ORG. OTP. MATERIJALA	TEHNOLOŠKI PROCESI
Organski muljevi i talozi	-otpadna motorna ulja -rezervoarski talozi -muljevi iz API separatora -flotacijski muljevi -otpadne masti -bitumenski muljevi -zauljena zemlja	-transportne djelatnosti, servisi motornih vozila; -skladišta nafte i naftnih derivata; -meh. obrada zaulj. voda; -kem. obrada zaulj. voda; -razne djelatnosti; -proizvodnja asfalta; -ekscesni događaji i razna izlivanje
Otpadna otapala	-halogenirana otapala (trikloretilen, triklorektan); -alifatska otapala (heksan, heptan, white spirit...); -aromska otapala (toluen, ksilen, triklorbenzen, nitrobenzen...); -ketoni (acetan, metiletilketon...); -esteri (butilacetati, propilacetat...); -alkoholi (metanol, butanol, izobutanol, izopropanol, fenol.);	metalna industrija, procesi odmaščivanja, industrija boja, farmaceutska industrija, proizvodnja kozmetike, proizvodnja ljepila
Organske vodene otopine	-lužine sa sadržajem fenola i sulfida; - vodene otopine alkohola i organskih kiselina	rafinerije nafte, tvornice papira, industrija kozmetike, farmaceutska industrija
Organske vodene emulzije i disperzije	-zauljene vode, -emulzije iz metaloprerađivačke industrije, -emulzije za hlađenje, -emulzijske disperzije	rafinerije nafte, transportni terminali, garaže, obrada metala, obrada drva
Pesticidi i herbicidi	-pokvarene sarže u proizvodnji kemikalija	proizvodnja pesticida i herbicida, kemijska industrija, greške kod manipulacije

## **Obrada i zbrinjavanje opasna otpada**

Prioritet postupaka upravljanja opasnim otpadom je sljedeći:

- **Smanjenje nastajanja (modifikacija procesa),**
- **Separacija i smanjenje obujma,**
- **Zamjena / prodaja kao sirovina za novi proces,**
- **Rekuperacija energije,**
- **Obrada,**
- **Sigurno odlaganje.**

Glavni postupci obrade opasna otpada su sljedeći:

- **Fizikalni postupci**

### **Pročišćavanje (dimnih plinova)**

- Mehaničko odvajanje
- Elektrostatsko odvajanje
- Platneni filtri
- Vlažno skrubiranje
- Adsorpcija

### **Separacija**

- Centrifugiranje
- Taloženje
- Koagulacija
- Filtracija
- Flokulacija
- Flotacija
- Pjenjenje
- Sedimentacija

---

### **Odvajanje posebnih stvari**

- Adsorpcija
- Kristalizacija
- Dializa
- Destilacija
- Elektrodializa
- Evaporacija
- Procjeđivanje
- Reverzna osmoza
- Solventna ekstrakcija
- Stripiranje

- **Kemijski procesi**

- Absorpcija
- Kemijska oksidacija
- Kemijska precipitacija
- Kemijska redukcija
- Ionska izmjena
- Neutralizacija
- Kemijska fiksacija i solidifikacija
- Dehalogenacija

- **Biološki procesi**

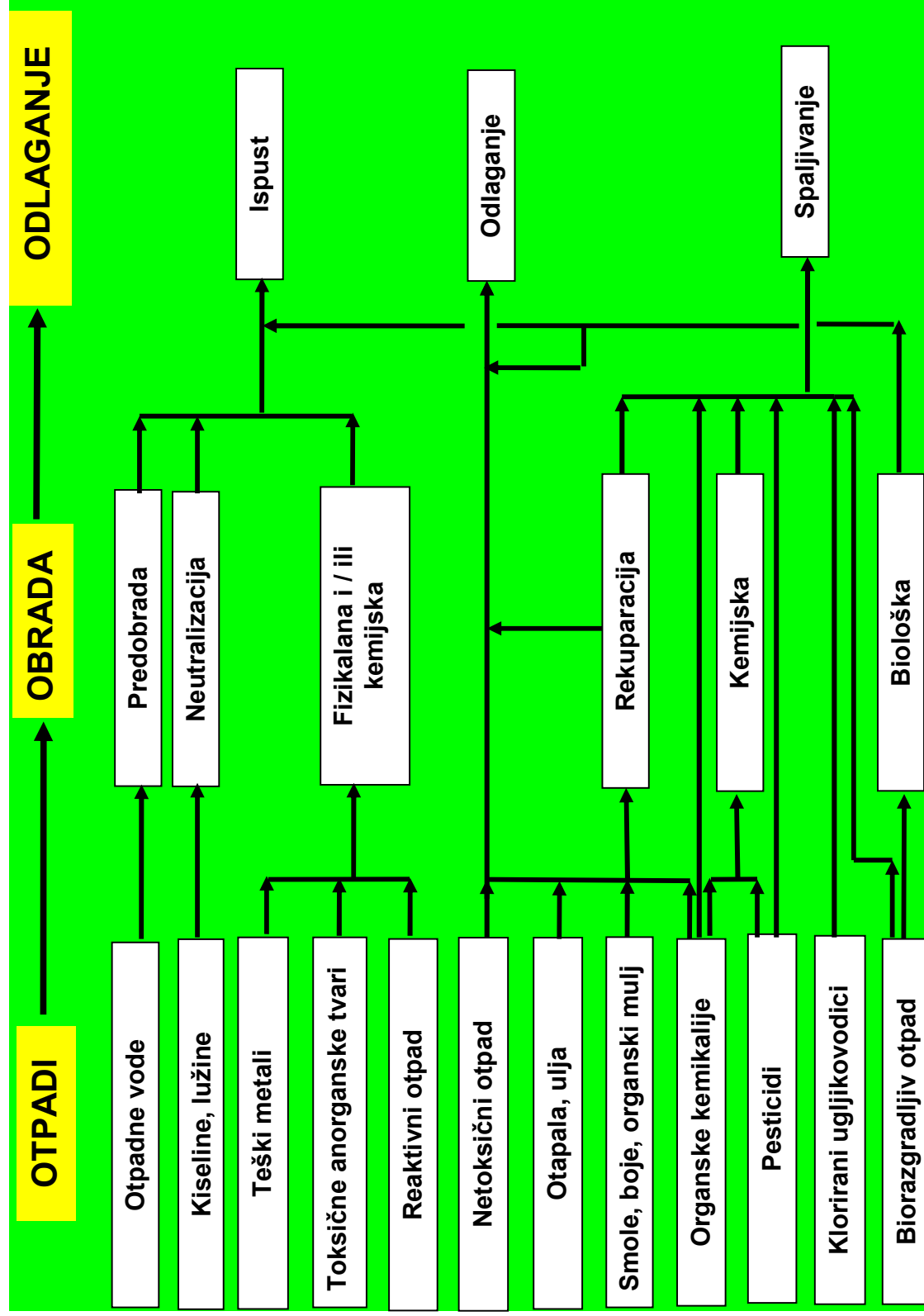
- Aerobni procesi
- Anaerobni procesi
- Procesi s aktivnim muljem
- Rotirajući biokontaktori

- **Termička obrada**

- Spaljivanje**

- Rotacijska peći
- Incineratori s fluidiziranim slojem
- Peći s plazma lukom

- Piroliza**





## RADIOAKTIVNI OTPAD

Pod **radioaktivnošću** podrazumijeva se svojstvo nekih elemenata da spontano emitiraju  **$\alpha$  – čestice,  $\beta$ - čestice ili  $\gamma$ - zrake** pri čemu dolazi do raspadanja jezgri atoma.

Taj proces nastaje prirodnim putem te ga se ne može spriječiti.

Svojstvo radioaktivnosti imaju elementi koji imaju nestabilne jezgre atoma te emitiranjem energije prijelaze u stabilni oblik. Taj proces naziva se **radiokativni raspad**.

Izotopi koji emitiraju nuklearno zračenje nazivaju se **radio-nuklidi (radio-izotopi)**.

Svi izotopi elemenata, koji imaju atomski broj veći od 83 (bizmut), su radioaktivni. Nekoliko elemenata s manjim atomskim brojem (npr. kalij, rubidij) također imaju prirodne izotope koji su radioaktivni.

**$\alpha$  – čestice** su pozitivno nabijeni ioni koji se emitiraju iz jezgri atoma uz brzinu koja je oko 10 x manja od brzine svjetlosti.

- Teške, relativno spore i pozitivno nabijene  $\alpha$  – čestice imaju malu prodornu moć;
- Aposrbira ih sloj od nekoliko cm zraka;
- Ne mogu prodrijeti kroz ljudsku kožu;
- Tvari koje emitiraju  $\alpha$  – čestice vrlo su štetne za ljudski organizam kada u njega uđu putem dišnih ili probavnih organa.

**$\beta$ - čestice** su negativno nabijene čestice (elektroni ) s kinetičkom energijom zavisno o brzini s kojom se emitiraju iz atoma. Njihova brzina kreće se od 30 % do 99 % brzine svjetlosti.

- Lagane su, brze, te veće prodorne moći od  $\alpha$  – čestica;
- Prodiru kroz sloj zraka veći od jednog metra;
- Prodiru kroz ljudsku kožu;
- Slično kao i za tvari koje emitiraju  $\alpha$  – čestice,  $\beta$ - čestice su vrlo štetne za ljudski organizam kada u njega uđu s tvarima putem dišnih ili probavnih organa.

**$\gamma$ - zrake** su oblik elektromagnetskih valova (X-zrake, svjetlost, radio valovi) koje sadrže znatno veću razinu energije. Takvo elektromagnetsko zračenje je sekundarni proces što slijedi tijekom  $\alpha$  ili  $\beta$  – raspada, koji ostavljaju atom u nestabilnom stanju, nakon čega se višak energije emitira u obliku  $\gamma$ - zračenja.

- Imaju veliku prodornu moć;
- Prodiru kroz relativno debeli sloj betona i metala;
- Prodiru kroz ljudske organe i uzrokuju teška oštećenja.

• **Jedinice mjere ionizirajućega zračenja:**

JEDINICA	OPIS
«Bequerel» 1Bq =1 raspad atomske mase/sekundi	<b>Aktivnost radioaktivna izvora</b> <i>Mjera brzine raspadanja atomskih jezgri u jedinici vremena</i>
«Gray» 1Gy = 1 J/kg	<b>Apsorbirana doza energije u tkivu</b> <i>Mjera za apsorbiranu dozu energije po jedinici mase tkiva</i>
«Sievert» 1 Sv	<b>Ekvivalentna apsorbirana doza zračenja pomnožena s faktorom koji uzima u obzir učinak biološkoga oštećenja</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- za <math>\gamma</math> i X zrake, faktor je 1</li> <li>- za <math>\alpha</math> čestice, faktor je 20</li> <li>- za <math>\beta</math> čestice, faktor je 1</li> <li>- za brze protone i neutrone, faktor je 10</li> </ul>

- **Orjentacijske vrijednosti djelovanja ionizirajućeg zračenja na ljudski organizam:**

<b>APSORBIRANA DOZA</b>	<b>POSLEDICE NA ČOVJEKOV ORGANIZAM</b>
<b>do 0,5 Sv</b>	<i>Neznatne prolazne promjene u krvi bez drugih znakova</i>
<b>0,8 do 1,2 Sv</b>	<i>Kod 5% do 10% ozračenih osoba dolazi jednodnevne mučnine s povraćanjem, vrtoglavice i osjećaja zamora</i>
<b>1,3 do 1,7 Sv</b>	<i>Kod približno 25% ozračenih osoba dolazi do jednodnevne mučnine s povraćanjem i vrtoglavicom te ostalim simptomima povezanim sa zračenjem; ne očekuju se smrtni slučajevi</i>
<b>1,8 do 2,6 Sv</b>	<i>Kod približno 25% ozračenih osoba dolazi do jednodnevne mučnine s povraćanjem, vrtoglavicom te ostalim simptomima povezanim sa zračenjem; mogući su pojedinačni smrtni slučajevi</i>
<b>2,7 do 3,3 Sv</b>	<i>Kod skoro svih ozračenih osoba dolazi prvi dan do mučnine s povraćanjem, vrtoglavicom te ostalim simptomima povezanim sa zračenjem; smrtnost približno 20% u razdoblju 2 do 6 sedmice</i>
<b>4,0 do 5,0 Sv</b>	<i>Kod svih ozračenih osoba dolazi prvi dan do mučnine s povraćanjem, vrtoglavicom te ostalim simptomima povezanim sa zračenjem; smrtnost približno 50% u razdoblju 1 mjeseca; rekonvalescencija preživjelih traje približno 6 mjeseci</i>
<b>5,5 do 7,7 Sv</b>	<i>Kod svih ozračenih osoba već nakon 4 sata dolazi do mučnine s povraćanjem, vrtoglavicom te ostalim simptomima povezanim sa zračenjem; smrtnost skoro 100%; rekonvalescencija rijetko preživjelih traje približno 6 mjeseci</i>
<b>10 Sv</b>	<i>Kod svih ozračenih osoba nakon 1 do 2 sata dolazi do povraćanja i vrtoglavice; vrlo mala vjerojatnost za preživljavanje</i>
<b>50 Sv</b>	<i>Trenutno nastupa vrlo teško oboljenje; smrt unutar jedne sedmice.</i>

## **IZVORI RADIOAKTIVNOSTI U OKOLIŠU**

Izvori radiokativnosti u okolišu jesu:

- **antropološki (zbog ljudskih aktivnosti)**
  - ciklus korištenja nuklerana goriva,
  - eksloatacija ruda,
  - medicinski i laboratorijski uređaji,
  - testiranje i korištenje nuklearnih oružja.
- **prirodni**
  - zračenja iz prirodnih izvora.

### ➤ **Ciklus nuklearna goriva**

Pod ciklusom nuklearna goriva podrazumijevaju se aktivnosti koje se izvode u cilju proizvodnje energije iz nuklearna goriva, a to su:

- rudarenje uranovih ruda,
- obogaćivnje urana za korištenje u reaktorima,
- reprocesiranje – ponovno korištenje nuklearna goriva,
- skladištenje nuklearna otpada iz nuklearnih elektrana.

### ➤ **Eksploatacija ruda**

- Aktivnosti iskopavanja, obrada te korištenja ugljena, prirodnog plina i fosfatnih ruda uzrokuju koncentraciju i odlaganje velikih količina nisko-radioaktivnih materijala.
- Elektrane pogonjene ugljenom emitiraju u okoliš radioaktivnost; ostaci izgaranja (pepeo i šljaka) sadrže male koncentracije nekoliko prirodnih nisko-aktivnih radioizotopa.

- 
- Prirodni plin je jedan od izvora emisije radioaktivna plina radona u okoliš.
  - Naslage fosfatnih ruda (stijena) su povezane s prirodnim radioizotopima; jalovina iz rudnika fosfata ima često razinu radiokativnosti koja nije dopuštena za direktno odlaganje u okoliš.

#### ➤ **Medicinski i laboratorijski uređaji**

- Radioizotopi se vrlo intenzivno koriste u medicini (za kliničko liječenje i dijagnosticiranje), u bio-medicinskim istraživačkim laboratorijima te u drugim tipovima laboratorija. To su uglavnom izotopi s kratkim vremenom poluraspada koji emitiraju  $\gamma$ -zrake.

#### ➤ **Testiranje i korištenje nuklearnih oružja**

- Veliki udjel radioaktivnih izotopa u okolišu posljedica su raznih ispitivanja nuklearnih oružja. To se prvenstveno odnosi na nekoliko izotopa joda, cezija i stroncija. Procjenjuje se da oko 70 % radioaktivna otpada u SAD posljedica su aktivnosti pod okriljem ministarstva obrane (Izvor - Bouis, P.A.: *Hazardous wastes, Environmental Engineer's Handbook*, CRC Press LLC, 1999, Sec. 11.22)

#### ➤ **Zračenje iz prirodnih izvora**

- Glavnina radioaktivnosti podzemnih voda i podzemnih slojeva posljedica su prodora zračenja iz prirodnih slojeva urana i torija. Tu je i utjecaj radona koji dolazi od lančana raspada urana, torija i /ili radija.

❖ **Prosječna koncentracija urana i torija u slojevima zemlje i stijena**

Tip sloja	Uran (mg/kg)	Torij (mg/kg)
Stijene – eruptivne:		
- Granit	4,7	20,0
- Diorit	1,8	8,0
- Bazalt	0,9	2,7
- Dunit	0,03	6,0
Stijene – sedimentne:		
- Vapnenac	2,2	1,7
- Karbonat	2,1	1,9
- Pješčane	1,5	3,0
- Škriljci	3,5	11,0
Pijesak – zemlja:		
- Prosječno	2,0	6,7

Izvor - Bouis, P.A.: *Hazardous wastes, Environmental Engineer's Handbook*, CRC Press LLC, 1999, Sec. 11.22

## KRITERIJI ZA RAZLIKOVANJE RADIOAKTIVNA OTPADA

- Pod **radioaktivnim otpadom** podrazumijevaju se materijali, koji nisu predviđeni za daljnje korištenje, a koji sadrže radioaktivne izotope takvih specifičnih aktivnosti što premašuju granične vrijednosti propisane pripadajućom zakonskom regulativom.
- Zajednička osobina radioaktivnim izotopima je **ionizirajuće zračenje**.

Izotopi su definirani su regulativom kojom se uzimaju u obzir sljedeći parametri:

- specifična aktivnost  $\beta$  i  $\gamma$  emitera,  $A_{sp, \beta/\gamma}$
- specifična aktivnost  $\alpha$  emitera,  $A_{sp, \alpha}$
- površinska aktivnost  $\beta$  i  $\gamma$  emitera,  $A_{sp, \beta/\gamma}$
- površinska aktivnost  $\alpha$  emitera,  $A_{sp, \alpha}$

Prema našoj regulativi, radioaktivnin se otpadom smatraju oni materijali, onečišćeni radioaktivnim izotopima, kod kojih je premašena jedna od sljedećih vrijednosti:

1.  $A_{sp, \beta/\gamma} \geq 1 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$
2.  $A_{sp, \alpha} \geq 1 \times 10^7 \text{ Bq/m}^3$
3.  $A_{sp, \beta/\gamma} \geq 5 \times 10^3 \text{ Bq/m}^2$
4.  $A_{sp, \alpha} \geq 5 \times 10^2 \text{ Bq/m}^2$

#### ❖ Podjela radioaktivna otpada:

- Nisko-radioaktivni otpad..... $5 \times 10^6$  do  $5 \times 10^9 \text{ Bq/m}^3$
- Srednjo-radioaktivni otpad..... $5 \times 10^9$  do  $5 \times 10^{14} \text{ Bq/m}^3$
- Visoko-radioaktivni otpad..... $> 5 \times 10^{14} \text{ Bq/m}^3$

#### ❖ Podjela odlagališta za radioaktivni otpad:

- Privremena skladišta
- Odlagališta za nisko i srednje-radioaktivni otpad  
(vrijeme poluraspada do 30 godina)
- Odlagališta za visoko-radioaktivni otpad  
(trajanje radioaktivnosti više stoljeća)

- **Svaka nuklearna elektrana ima privremeno skladište koje zadovoljava za odlaganje svih vrsta radioaktivnih otpada za razdoblje oko 20 godina.**
- **Problem trajna rješenja visoko-radioaktivna otpada još nije u potpunosti riješen - još je u fazi istraživanja.**
- **Osnovni uvjet za pravilno odlaganje radioaktivna otpada je da on ni u kojem slučaju ne smije doći u dodir s biosferom sve dok traje njegova radioaktivnost.**
- **Primjereno za skladištenje visoko-radioaktivna otpada je inertno tlo bez podzemnih vodnih tokova (granitni slojevi ili slojevi kamene soli).**



## ❖ Vrsta, način obrade i odlaganje radioaktivna otpada:

VRSTA I IZVOR OTPADA	NAČIN OBRADE I ODLAGANJA	PROSJEČNA GODIŠNJA KOLIČINA OTPADA ZA ELEKTRANU 1000 DO 1500 MW
-Tekući otpad -Ostaci čišćenja dijelova primarna kruga -Filtarski ostaci -Otopine za čišćenje -Ionske smole	Ispiranje, evaporiranje do suhog ostatka (kolača) ili odvajanje aktivne tvari te zalijevanje (solidifikacija) s posebnom cementnom smjesom u kontejnerima	Približno 70 m <sup>3</sup>
Gorivi otpadni materijal: -zaštitna odjeća, -rukavice -navlake za obuću, -umjetne mase, folije -filtri	Spaljivanje, prešanje pepela i zalijevanje (solidifikacija) s posebnom cementnom smjesom u kontejnerima	Približno 200 m <sup>3</sup>
Ne-gorivi otpad: -metalni otpad, -metalne posude, -ostaci cjevovoda, -kablovi i električni uređaji -građevinski otpad -filtarski umeci	Usitnjavanje i prešanje, a zatim zalijevanje (solidifikacija) s posebnom cementnom smjesom u kontejnerima	Približno 70 m <sup>3</sup>

## ❖ Udio nisko, srednje i visoko-radioaktivna otpada iz nuklearne elektrane:

VRSTA RADIOAKTIVNA OTPADA	VOLUMNI UDJEL	UDJEL RADIOAKTIVNOSTI
Nisko i srednje- radioaktivni otpad	95 %	1%
Visoko-radioaktivni otpad (istrošeni gorivi elementi)	5 %	99 %

❖ **Prirodno i dozvoljeno radioaktivno zračenje na čovjeka (godišnje ekvivalentne doze):**

IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE	OPIS
2 – 7 mSv/god	Prirodno ili umjetno radioaktivno zračenje na čovjeka, ovisno od lokacije. ( za Hrvatsku iznosi oko 2,5 mSv/god)
50 mSv/god	Dozvoljeno za osobe koje su profesionalno izložene radioaktivnom zračenju

Prirodno i umjetno zračenje varira u širokim granicama, ovisno o lokalitetu.

Prema podacima Međunarodne agencije za atomsku energiju, prosječne doze zračenja stanovništva iz raznih prirodnih u umjetnih izvora su sljedeće:

PRIRODNI IZVORI ZRAČENJA	mSv/god
Radon ( $Rn^{222}$ , $Rn^{220}$ )	1,37
Kalij ( $K^{40}$ )	0,30
Kozmičke zrake	0,30
Ostali prirodni izvori	0,02
UMJETNI IZVORI ZRAČENJA	
Medicinske pretrage	0,40
Stanovanje u okolici nuklearne elektrane	0,002
UKUPNO	2,4

Izvor: Feretić D., Tomšić Ž., Elektrane i okliš, Zagreb 2000.

## **GOSPODARENJE RADIOAKTIVNIM OTPADOM**

- Gospodarenje radioaktivnim otpadom niske i srednje aktivnosti danas je riješeno na zadovoljavajući način sa stajališta tehnoloških, sigurnosnih i ekoloških aspekata.
- Problem odlaganja radioaktivnog otpada visoke aktivnosti (istrošeno nuklearno gorivo) još je u fazi istraživanja i razvoja što uključuje:
  - traganje za stabilnim geološkim formacijama,**
  - razvoj otpornih materijala za spremnike,**
  - usavršavanje tehnologije odlaganja.**
- Poseban problem radioaktivna otpada iz nuklearnih elektrana predstavlja tzv. dekomisijski otpad zbog velike količine radioaktivna materijala kojeg treba na odgovarajući način zbrinuti.

## **ODLAGANJE RADIOAKTIVNA OTPADA**

### **1. Površinsko odlaganje za nisko i srednje-aktivni otpad**

Metalne posude s otpadom u armirano-betonskim kontejnerima smještenih na armirano-betonsku podlogu s uređenim sustavom za drenažu procjednih voda.

Betonski kontejneri se ograđuju armirano-betonskim zidom, a nakon toga se pokrivaju s više slojeva prirodnih i umjetnih materijala koji trebaju osigurati dobra hidro-izolacijska svojstva radi sprječavanja prodora oborinskih površinskih voda.

### **2. Tunelsko odlaganje za nisko i srednje-aktivni otpad**

Bušenje horizontalnih tunela s odvojcima u granitnim slojevima za smještaj otpada u metalnim posudama u armirano-betonskim kontejnerima, a nakon popune galerije i horizontalni tuneli zalijevaju se betonom.

### **3. Odlaganje u napuštenim rudnicima soli ili željezne rudače za nisko i srednje-aktivni otpad**

### **4. Odlaganje u dubokim geološkim formacijama za visoko-aktivni otpad (istrošeno gorivo)**

- Odlaganju prethodi mokro skladištenje istrošenih gorivih elemenata radi hlađenja (5 do 10 godina); najčešće u krugu nuklearne elektrane ili u posebnim skladišnim postrojenjima za više nuklearnih elektrana.
- Nakon hlađenja slijedi suho skladištenje istrošena goriva u posebnim kontejnerima te u posebnim skladištima za privremeno skladištenje istrošena goriva.
- Konačno odlaganje smatra se rješenje koje treba osigurati udovoljavanje regulativnih zahtjeva za razdoblje od 10.000 godina. Najveću ulogu ima stabilnost geoloških formacija (granit, bazalt, glina, solne formacije imaju vrlo dugotrajnu stabilnost – preko milijun godina).

❖ Pregled programa izgradnje odlagališta visoko-aktivna otpada u nekim zemljama:

DRŽAVA	GODINA IZGRADNJE	NAČIN ZBRINJAVANJA I ODLAGANJA
Belgija	2030.	Fe kontejneri u glinenim formacijama. Za ispunu će se koristiti glina i cement
Finska	2020.	Fe-Cu kontejneri u granitnim formacijama. Za materijal ispunje izabran je bentonit (beton-bitumen)
Francuska	2020.	U istraživanju su četiri lokacije sa glinenim formacijama.
Indija	2010.	Tuneli u granitnim formacijama. Lokacija još nije konačno odabrana.
Italija	2040.	Tuneli u glini i granitu.
Japan	2030.	Izbor lokacija još u tijeku. Fe kontejneri u sedimentnim stijenama.
Kanada	2025.	Kontejneri od titana u granitnim formacijama. Materijal za ispunu mješavina pijeska i bentonita.
Njemačka	2010.	Fe kontejneri u solnim formacijama.
Španjolska	2020.	Ispituju se lokacije sa solnim, granitnim i glinenim formacijama
Švedska	2020.	Fe-Cu kontejneri. Lokacija još nije odabrana. Potencijalna lokacija sa granitnim formacijama. Za materijal ispunje odabran je bentonit.
SAD	2015.	Potencijalna lokacija ima sedrene formacije.

Izvor: Feretić., Tomšić Ž., Elektrane i okliš, Zagreb 2000.

## **ZBRINJAVANJE DEKOMISIJSKOGA OTPADA**

**Dekomisija ili razgradnja** nuklearne elektrane je skup mjera, postupaka i aktivnosti koje se provode nakon trajne obustave rada reaktora s ciljem da se smanji na najmanju moguću mjeru zaostala radioaktivnost te osposobi lokacija za ponovno korištenje u istu ili drugu svrhu.

**Prosječni radni vijek** nuklearne elektrane, nakon čega se treba računati s dekomisijom, je **40 godina**.

Tri glavna scenarija razgradnje nuklearnih elektrana:

- Postupak **dekontaminacije i brze razgradnje** (Decontamination) traje do 15 godina.
- Postupak **čuvanja i odgođene razgradnje** (Safe storage) traje 30 -100 godina.
- Postupak **imobilizacije na lokaciji** (Entombment) – traje više od 100 godina.

Količina dekomisijskog otpada i razina njegove radioaktivne aktivnosti zavise o scenariju dekomisije, a što je u uskoj vezi s vremenom poluraspada pojedinih radionuklida koji zaostaju nakon trajne obustave pogona reaktora.

❖ **Vremena poluraspada glavnih zaostalih radionuklida:**

Tip radionuklida	Vrijeme poluraspada
Fe-55	2,7 god
Co-60	5,3 god
Ni-63	100 god
Ni-59	75.000 god
Nb-94	20.000 god

❖ **Preliminarne analize za razgradnju NE Krško:**

Scenarij razgradnje	Trajanje razgradnje	Količina dekomisijskoga radioaktivnog materijala
Brza razgradnja	15 godina	oko 18.700 m <sup>3</sup>
Odgodena razgradnja	100 godina	oko 1000 m <sup>3</sup>
Imobilizacija na lokaciji	160 godina	oko 2500 m <sup>3</sup>

**Primjer:****Razgradnja nuklearne elektrane u Njemačkoj (Greifswald)**

- Snaga elektrane: 5x440 MW
- Tip reaktora: vodom hlađeni reaktor pod tlakom
- Početak razgradnje: 1995.
- Trajanje razgradnje: 15 godina
- Količina uklonjena čelika: 1.800.000 tona
- Količina radioaktivna materijala: 600.000 tona
- Troškovi razgradnje do „green field“ stanja: 1.800.000.000 Eur.

