



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU

## Mere radijacione sigurnosti pri rukovanju sa jonizujućim detektorima dima

MASTER RAD

Mentor:

Prof. dr Nataša Todorović

Kandidat:

Lidija Kondić

Novi Sad, 2017.

*Želim da se zahvalim svom mentor, prof. dr Nataši Todorović, na predloženoj temi, beskonačnom strpljenju i pomoći kako pri pisanju ovog rada tako i tokom studija. Такође, zahvaljujem joj se na nesebično ustupljenim rezultatima svojih merenja.*

*Ovaj rad posvećujem svojoj mami u znak zahvalnosti na svemu što je učinila za mene tokom odrastanja i školovanja.*

## Sadržaj

1.	Uvod.....	4
1.1.	Istorijat.....	4
1.2.	Interakcija alfa čestica sa materijom .....	5
1.3.	Osnovne dozimetrijske veličine.....	8
1.4.	Princip rada Gajger-Milerovog brojača .....	10
2.	Radioizotopi u detektorima dima.....	12
2.1.	Americijum-241 .....	12
2.2.	Šema raspada $^{241}\text{Am}$ .....	13
2.3.	$^{241}\text{Am}$ u detektorima dima .....	14
3.	Detekcija požara.....	15
3.1.	Značaj instaliranja sistema za zaštitu od požara .....	15
4.	Princip rada jonizujućih detektora dima .....	17
5.	Zakonske regulative .....	21
6.	Rukovanje jonizujućim detektorima dima koji sadrže $^{241}\text{Am}$ .....	22
6.1.	Preventivne mere od akcidenata .....	23
6.2.	Uputstvo za rukovanje izvorom jonizujućeg zračenja.....	23
7.	Akidenti i postupanje u slučaju akcidenta.....	24
7.1.	Postupanje u slučaju akcidenta .....	25
8.	Odlaganje detektora dima sa izvorom jonizujućeg zračenja.....	25
8.1.	Prostorije za skladištenje jonizujućih detektora dima .....	28
8.2.	Praktično projektovanje mera radijacione sigurnosti i bezbednosti u prostorijama za skladištenje detektora .....	29
9.	Dozimetrijska kontrola ionizacionih detektora dima.....	31
9.1.	Rezultati dozimetrijskih merenja za ionizacione detektore dima u poštama u Novom Sadu i Novom Pazaru [Dozimetrijska kontrola ionizacionih detektora dima, PMF Novi Sad, Katedra za nuklearnu fiziku, 2014.] .....	32
10.	Prednosti i mane jonizujućih detektora dima .....	36
11.	Zaključak .....	38
	Literatura .....	39

# 1. Uvod

## 1.1. Istorijat

Korišćenje jonizujućih detektora dima predstavlja pravu prekretnicu u istoriji sistema za detekciju požara. Ovi detektori su osnovni detektori u gotovo svim sistemima protivpožarne zaštite u savremeno doba. Njegove osnovne prednosti jesu jednostavna konstrukcija, nizak nivo radioaktivnosti, relativno brz odziv na sva vrste požara i prihvatljiva cena.

Jonizujući detektori dima prvi put pojavili su se u Americi 1951. godine, ali njihova primena nije bila dovoljno rasprostranjena pretežno zbog velikih dimenzija i nepristupačne cene. Četiri godine kasnije razvijaju se prvi detektori za kućnu upotrebu, a 1963. godine USAEC daje prvu licencu za distribuciju detektora dima koji sadrže radioaktivne elemente.

Prvi, po ceni pristupačan, jonizujući detektor dima konstruisao je Duane D. Pearsall (slika 1) 1965. godine. Ovaj detektor imao je sopstvenu jedinicu sa baterijom koja se menjala, lako se postavljao i puštao u rad.



*slika 1. Pearsall sa detektorom dima*

## 1.2. Interakcija alfa čestica sa materijom

Alfa zračenje emituju prirodni radionuklidi. Osnovni mehanizam putem kojeg one interaguju sa materijom jeste ionizacija (Krmar, 2013).

Masa alfa četice je oko 7300 puta veća nego masa elektrona. Ova činjenica je ograničavajući faktor po pitanju količine predate energije elektronu od strane alfa čestice pri njihovom direktnom sudaru. Maksimalna energija koju elektron može da primi pri interakciji sa alfa česticom iznosi :

$$E_e = 4 E_\alpha m_e / m_\alpha$$

gde je:

$E_e$ - energija elektrona

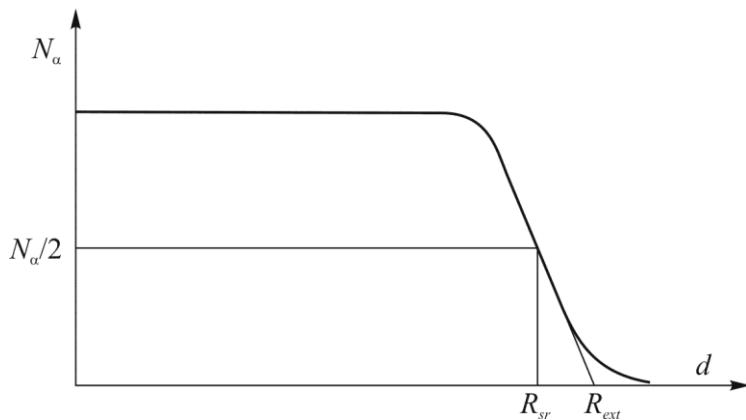
$E_\alpha$ - energija alfa čestice

$m_e$ - masa elektrona

$m_\alpha$ - masa alfa čestice

Iz prethodne formule vidimo da alfa čestica može da predala elektronu vrlo mali iznos svoje energije reda veličine  $10^{-5}$ . Do svog zaustavljanja, alfa čestica će svoju energiju podeliti velikom broju elektrona.

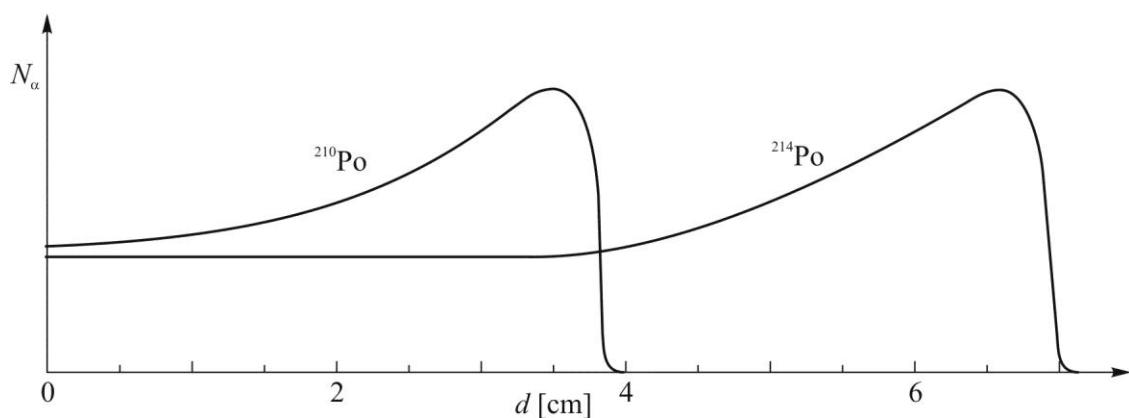
Velika razlika u masi između elektrona i alfa čestice ima za posledicu to da pri interakciji alfa čestice sa pojedinačnim elektronom iz atomskog omotača, alfa čestica neće skretati, već će zadržavati svoj prvobitni pravac. Merenjem broja alfa čestica u nekom snopu, duž putanje, dobija se da snop sadrži jednak broj čestica i ne osipa se.



Grafik 1. Broj alfa čestica u snopu u zavisnosti od dužine pređenog puta u vazduhu

Sa grafika vidimo da je broj alfa čestica u jednom snopu konstantan tokom najvećeg dela njihove putanje. Alfa čestice zadržavaj svoj pravac kretanja, a značajnija promena pravca,odnosno osipanje dešava se tek pri kraju njihove putanje kada broj alfa čestica naglo opadne.

Interesantan podatak koji možemo posmatrati jeste kako se menja broj jona koji alfa čestice stvaraju u vazduhu. Ovo se najčešće utvrđuje eksperimentalnim putem i to merenjem količine nanelektrisanja koji se stvara duž pravca kojim se snop alfa čestica prostire u vazduhu. Na grafiku 2. prikazan je rezultat jednog takvog merenja.



Grafik 2.Broj jonskih parova stvorenih u vazduhu duž pravca kretanja snopa alfa čestica

Eksperimentalno je pokazano da količina nanelektrisanja koje alfa čestica stvaraju tokom svog puta raste duž pravca njihog kretanja i to na početku sporo,a posle sve brže i brže. Blizu kraja puta jonizacija dostigne maksimum,a zatim pada na nulu. Na grafiku 2. to mesto je prikazano kao maksimum i naziva se Bregov pik.

Alfa čestice postepeno gube energiju tako što je predaju u porcijama okolnim elektronima. Energija koju alfa čestica izgubi obrnuto je сразмерna energiji koju poseduje. To znači da je ionizaciona moć alfa čestice najveća na kraju njenog puta kada joj je energija najmanja. Pri kraju puta energija alfa čestice se toliko smanji da ona uhvati prvo jedan electron,a zatim i drug ii tako postaje neutralan atom helijuma. Atom helijuma je neutralan, ne poseduje nanelektrisanje niti električno polje pomoću kojih bi vršio ionizaciju it u prestaje da postoji kao alfa čestica.

Domet u nekom materijalu je osnovna osobina kojom se opisuje zračenje. Pod pojmom domet podrazumeva se minimalna debljina slija nekog materijala koja u potpunosti zaustavlja svo zračenje. Budući da je putanja alfa čestica pravolinijska, domet alfa čestice jednak je dužini njenog pređenog puta. Na grafiku 1. označili smo onu debljinu koja broj alfa čestica svede na polovinu i ova veličina naziva se srednji domet alfa čestice.

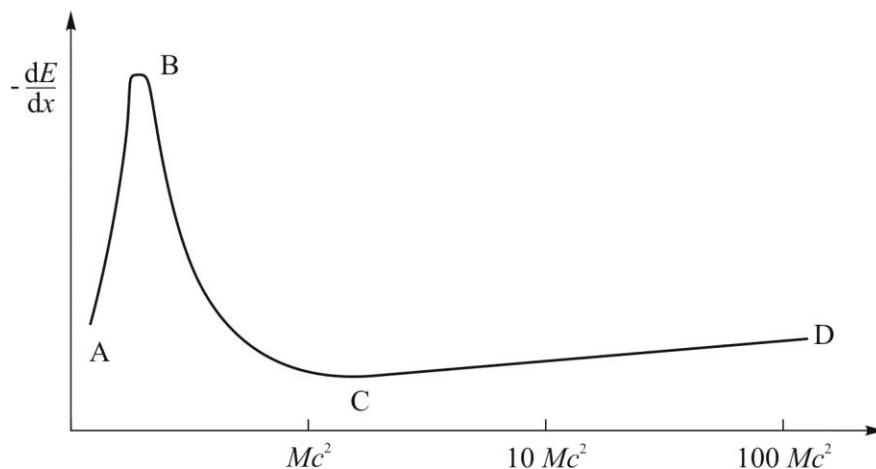
Merenje dometa alfa čestice u vazduhu vrlo je jednostavno. Naspram izvora alfa čestice postavi se detector zračenja koji se postepeno odaljavai meri intenzitet zračenja ili broj detektovanih čestica. Ono rastojanje na kom detector pokazuje samo vrednosti fonskog zračenja smatra se dometom alfa čestica. Alfa čestice energije 7 MeV imaju domet u vazduhu oko 6 cm, dok one sa energijom 3 MeV imaju domet 1.65 cm.

Prodorna moć alfa čestice vrlo je mala čak i u materijalima koji su sačinjeni od lakih elemenata. Domet u bilo kom materijalu možemo odrediti ukoliko nam je poznat domet u nekom drugom materijalu, najčešće je to vazduh.

Izraz ga gubitak energije alfa čestice dali su Bete i Bloho i to se naziva Bete-Blohova relacija. Energija koju izgubi alfa čestica direktno je srazmernu kvadratu njenog nanelektrisanja i broju elektrona po jedinici zapremina, a obrnuto je srazmerna kvadratu njene brzine. Bete-Blohova relacija data je u obliku:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 Z^2 N Z}{(4\pi\epsilon_0)^2 M_e v^2} \left[ \ln\left(\frac{2M_e v^2}{I}\right) - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]$$

gde je  $I$  srednji ionizacioni potencijal atoma materijala kroz koji se čestica kreće, a  $\beta$  je odnos brzine čestice i brzine svetlosti.



Grafik 3. Zavisnost gubitka energije alfa čestice po jedinici puta od energije

U intervalu krive od B do C vidimo jasnu obrnutu srazmernost od energije čestice. U delu C do D vidimo lagani porast zbog doprinosa logaritamskog člana, dok prvi deo krive nije predviđen Bete-Blohovom relacijom. Jonizacioni gubici alfa čestice padaju na nulu sa smanjenjem njene energije. Ovo je već objašnjeno prethodno da alfa čestica postaje neutralan atom helijuma koji ne može da vrši jonizaciju.

### 1.3. Osnovne dozimetrijske veličine

Da bismo kvalitativno i kvantitativno opisali dejstvo zračenja kao i biološke promene koje su nastale usled delovanja zračenja na organizam uvodimo određene fizičke veličine poznatije kao dozimetrijske veličine.

Oblast koja se bavi mehanizmima pod kojim dolazi do predaje energije zračenja organskim materijalima, kao i načinima merenja i izračunavanja doze, naziva se dozimetrija (Todorović, 2009).

#### Apsorbovana doza

Apsorbovana doza predstavlja energiju zračenja apsorbovanu po jedinicu mase. Označava se sa D.

$$D = \frac{dE}{dm}$$

gde je: dE- Srednja energija ionizujućeg zračenja predata materiji po jedinici zapremine

dm- Masa materije u jedinici zapremine

Merna jedinica za apsorbovanu dozu je grej [Gy].

#### Ekspoziciona doza

Ekspoziciona doza odnosi se na ionizaciono dejstvo x-zračenja i gama zračenja. Označava se sa X.

Relacija kojom se definiše ekspoziciona doza :

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

gde je: -  $\Delta Q$  absolutna vrednost ukupne količine nanelektrisanja svih jona istog znaka u vazduhu izražena u kuluonima

-  $\Delta m$  masa vazduha u kilogramima

Merna jedinica za ekspozicionu dozu je C/kg, a vasistemska jedinica je R (rendgen)

### Ekvivalentna doza

Da bismo detaljno opisali verovatnoću nastanka štetnih efekata usled dejstva jonizujućeg zračenja na organizam nije nam dovoljno da koristimo samo apsorbovanu dozu. Iz tog razloga uvodi se noa dozimetrijska veličina – ekvivalentna doza. Ova fizička veličina predstavlja proizvod apsorbovane doze D, faktora kvaliteta Q i proizvoda svih drugih modifikujućih faktora N.

$$H = D \cdot Q \cdot N$$

Faktor N po dogovoru Komisije za zaštitu od zračenja ima vrednost 1 dok faktor kvaliteta zavisi od vrste zračenja. Preporučene vrednosti faktora kvaliteta Q date su u tabeli 1.

Vrsta zračenja	Faktor kvaliteta Q
Rendgensko, gama, beta	1
Termalni neutron	5
Neutroni i protoni	20
Alfa čestica	20
Teška jezgra	20

Tabela 1. faktori kvaliteta za različite vrste zračenja

Jedinica za ekvivalentnu dozu je Sv ( sivert ),  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$

### Efektivna doza

Efektivna doza predstavlja zbir svih ekvivalentnih doza tkiva ili organa pomoženih sa odgovarajućim težinskim faktorom  $W_t$ . Merna jedinica za efektivnu dozu je takođe Sv (sivert).

Efektivna doza definiše se izrazom:

$$H = \sum W_t H_t$$

Tkivo ili organ	Težinski faktor tkiva ( $W_t$ )
Gonade	0,20
Crvena koštana srž, debelo crevo, pluća, želudac	0,12
Bešika, dojka, jetra, jednjak	0,05
Koža, površina kostiju	0,01
Ostalo	0,05

Tabela 2. Težinski faktori tkiva

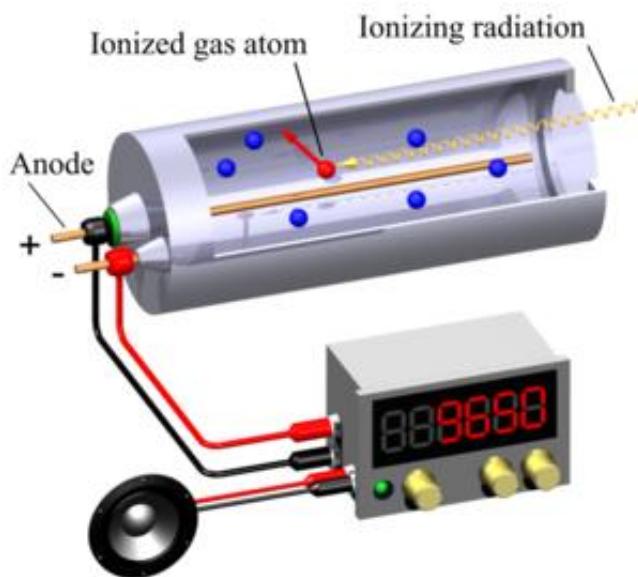
## 1.4. Princip rada Gajger-Milerovog brojača

GM brojač je vrsta gasnog detektora koji služi za detekciju ionizujućeg zračenja ( alfa, beta, gama ili X zraka ) (Krmar, 2013). Delovi GM brojača su hermetički zatvoren, šupalj cilindar koji je ispunjen plemenitim gasom ( Ar, He ) 90% i malom količinom para organskih ili halogenih molekula pod sniženim pritiskom ( 0,1 atm ).

Radni gas je jedan od plemenitih gasova i služi za detekciju radioaktivnog zračenja, dok halogene i organske pare služe za gašenje lažnih pulseva koje ne potiču od radioaktivnog zračenja.

Zid metalnog cilindra povezan je za negativan pol izvora napona i predstavlja katodu. Duž centra cilindra proteže se volfram žica, pričvršćena jednim krajem za osnovu cilindra i povezana je za pozitivan pol izvora napona odnosno predstavlja anodu. Na suprotnoj osnovi cilindra se nalazi prozor za prolaz radioaktivnog zračenja.

Materijal od koga je izrađen prozor zavisi od vrste zračenja za čiju detekciju je namenjena GM cev. Za alfa i beta zračenje niskih energija (mala moć prodiranja), prozor se izrađuje od liskuna (mala gustina). Deblji slojevi materijala ili materijali većih gustina (staklo ili tanak list metala) koriste se za detekciju beta zračenja velikih energija. Za detekciju gama zračenja GM cev se izrađuje bez prozora. Između anode i katode vlada visoki napon (oko 1000 V), proizvodeći jako električno polje.



Slika 2. Šema GM brojača

Radioaktivno zračenje kreće se nasumično van komore GM brojača. Neka količina zračenja prolazi kroz komoru Gajger-Mileroog brojača. Kada se zračenja sudari sa atomima gasa u cevi, nastaju parovi elektrona i pozitivnih jona i ovaj proces se naziva primarna ionizacija. Pošto u komori postoji električno polje pozitivni joni putuju ka zidu GM cevi koja predstavlja katodu, a elektroni se ubrzavaju ka anodi. Oni na tom putu dobijaju dovoljno ubrzanja da ionizuju druge atome gasa i ovaj proces je sekundarna ionizacija. Sekundarnom ionizacijom stvoreni su novi elektroni koji dalje ionizuju atome gasa. Na ovaj način nastaje lavina elektrona koja stvara elektronski oblak oko anode. Vrlo je važno znati da ionizacija samo jednog atoma gasa može izazvati lavinu elektrona ( $10^6$ - $10^8$  elektrona). Signal se značajno pojačava i bila lako detektovan. Kada lavina elektrona stigne do anode izaziva naponski puls u spoljašnjem električnom kolu. Naponski puls se pojačava u pojačivaču i prikazuje na ekranu brojača. Kada nema radioaktivnog zračenja, nema ni struje između metalnog cilindra i žice u spoljašnjem električnom kolu.

Katjoni argona bi se mogli neutralisati na katodi u ekscitovanom stanju ili bi mogli izbiti elektrone sa katode. Ionizacija gasa nastala dejstvom izbijenih elektrona sa katode ili interakcijom elektromagnetskog zračenja nastalih nakon deeksitacije neutralisanih katjona nije poželjna. Pare organskih molekula služe da neutrališu Ar katjone pre nego što stignu do katode. Katjoni organskih molekula se neutrališu na katodi u osnovnom elektronском stanju.

## 2. Radioizotopi u detektorima dima

### 2.1. Americijum-241

$^{241}\text{Am}$  je izotop americijuma. Kao i svi izotopi americijuma radioaktivan je. Vreme poluraspada ovog radioizotopa 432.2 godine. Najčešće,  $^{241}\text{Am}$  nalazimo u obliku americijum-241 dioksida ( $^{241}\text{AmO}_2$ ). Aktivnost  $^{241}\text{Am}$  iznosi 117.29 GBq po gramu (Radiation Safety Handbook)

Prvi uzorak ovog elementa dobijen je bombardovanjem plutonijuma neutronima u nuklearnom reaktoru na Univerzitetu u Čikagu. Ime americijum dobio je po Americi, kontinentu gde je otkriven. Prvi izotop koji je izlovan bio je upravo  $^{241}\text{Am}$ .

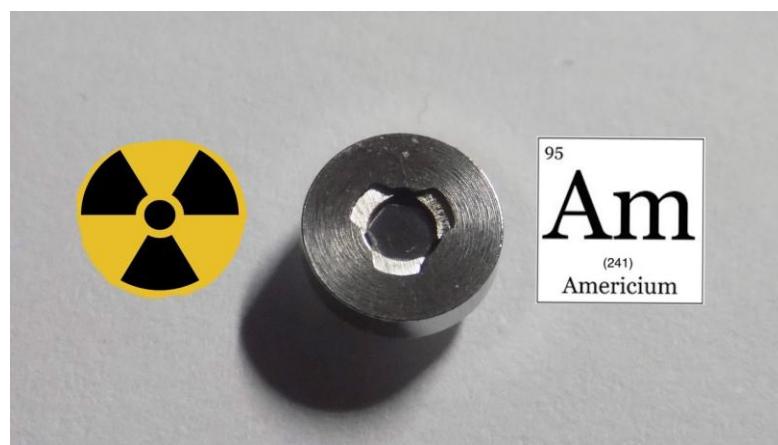
Americijum i danas ima visoku cenu na tržištu, gotovo nepromjenjenu u odnosu na prvobitnu, iz razloga što je njegova separacija komplikovan proces.

Americijum se ne sintetiše direktno iz uranijuma nego iz plutonijuma koji prvo mora biti dobijen, a zatim bombardovanjem plutonijuma neutronima dobija se  $^{241}\text{Am}$ .



Ovaj radioizotop našao je primenu u detektorima dima zahvaljujući emisiji alfa čestica i jedini je sintetički radioizotop koji se koristi za kućnu upotrebu.  $^{241}\text{Am}$  je zamenio radijum-226 u detektorima dima prvenstveno zbog toga što emituje pet puta više alfa čestica nego radijum.

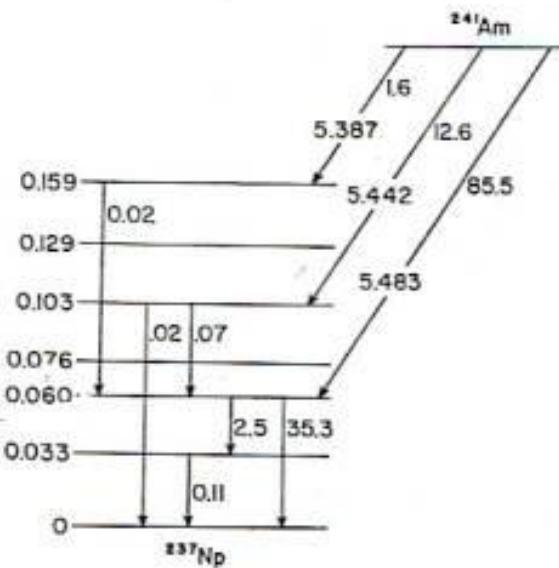
U tipičnom detektoru dima nalazi se 0.29 mikrograma  $^{241}\text{Am}$  čija je aktivnost 37 kBq. (slika 4)



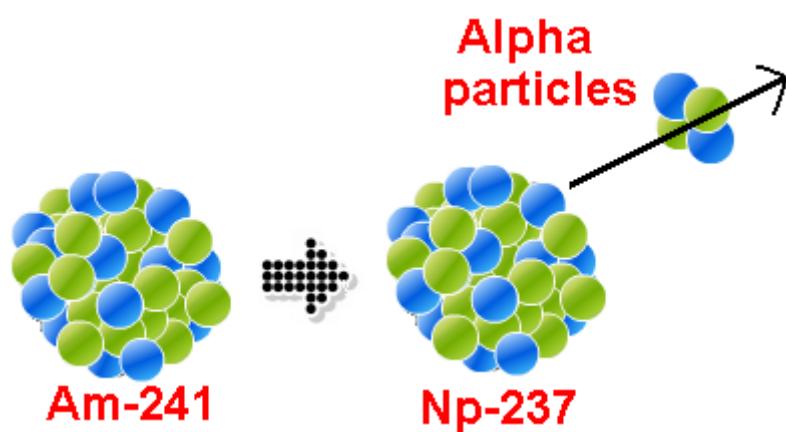
slika 4. Am-241 u detektoru dima

## 2.2. Šema raspada $^{241}\text{Am}$

$^{241}\text{Am}$  se raspada putem alfa raspada sa pratećim slabim gama zračenjem.



Energije alfa čestica nastale tokom ovog raspada iznose u 85 % slučajeva 5,483 MeV što je opšte prihvaćena energija alfa čestice. U 13% slučajeva energija alfa čestice iznosi 5,442 MeV, a u 2% slučajeva energija je 5,387 MeV. Energija gama zraka iznosi 60 keV.



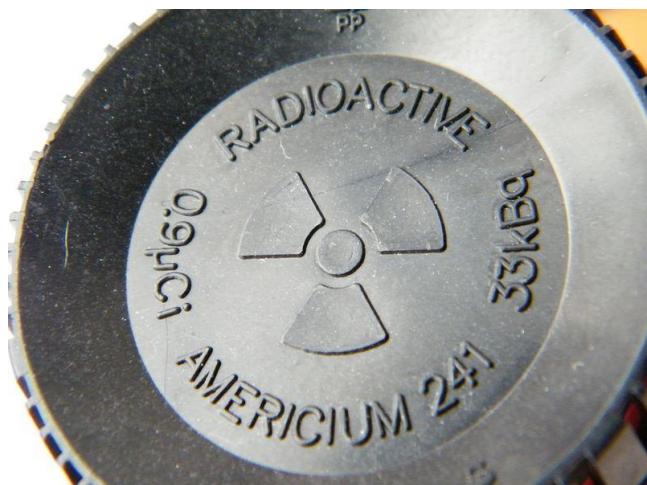
Slika 5. Šema raspada Am-241

## 2.3. $^{241}\text{Am}$ u detektorima dima

$^{241}\text{Am}$  je alfa emiter sa periodom poluraspada 432.2 godine. Alfa čestice koriste se iz dva razloga. Prvi razlog je to što imaju visoku moć ionizacije pa lako ionizuju vazduh i omogućavaju protok nanelektrisanja, a drugi je što je prodornost alfa čestica izuzetno mala pa se lako i potpuno bezbedno zaustavljaju plastikom u kojoj se nalazi detektor (Americium in Smoke Detectors, EPA).

Oko 1 % emitovanog zračenja iz izvora  $^{241}\text{Am}$  su gama zraci.

Aktivnost  $^{241}\text{Am}$  u ovim detektorima je dovoljno niska da ne podleže regulativama koje su propisane za izvore visokih aktivnosti. U kapsuli se nalazi oko 0.3  $\mu\text{g}$  izotopa čija je aktivnost 33 kBq odnosno 0.9  $\mu\text{C}$ . Ova količina dovoljna je da bi se uspešno detektovao dim, a opet dovoljno mala da proizvodi relativno malu radijaciju oko sebe. (Smoke detectors and Am-241 fact sheet. Canadian nuclear society, 2009.)



Slika 6. Kontejner sa  $^{241}\text{Am}$  iz detektora

### **3. Detekcija požara**

#### **3.1. Značaj instaliranja sistema za zaštitu od požara**

Kada govorimo o požaru i sistemima za zaštitu od požara važno je da shvatimo namenu ovih sistema i kolika je korist od njih. U nekim slučajevima kod ljudi postoji neosnovano mišljenje da će sistemi za zaštitu od požara sprečiti njihov nastanak. Statistička verovatnoća da se požar dogodi u objektima koji poseduju sisteme zaštite od požara potpuno je jednaka verovatnoći da se požar desi u objektima koji nemaju ovakve sisteme zaštite. Ovi sistemi ne poseduju sposobnost da zaustave nastanak požara. Ono što sistemi zaštite od požara mogu da pruže jeste rano otkrivanje požara, a samim tim sprečavanje njegovog širenja, manju materijalnu štetu i što je najvažnije smanjen broj ljudskih žrtava (Hafiefendžić, 2006).

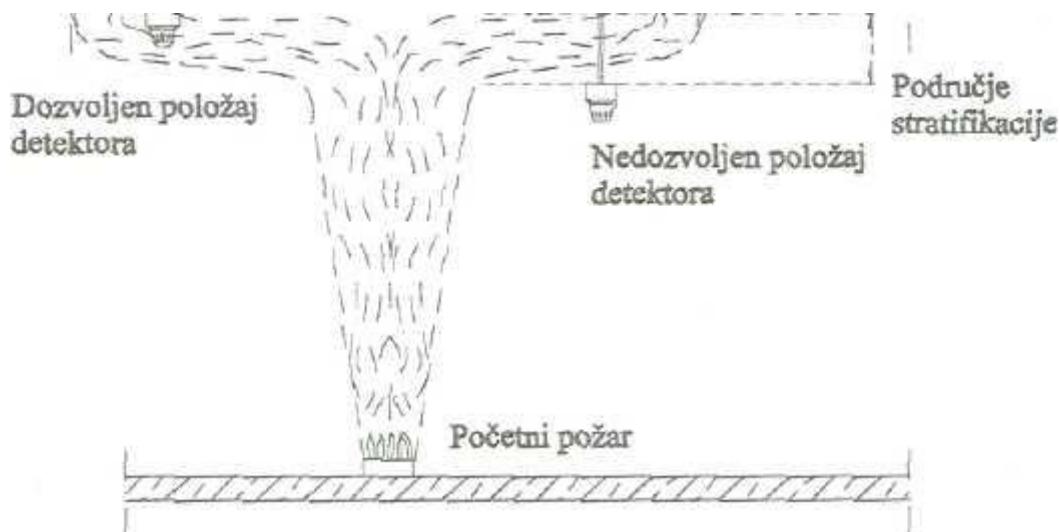
Pod pojmom požara podrazumeva se niz složenih hemijskih reakcija, transporta mase i energije koji se dešavaju u različitim realnim uslovima. U ove uslove spadaju količina, vrsta i toplotna moć materijala koji učestvuju u požaru, zatim njihov oblik, agregatno stanje i prostorni raspored kao i količina kiseonika koja je raspoloživa i mogućnost da on reaguje sa gorivim materijalom. Svi ovi uslovi podležni su promenama u toku samog požara.

Ponekad se u posebno pripremljenim uslovima vrši modeliranje požara koji ima cilj da prognozira kako bi izgledao potencijalni požar u pojedinom objektu ili prostoru radi organizovanja potrebne zaštite od posledica požara.

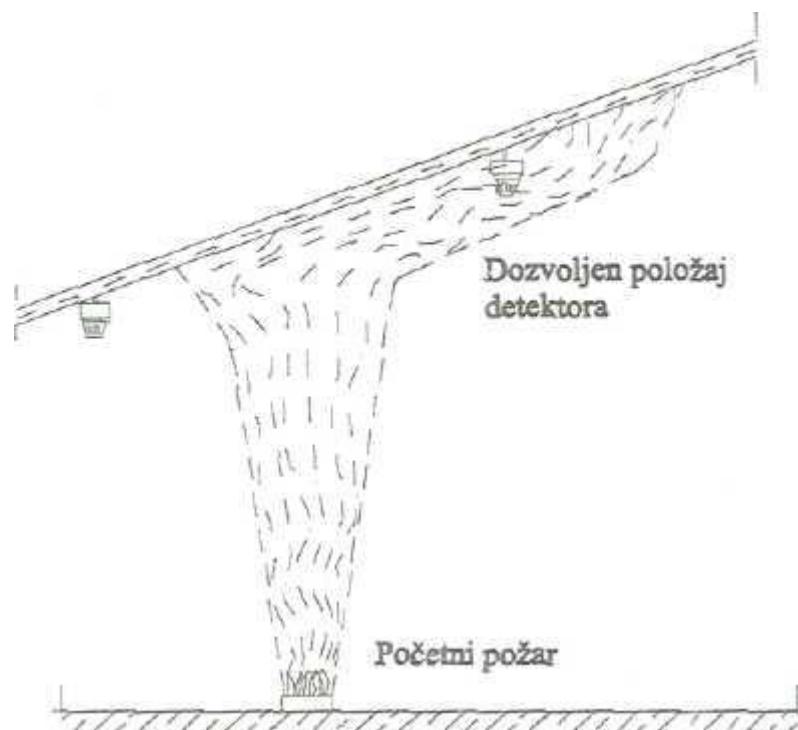
Požari se dele na dve osnovne faze. Prva faza nastaje pri inicijalnom paljenju i traje dok požar ne obuhvati sav prostor. Druga faza traje do prestanka požara uključujući i fazu hladjenja. Dužina trajanja faza varira od slučaja do slučaja, uglavnom prva faza traje duže, ali u pojedinim slučajevima situacija može biti i obrnuta.

Požari se mogu opisivati i matematičkim metodama. Prva metoda kojim se opisuje požar jeste integralna metoda. Za ove metode koriste jednačine održanja energije i mase za temperaturu, gustinu, pritisak... Radi lakše analize prostor se deli na zone i određuju se srednje temperature prostora za zonu, temperature obloga prostorije i slojeva konstrukcije kao i srednje koncentracije gasova.

Kod diferencijalnih metoda primenjuju se zakoni dinamike neprekidnih sredina, zakoni provođenja toplote, zračenja itd. Dobijene jednačine opisuju varijacije sastava, temperature i drugih karakteristika pojedinih tačaka gasne sredine u vremenu. Ove metode omogućile su proučavanje temperturnih polja, polja brzine, koncentracije gasnih smeša kao i optimalnih položaja detektora požara.



*Slika 7. Stablo požara kod ravnih plafona*



*Slika 8. Stablo požara kod kosih plafona*

Za sisteme za detekciju požara ključna je prva faza požara i to početni požar. U toj fazi posle inicijalnog paljenja dolazi do značajne emisije dima praćene neznatnim porastom temperature.

Osnovni fenomeni požara jesu razvoj toplove, povećanje temperature, pojava dima i zračenjem. Druge promene u prostoriji gde deluje požar jesu promena koncentracije kiseonika uz povećanje koncentracije CO ili CO<sub>2</sub>, promena vlažnosti vazduha... Pod dejstvom sile potiska topli vazduh zajedno sa česticama dima, gasovima i produktima sagorevanja kreće se

ka višim tačkama prostora. Ovo kretanje traje dok se ne izjednače temperature okolnog vazduha i temperature toplog vazduha, gasova i dima.

Prostor u kome struje topli gasovi i dim ima oblik obrnute uske kupa sa vrhom na mestu inicijalnog požara. Ova kupa naziva se stablo požara.

Kada se temperatura dimne kupe izjednači sa temperaturom okolnog vazduha dolazi do širenja produkata sagorevanje i dima i u horizontalnom pravcu i ova pojava naziva se stratifikacija.

Ako bi izostala stratifikacija, tačkasti detektori dima ili temperature u najvećem broju slučaja neće bili obuhvaćeni dimnom kupom-stablu požara, te neće dati odziv na požar. To je razlog što tačkasti detektori temperature i linijski i tačkasti detektori dima ne mogu uspešno da se koriste za zaštitu otvorenih prostora bez horizontalnih prepreka.

## 4. Princip rada jonizujućih detektora dima

Pojava ionizacionog detektora dima predstavlja pravu prekretnicu u istoriji sistema za detekciju požara. Ovi detektori su osnovni detektori u gotovo svim sistemima protivpožarne zaštite u savremeno doba. Njegove osnovne prednosti jesu jednostavna konstrukcija, nizak nivo radioaktivnosti, relativno brz odziv na sva vrste požara i prihvatljiva cena.

Ionizacioni detektor dima funkcioniše po principu ionizacione komore koja predstavlja sistem od dve elektrode jasno definisane geometrije koje su polarizovane dovođenjem jednosmernog napona, a prostor između njih izložen je radioaktivnom zračenju. Prostor između elektroda ispunjen je vazduhom koji je jonizovan dejstvom emitera zračenja (Hafiefendžić, 2006).

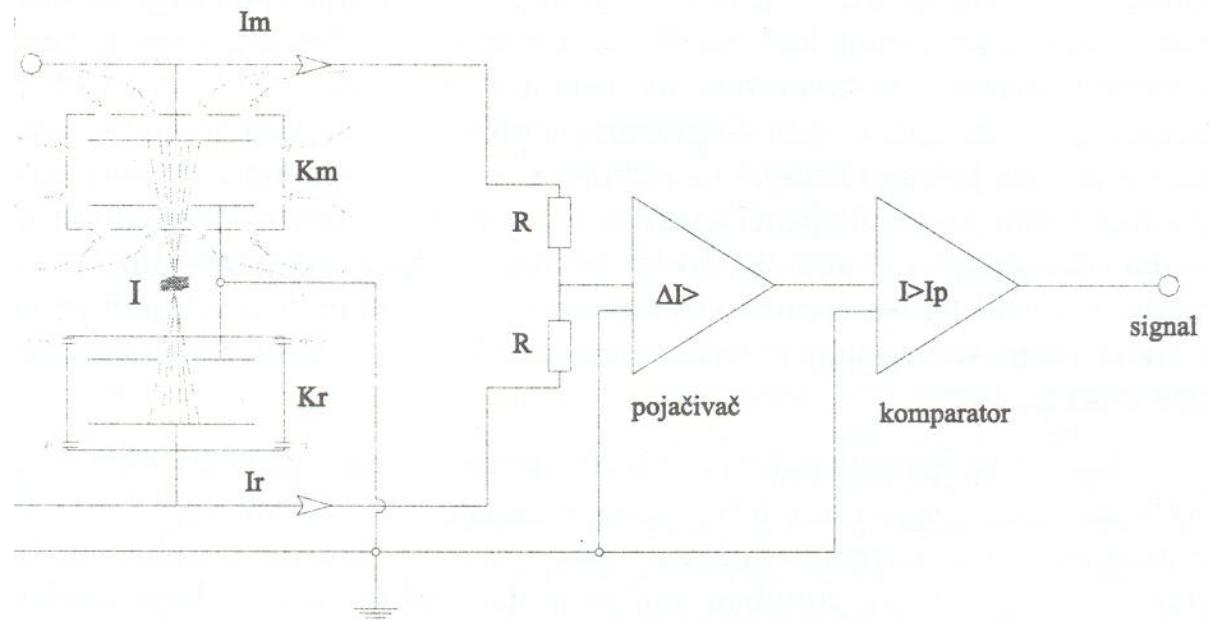
U normalnim uslovima vazduh nije provodan jer se u njemu nalaze neutralni atomi, ali ukoliko se u vazduhu nadju alfa čestice koje potiču iz izvora  $^{241}\text{Am}$  vazduh postaje provodan. Alfa čestice u sudaru sa atomima vazduha izbijaju iz atoma jedan elektron koji je negativno nanelektrisan dok ostatak atoma postaje pozitivan jon. Sada se elektroni kreću ka pozitivnoj elektrodi dok se pozitveni joni kreću ka negativnoj elektrodi i na taj način se uspostavlja protok nanelektrisanja i dobija se ionizaciona struja.

Veličina ionizacione struje zavisi prvenstveno od geometrije komore, napona između elektroda i jačine radioaktivnog izvora. Ukoliko je ionizaciona struja mala može doći do oglašavanja alarma ili nekih drugih neočekivanih stanja detektora u slučaju povećanja vlažnosti vazduha ili ako je detector zaprljan hidroskopnim materijalima.

Početna ionizujuća struja čiste komore osim od osnovnih parametara ( jačina radioaktivnog izvora, napona između elektroda, konstrukcije komore) zavisi i od nekih drugih

parametara, tj. atmosferskih uslova- pritiska, vlažnosti i temperature vazduha. Ovo znači da bi promene atmosferskih uslova mogle dovesti do promene ionizacione struje čak i bez pojave dima. Zbog toga se upotreba jedne ionizacione komore nije pokazala uspešnom ni u jednoj savremenoj konstrukciji ionizacionih detektora.

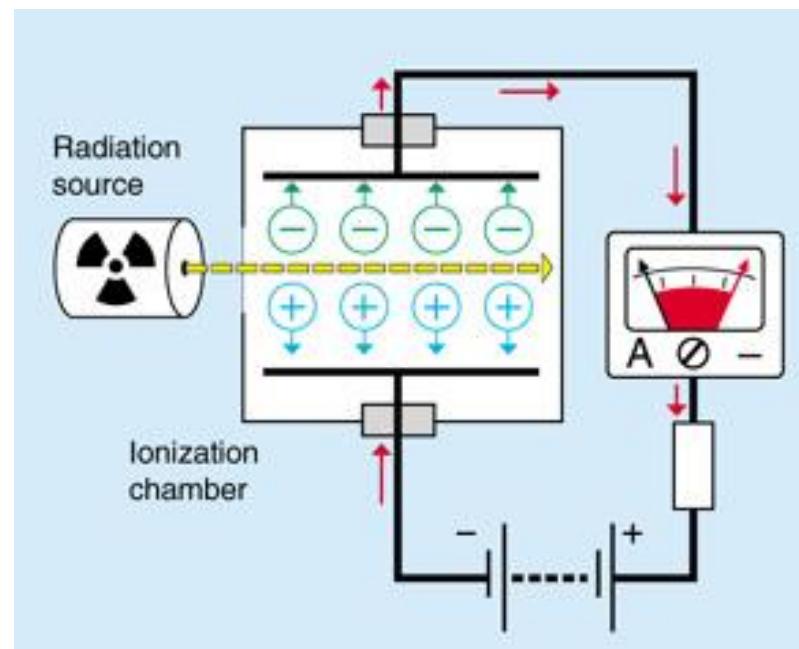
Da bi se eliminisao uticaj atmosferskih uslova, osim merne uvodi se i referentna komora koja je zatvorena, te vazduh ulazi u nju vrlo otežano procesom difuzije. Detektor se sastoji iz ove dve komore, iste ili slične geometrije, izložene istom intenzitetu zračenja. Jedna komora je otvorena prema spoljašnjosti i u nju slobodno ulaze vazduh i dim i ona se naziva merna komora. Druga je od okoline odvojena uskim otvorima. Vazduh ovu komoru ulazi procesom difuzije koji je spor process mešanja čistog vazduha sa vazduhom koji sadrži čestice dima. Ovakav transport vazduha je suviše spor da bi veće količine dima dospele u ovu komoru u vremenu koji je od interesa za detekciju požara in a taj način se ionizaciona struja ove komore ne menja čak ni prvi pojavi dima o spoljnem prostoru. U mernu komoru dim ulazi brzo, te se i ionizacione struja ove komore jako brzo smanjuje. Na ovaj način dolazi do neravnoteže između ionizacionih struja u mernoj i u referentnoj komori. Naime, struja u mernoj komori se drastično smanjuje, dok struja u referentnoj komori ostaje ista. Razlika izmedju merne i referentne struje vodi se na elektronski pojačavač i elektronski komparator. Kad razlika struja komora posle komparatora premaši postavljeni prag detekcije, detektor prelazi u stanje alarma koje se manifestuje naglim povećanjem struje kroz detektor, odnosno smanjenjem napona na liniji. Detektor se može prikazati ekvivalentnim otpornikom koji ima visoku otpornost u situacijama kada je nivo aerosola takav da nije došlo do okidanja detektora. Kada koncentracija aerosola premaši postavljeni prag, struja kroz detektor poraste, njegov ekvivalentni otpor se naglo smanji i to izaziva povećanje struje u liniji, odnosno pad napona u liniji koji centralni uređaj prepozna kao signal alarma. Atmosferske promene, odnosno promene pritiska, temperature i vlažnosti relativno su veoma spore, pa je proces difuzije dovoljno brz da prati varijacije ovih veličina. Naime, struja merne i referentne komore menjajuće se približno jednakom, kada su spore promene uslova atmosfere (temperatura, pritisak i vlažnost) i tako se ove promene neće reflektovati na odziv detektora.



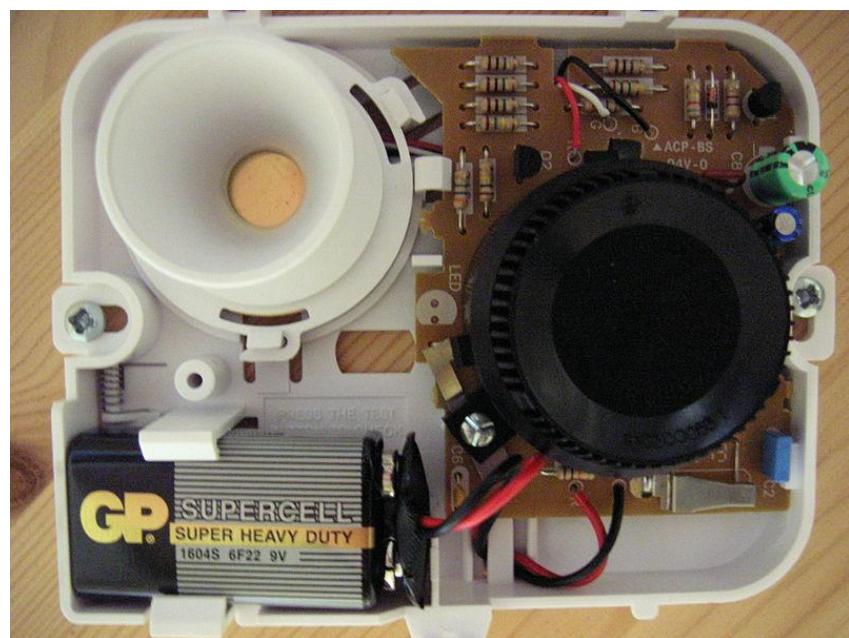
*Slika 9. Principijelna šema jonizacionog detektora Km - merna komora  
Kr - referentna komora -izvor zracenja  $^{241}Am$*

Ionizaciona struja merne i referentne komore menja se jednako pri promeni atmosferskih uslova i njihova razlika je obično jednaka nuli. Mala razlika u struji ipak postoji čak i u normalnim uslovima kada nema dima u okolini, stoga se prag detekcije mora postaviti dovoljno visoko da bi se sprečilo aktiviranje alarme u normalnim uslovima.

Ukoliko se pojavi dim u spoljašnjem prostoru, on relativnu brzo ulazi u mernu komoru, a gotovo nimalu u referentnu komoru. Struja u mernoj komori se smanjuje srazmerno količini dima u njoj, pa se pojavljuje neravnoteža mosta kojim su ove dve komore spojene. Rezultantna diferencijalna struja pojačava se u elektronskom pojačavaču i ako ona premaši vrednost postavljenog praga oglašava se alarm.



*Slika 10. Šema jonizacionog detektora sa izvorom  $^{241}\text{Am}$*



*Slika 11. Unutrašnjost detektora dima*

## 5. Zakonske regulative

Jonizujući detektori dima koriste izvore radioaktivnog zračenja koji spadaju u grupu zatvorenih izvora. To znači da je jonizujući izvor, u ovom slučaju  $^{241}\text{Am}$  smešten u hermetički zatvorenu kapsulu i da pri normalnim uslovima korišćenja radioaktivni izvor ne dospeva u životnu sredinu i ne vrši njenu kontaminaciju.

Osoba koja je zadužena za mere zaštite od jonizujućeg zračenja mora se odgovorno odnositi prema svom poslu. Dužnost ove osobe po zakonu jeste da štiti svoje okruženje i sebe od jonizujućeg zračenja i osigura zdravlje i bezbednost svih zaposlenih na radnom mestu. Zaduženo lice stalno mora proveravati da li su potencijalni rizici od akcidenata uklonjeni i da li ostali zaposleni postupaju u skladu sa zakonskim regulativama. To naravno znači da svi zaposleni moraju biti upućeni u svoje dužnosti i ispravno obučeni za posao koji rade.

Da bi mogli da koriste jonizujuće izvore zračenja, pravna lica i preduzetnici, moraju da imaju odgovarajuće prostorije koje ispunjavaju zakonom propisane standard za bezbedan rad sa izvorima jonizujućeg zračenja i za njihovo čuvanje. U zakonskoj regulativi postoje tačno naglašeni standardi koje takva prostorija mora da ispunjava. Takođe, neophodno je zaposliti lica koja ispunjavaju određene propise za rad sa određenim izvorom zračenja ( u slučaju jonizujućih detektora dima ta lica moraju imati najmanje IV stepen stručne spreme).

U cilju što bolje zaštite od jonizujućeg zračenja neophodno je istaći uputstvo o merama zaštite od jonizujućeg zračenja i o postupku u slučaju akcidenta, napisano od strane ovlašćenog pravnog lica, u prostoriji gde se nalaze radioaktivni izvori. Ukoliko je izvor neophodno preneti sa jednog na drugo mesto u krugu korisnika i unutar prostorija to se mora učiniti u kontejnerima koji slabe zračenje do propisanog nivoa.

Izvore radioaktivnog zračenja potrebno je u skladu sa zakonom prijaviti Agenciji za zaštitu od jonizujućeg zračenja i voditi adekvatnu evidenciju o njima.

U Pravilniku o prijavljivanju i evidentiranju izvora jonizujućih zračenja (Sl. gl. RS 25/11 od 12.04.2011) definisano je da uređaji sa zatvorenim izvorima zračenja kod kojih jačina doze, izmerena na 10 cm od površine uređaja u bilo kojoj dostupnoj tački nije veća od  $1 \mu\text{Sv/h}$  podležu regulatornoj kontroli i obavezno se evidentiraju, pri čemu Agencija za zaštitu od jonizujućih zračenja i nuklearnu sigurnost Srbije izdaje potvrde o evidentiranju jonizujućih detektora dima.

## 6. Rukovanje jonizujućim detektorima dima koji sadrže $^{241}\text{Am}$

U ionizujuće detektore dima mogu se ugrađivati izvori ionizujućih zračenja čija aktivnost ne prelazi 185 kBq, pri čemu se ne smeju ugrađivati izvori zračenja koji su u gasovitom ili imaju potomke u gasovitom stanju (NRPB, 1992).

Za procenu radijacione sigurnosti važno je znati kolika je aktivnost izvora ionizujućeg zračenja, odnosno neophodno je precizno meriti doze zračenja u prostoriji gde se detektor nalazi.

Zakonski je propisano da jačina ekvivalentne doze merene na 10 cm od bilo koje tačke spoljne površine uloška detektora ne sme biti veća od 1  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ .

Prilikom čišćenja i održavanja izvora ionizujućeg zračenja potrebno je držati se procedure koja je propisana u tehničkoj dokumentaciji.

Najveća opasnost pri rukovanju ionizujućim detektorima dima koji sadrže  $^{241}\text{Am}$  jeste njegova radioaktivna komponenta.

$^{241}\text{Am}$  emituje alfa čestice i mali procenat gama zračenja. Glavna prednost je to što je prodorna moć alfa čestica mala i lako se zaustavljuju.

**Tabela 3. Opasnosti pri rukovanju ionizujućim detektorima dima koje sadrže  $^{241}\text{Am}$**

Vrsta ionizujućeg zračenja	Emisija	Komentari
Alfa	✓	Alfa zračenje koje emituje radioaktivni izvor $^{241}\text{Am}$ se apsorbuje u zaštitnom omotaču glave ionizujućeg detekora dima. Alfa zračenje predstavlja potencijalnu opasnost samo ukoliko dođe do razbijanja glave detektora i ispadanja izvora $^{241}\text{Am}$ iz detekora dima.
Beta	x	
Gama	✓	Gama zračenje i nisko energetsko gama X zračenje koje emituje $^{241}\text{Am}$ prolazi kroz zaštitni omotač glave ionizujućeg detektoru dima i doprinosi dozi ionizujućeg zračenja na rastojanjima do 30 cm od glave detektora.
X-zračenje	x	
Neutroni	x	

Iz tabele vidimo da alfa zračenje predstavlja opasnost samo ukoliko dodje do akcidenta, odnosno ukoliko se izvor ionizujućeg zračenja ispadne iz detektora ili ukoliko se razbije glava detektora dima.

## **6.1. Preventivne mere od akcidenata**

Kao i svi izvori jonizujućeg zračenja izvor u detektoru dima zahteva redovno servisiranje i održavanje. Lice koje je zaduženo za servisiranje i održavanje izvora mora biti dobro obučeno i mora pažljivo da rukuje izvorom pridržavajući se propisanih mera.

Akidenti koji mogu nastati pri servisiranju, postavljanju i čišćenju jesu mogućnost većeg ozračivanja kao i nehotično unošenje  $^{241}\text{Am}$  u organizam.

## **6.2. Uputstvo za rukovanje izvorom jonizujućeg zračenja**

Da bismo izbegli akidente prilikom čišćenja detektora dima vrlo je važno da se poštuje procedura i uvaže preporučene mere preventive.

Za rukovanje izvorima mora postojati posebna prostorija opremljena po zakonskim regulativama. Sva lica koja rade sa izvorima jonizujućeg zračenja moraju biti adekvatno obučena za to kao i da poznaju mere zaštite od jonizujućeg zračenja. Lice koje je zaduženo za servisiranje detektora mora se pridržavati uputstva iz tehničke dokumentacije i neophodno je da koristi zaštitnu opremu. Zaštitna oprema koja je neophodna jeste mantil, rukavice za jednokratnu upotrebu kao i nazuvke ili zaštitne čizme. Ova oprema je potrebna kako bismo sprečili da radioaktivni material eventualno dospe na garderobu ili delove tela. U laboratoriji u kojoj se radi sa jonizujućim izvorima najstrožije je zabranjen unos hrane i pića kao i pušenje i laboratorija ima status nadgledane kontamacione zone. Takođe, sve laboratorije moraju posedovati ispravan detektor zračenja, najčešće je to GM brojač, kao i posebne ormariće sa zaštitnom bravom u kojima se u posebnim metalnim kesama eventualno privremeno čuvaju izvori jonizujućeg zračenja, a neovlašćeni pristup je onemogućen.

Potencijalno opasna situacija i jedina u kojoj se dolazi do kontakta sa izvorom zračenja jeste čišćenje izvora. Čišćenje izvora vrši se uz pomoć vate i posebnog sredstva namenjenog za čišćenje izvora. Samo čišćenje vrši se blagim prelaskom natopljene vate preko površine radioaktivnog izvora. Da bismo sprečili eventualnu kontaminaciju okoline neophodno je odmah iskoriscenu vatu prineti uključenom GM brojaču i potvrditi da kontaminacije nije došlo. Odlaganje vate je zatim obavezno u plastičnu kesu u kantu sa nožnim otvaranjem. Nakon završetka servisiranja detektora, lice koje je izvršilo servis pakuje plastičnu foliju po posebnoj procedure tako što je hvata za uglove i savija ka sredini. Savijenu foliju odlaže u plastičnu kesu koja se smatra potencijalno kontaminiranom. U istu plastičnu kesu odlaže i rukavice za jednokratnu upotrebu.

Posle odlaganja opreme i zaštitnog odela, izvršilac proverava da li je prostorija u kojoj se nalazi kontaminirana koristeći GM brojač. Obavezno proverava i svoju odeću, otkrivene delove tela, posebno lice i ukoliko detektuje radioaktivnu česticu odmah vrši dekontaminaciju pomoću blagog rastvora limuske kiseline, detrdzenta, sapuna sa vodom i sl.

## 7. Akcidenti i postupanje u slučaju akcidenta

Do akcidenata sa detektorima dima sa jonizujućim zračenjem može doći iz dva razloga: 1. požar

2. zloupotrebe i oštećenja

Jedan od razloga kada dolazi do akcidenata jeste požar u prostoriji u kojoj se nalazi detektor dima, pri čemu je proceniti doze za vreme požara i posle požara kako bi utvrdili posledice i ozbiljnost akcidenta.

Drugi razlog koji dovodi do akcidenata jeste zloupotreba i oštećenje detektora dima sa jonizujućim zračenjem.

Rasklapanje i servisiranje detektora sa jonizujućim zračenjem mogu da vrše samo ovlašćena lica. Najznačajnija moguća zloupotreba ovih detektora jeste neovlašćeno i nezakonito rasklapanje istih. Pojedinac koji nestručno i neovlašćeno rasklopi detektor može dovesti do oštećenja izvora jonizujućeg zračenja dovodeći u opasnost sebe i okolinu.

Pri proceni doze koju primi pojedinac koji ošteti detektor koriste se sledeće hipoteze:

1. 1% od ukupne aktivnosti se oslobodi pri oštećenju
2. 10 % aktivnosti se prenese na prste i unese u organizam putem ingestije
3. Efektivna doza pri unošenju radionuklida u organizam ingestijom iznosi  $2.1 \cdot 10^{-6}$  Sv Bq<sup>-1</sup>.

Prepostavimo da je aktivnost izvora 40 kBq. Ako se oslobodi 1 % ukupne aktivnosti dobijamo vrednost od 0,4 kBq. 10 % se unese u organizam, dakle 0,04 kBq odnosno 4 Bq.

Preračunavanjem dobijamo da je doza koju pojedinac primi u ovom slučaju:

$$H = 4 \text{ Bq} \cdot 2.1 \times 10^{-6} \text{ Sv Bq}^{-1} = 8,4 \mu\text{Sv}$$

Iz ovih hipoteza izračunali smo godišnje efektivne doze koje primi pojedinac pri akcidentima, zloupotrebi i oštećenjima izvora jonizujućeg zračenja u detektorima dima i zaključujemo da ove doze ne prelaze granice zakonske regulative.

## 7.1. Postupanje u slučaju akcidenta

Ukoliko dodje do akcidenta u smislu mehaničkog oštećenja izvora ionizujućeg zračenja potrebno je momentalno zabraniti pristup kontaminiranom području u cilju zaštite osoba koje bi se eventualno našle u toj prostoriji. Nakon toga potrebno je obavestiti Agenciju za zaštitu od ionizujućeg zračenja i nuklearnu sigurnost kao i ovlašćenu instituciju za dekontaminaciju i odlaganje radioaktivnih materijala.

U slučaju da se ionizacioni detektor dima izgubi ili nestane potrebno je odmah obavestiti Agenciju za zaštitu od ionizujućeg zračenja i nuklearnu sigurnost Srbije.

Vrlo je važno poštovati navedene korake postupanja u slučaju akcidenta kako bi se akcident sanirao na pravi način bez nepotrebnih posledica u vidu proširenja kontaminacije van područja gde se dogodio akcident.



*Slika 12. Oštećen detektor dima*

## 8. Odlaganje detektora dima sa izvorom ionizujućeg zračenja

Budući da ovi detektori dima sadrže  $^{241}\text{Am}$  odnosno izvor ionizujućeg zračenja potrebno je poštovati zakonske regulative pri skladištenju istih u cilju sprečavanja akcidenata i zaštite okoline od potencijalne kontaminacije.

Potencijalna opasnost po zdravlje ljudi ili po okolinu zavisi od aktivnosti izvora kao i od vrste zračenja koju izvor emituje. Aktivnost radioaktivnog materijala izražava se u kirijima (Ci), međutim zbog toga što detektori dima sadrže jako malu količinu  $^{241}\text{Am}$ , aktivnost se izražava u  $\mu\text{Ci}$  ( $10^{-6}$  Ci).

$^{241}\text{Am}$  emisuje alfa čestice i niskoenergetske gama zrake prilikom raspada. Domet alfa čestica u vazduhu je vrlo mali, svega nekoliko centimetara, dok se niskoenergetski gama zraci većinom apsorbuju u okviru plastičnog kućišta detektora.

$^{241}\text{Am}$  koji se koristi u detektoru dima zaštićen je metalnim omotačem i smešten u ionizacionu komoru. Prema NRC-u ovaj izvor ne predstavlja opasnost po okolinu ukoliko ne dodje do oštećenja. Zračenje koje izade iz detektora dima je oko 3000 puta manje nego prirodno zračenje koje potiče od sunca, stena, vazduha i prisutno je svakodnevno.

Stari visokonaponski detektori dima sadržali su oko 80  $\mu\text{Ci}$   $^{241}\text{Am}$ , dok današnji detektori sadrže manje od 1  $\mu\text{Ci}$  istog izvora zračenja. Sa starim tipovima detektora dima potrebno je rukovati daleko pažljivije i drugačije nego sa modernim detektorima da bi se osigurala bezbednost ljudi i okoline životne sredine.

Ionizacioni detektori dima koji sadrže manje od 1  $\mu\text{Ci}$  ne podležu regulatornoj kontroli. To znači da se takvi detektori mogu odložiti u redovan otpad.

Stariji tipovi ionizacionih detektora dima koji sadrže više od 1  $\mu\text{Ci}$   $^{241}\text{Am}$  podležu regulatornoj kontroli i za njihovo odlaganje potrebno je poštovati zakonske regulative i nikako ih ne odlagati u redovan otpad.

Pre odlaganja jonizujućih detektora moramo biti sigurni da smo uklonili baterije iz kućišta i odložili ih kao potencijalno kontaminiran otpad. Takođe, nikada ne smemo rastavljati detektor prilikom odlaganja. Treba ga odložiti u celini kako je fabrički napravljen.

Postoje preporuke koji kažu da bi najbolje bilo nepotrebitne jonizujuće detektore dima vratiti proizvođaču na adresu koja je navedena na garantnom listu detektora.

### Vodič za odlaganje detektora

Ako je aktivnost Am-241 u detektoru:	Način odlaganja detektora
<b>Manja od 5 <math>\mu\text{Ci}</math></b>	Ovakvi detektori bi trebalo da se recikliraju ukoliko je to moguće. Ukoliko zakon države nalaže drugačije potrebno je uraditi po preporuci
<b>Veća od 5 <math>\mu\text{Ci}</math></b>	Ovi detektori moraju biti vraćeni proizvođaču. Kompletan detektor mora biti poslat proizvođaču, ali ne avionom. Kontaktirati proizvođača oko detalja slanja detektora.

Ukoliko se ionizacioni detektori skladište važno je da to rade posebno ovlašćene firme koje ispunjavaju sve zakonski propisane uslove.

Budući da opasnost od potencijalne kontaminacije raste kada se više detektora skladišti zajedno važno je da ne skladištimi više od 100 ionizujućih detektora zajedno u istu kutiju, kesu, sobu, osim ako ne pratimo uputstva iz naredne tabele :

**Tabela 2. Preporuke za skladištenje ionizujućih detektora dima koji sadrže manje od 80  $\mu\text{Ci}$  (8.96 MBq)  $^{241}\text{Am}$**

<b>Način skladištenja</b>	
<b>Pojedinačni detektori</b>	Svaki pojedinačni detektor potrebno je staviti u zapečaćenu plastičnu kesu. Ukoliko se skladišti manje od 100 ionizujućih detektora dima zajedno, ne postoje posebne preporuke za skladištenja.
<b>Više od 100 detektora</b>	Detektori se skladište u zasebnoj prostoriji. Svaki detektor je potrebno umotati u plastičnu kesu i zapečatiti i odložiti u odgovarajuće zaštitne kutije sa debljinom zidova
<b>Više od 400 detektora</b>	Ukoliko se skladišti više od 400 detektora u istoj prostoriji, potrebno je kontrolisati jačinu ambijentalnog ekvivalenta doze.

Ukoliko skladištimi ionizujuće detektore koji vise od 80  $\mu\text{Ci}$   $^{241}\text{Am}$  ili bilo koju količinu  $^{226}\text{Ra}$  potrebno je da se pridržavamo upustva iz tabele 3.

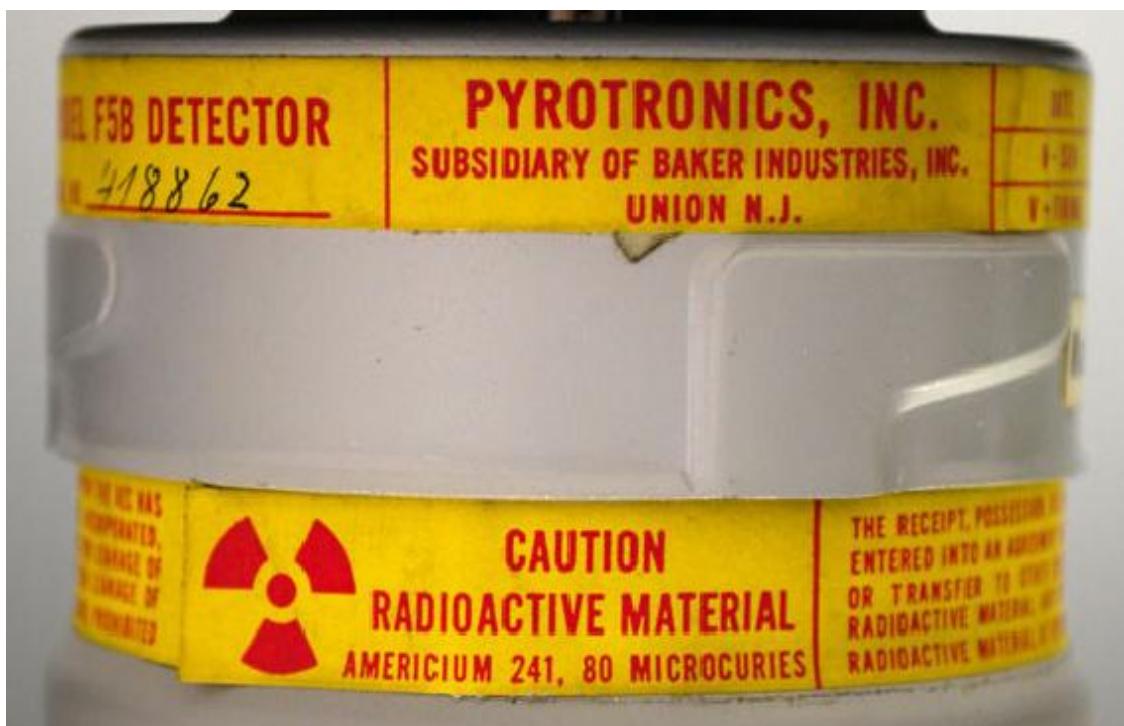
**Tabela 3. Uputstvo za skladištenje detektora koji sadrže više od 80  $\mu\text{Ci}$   $^{241}\text{Am}$  ili bilo koju količinu  $^{226}\text{Ra}$**

<b>Broj detektora koji se skladišti</b>	<b>Uputstvo za skladištenje</b>
<b>Svaki detektor posebno</b>	Svaki detektor treba posebno spakovati u plastičnu kesu. Ako se odlaže do 10 detektora nisu potrebne posebne lokacije za magacin
<b>Od 10 do 100 detektora</b>	Svaki detektor treba spakovati posebno u plastičnu kesu, a nakon toga staviti u kartonsku kutiju obloženu apsorberom zračenja. Kutije treba držati najmanje 10 m od mesta gde ljudi normalno borave
<b>Više od 100 detektora</b>	Svaki detektor treba spakovati posebno u plastičnu kesu, a nakon toga staviti u kartonsku kutiju obloženu apsorberom zračenja. Kutije treba držati u prostoru gde ljudi ne borave. Ukoliko vreme skladištenja prelazi 5 dana kutije treba rasporediti u raličitim prostorijama
<b>Više od 200 detektora</b>	Ako se u jednoj prostoriji skladišti više od 200 detektora potrebno je konstantno raditi monitoring zračenja u toj prostoriji

[Tech Talk, U.S. Fire Administration, Vol .1, No. 2, December 2009]

## 8.1. Prostorije za skladištenje jonizujućih detektor dima

Deinstalirane ionizujuće detektore dima potrebno je odložiti u odgovarajuću zaštitu koja mora biti obeležena znakom za radioaktivnost. Prostorije u kojima se skladište deinstalirani detektori potrebno je obeležiti znakom za radoaktivnost i natpisom: **JONIZUJUĆI DETEKTORI DIMA SADRŽE RADIOAKTIVNI IZVOR  $^{241}\text{Am}$ . OPASNOST OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA. MOGUĆA RADIOAKTIVNA KONTAMINACIJA UKOLIKO DOĐE DO MEHANIČKOG OŠTEĆENJA DETEKTORA DIMA.**



*Slika 13. Detektor dima sa ionizujućim zračenjem spremан за одлагање*

## 8.2. Praktično projektovanje mera radijacione sigurnosti i bezbednosti u prostorijama za skladištenje detektora

Projekat mera radijacione sigurnosti i bezbednosti rađen je za firmu „Vulkan inžinjering“ koja skladišti detektore dima sa jonizujućim zračenjem. U tabeli 4. dati su tipovi detektora koji se skladište kao i procenjene brzine doza na rastojanjima 2 m, 0.05 m i 0.01 m.

Za procenu doze koristimo sledeću formulu:

$$\frac{D}{t} = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2}$$

gde je : D/t brzina doze

A aktivnost izvora ionizujućeg zračenja

$\Gamma$  je gama konstanta za  $^{241}\text{Am}$  ( $8,48 \times 10^{-5}$  mSv/h na rastojanju od 1 m)

Tip detektora JDD 48E Elind ima aktivnost 48 kBq , na rastojanju od 2 m njegova brzina doze iznosi :

$$\frac{D}{t} = \frac{0,048\text{MBq} \cdot 8,48 \cdot 10^{-5} \text{mSv/h}}{(2\text{m})^2} = 1,03\text{nSv/h}$$

**Tabela 4. Tipovi ionizujućih detektora dima koji će se skladištiti u firmi Vulkan inženjering, aktivnosti  $^{241}\text{Am}$  i procenjene brzine ekvivalentnih doza na rastojanju d= 2m, 5 cm i 1 cm od izvora  $^{241}\text{Am}$ .**

Tip ionizujućeg detektora dima	A ( $^{241}\text{Am}$ ) (kBq)	D <sub>a</sub> (nSv h <sup>-1</sup> ) d = 2 m	D <sub>a</sub> ( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ ) d = 0.05 m	D <sub>a</sub> ( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ ) d = 0.01 m	Efektivna doza (mSv godišnje)
JDD 48E Elind	48	1.03	1.63	40.0	<0.05
Nitan Elind	74	1.56	2.50	62.7	<0.05
IDD 801 Tehnozavod	74	1.56	2.50	62.7	<0.05
DDJ 01 Vinča	66.5	1.41	2.25	56.4	<0.05
SV-1 Slavijaelektr	66.5	1.41	2.25	56.4	<0.05

Ukoliko se skladišti do 400 ionizujućih detektora dima potrebne debljine zaštitnih barijera za koje je jačina ambijentalnog ekvivalenta doze na površini zaštine barijere jednaka fonskoj prikazana je u Tabeli 5.

Debljina zaštitne barijere računa se prema formuli:

$$X = \frac{HVL \cdot \ln\left(\frac{D \cdot d^2}{\Gamma \cdot A \cdot t \cdot T}\right)}{\ln\left(\frac{1}{2}\right)} + HVL$$

gde je:

D-doza koju profesionalno izloženo osoblje primi u toku jedne radne nedelje

$\Gamma$  - gama konstanta (brzina doze od izvora)

A – aktivnost

d – rastojanje između izvora i tačke od interesa

x – debljina zaštitne barijere

HVL – debljina poluapsorbije

T – ukupno vreme u toku nedelje koju pojedinac proveže u području od interesa – okupacioni faktor

t – vreme u toku nedelje koje profesionalac proveže iza zaštitne barijere

$$HVL (^{241}Am) = 0.01 \text{ mm olova}$$

$$\Gamma(^{241}Am) = 8.48 \cdot 10^{-5} \text{ mSv/MBq} \cdot \text{h}$$

$$D = 0.02 \text{ mSv/nedelja}$$

$$T = 1 \text{ --okupacioni faktor}$$

$$A(^{241}Am) = 19.2 \text{ MBq}$$

$$t = 0.5 \text{ h/nedelja}$$

Računamo potrebnu debljinu barijere za detektor JDD 48E Elind:

$$X = \frac{0.00001m \cdot \ln\left(\frac{0.02mSv/nedelja \cdot (0.05m)^2}{8.48 \cdot 10^{-5} mSv/hMBq \cdot 19MBq \cdot 0.5h/nedelja \cdot 1}\right)}{\ln\left(\frac{1}{2}\right)} + 0.00001m$$

$$X = 0.00005m = 0.05mm$$

Da bismo bili sigurni da barijera zaustavlja svo zračenje preporučuje se debljina duplo veća od izračunate, odnosno 0.1 mm.

**Tabela 5. Proračun zaštitnih barijera**

Tip jonizujućeg detekora dima	A ( $^{241}\text{Am}$ ) (MBq)	$D_a (\text{mSvh}^{-1})$ $d = 0.05 \text{ m}$ bez zaštite	Potrebna debljina Pb zaštite (mm)	Efektivna doza (mSv godišnje)
JDD 48E Elind	19.2	0.65	0.1	<0.05
Nitan Elind	29.6	1.00	0.15	<0.05
IDD 801 Tehnozavod	29.6	1.00	0.15	<0.05
DDJ 01 Vinča	26.4	0.89	0.12	<0.05
SV-1 Slavijaelektron	26.4	0.89	0.12	<0.05

## 9. Dozimetrijska kontrola ionizacionih detektora dima

Dozimetrijska merenja i kontrola ionizujućih detektora dima su od velike važnosti za očuvanje zdravlja ljudi koji svakodnevno rade u prostorijama gde se nalaze ovi detektori. Takođe redovna dozimetrijska kontrola ionizujućih detektora dima predstavlja meru preventive od potencijalnog akcidenta i kontaminacije ljudi i prostorije gde se detektor nalazi.

Dozimetrijska merenja rade se na dva načina. Prvi način je merenje doze u neposrednom kontaktu aparata za merenje doze i ionizacionog detektora dima. Drugi način je merenje doze ispod ionizacionog detektora dima, ali na visini 1,5 m od poda jer se pretpostavlja da na toj visini zaposleni provode najviše vremena radeći u kancelariji za radnim stolom.

Rezultati merenja koji će biti prikazani u tabelama ispod radjeni su dozimetrima tipa RADIATION ALERT INSPECTOR u skladu sa dokumentovanom validnom metodom DFVM-2. Kombinovana merna nesigurnost instrumenta iznosi 10% na nivou poverenja 95 %.

## 9.1. Rezultati dozimetrijskih merenja za ionizacione detektore dima u poštama u Novom Sadu i Novom Pazaru [Dozimetrijska kontrola ionizacionih detektora dima, PMF Novi Sad, Katedra za nuklearnu fiziku, 2014.]

**Pošta Novi Sad, Narodnih heroja 2**

### **REZULTATI MERENJA:**

**Tabela 6. Rezultati merenja ambijentalnog doznog ekvivalenta  $H^*(10)$  u prostorijama sa jonizujućim detektorima dima**

RB	napomena	Mesto merenja (sprat, broj kancelarije, ime magacina ili prostorije u kojoj se meri i sl.)	Oznaka javljača dima	Izmerena vrednost doze u direktnom kontaktu aparata i javljača dima $H^*(10)_{max}$ [ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ]	Izmerena vrednost doze ispod javljača dima na visini 1,5 m od poda $H^*(10)_{max}$ [ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ]
1.		XII / K-soba	M 4.5	0.17	0.12
2.		XII / prostorija 1	M 3.2	0.13	0.116
3.		XII / prostorija 1	M 3.1	0.102	0.087
6.		XI / K- soba	M 4.4	0.22	0.16
7.		X / K- soba	M 4.3	0.17	0.12
8.		IX / K- soba	M 4.2	0.19	0.11
9.		VIII / K- soba	M 4.1	0.203	0.137
10.		VII / K- soba	M 1.5	0.185	0.137
11.		VI / K- soba	M 1.4	0.255	0.137
12.		V / K- soba	M 1.3	0.155	0.136
13.		IV / K- soba	M 1.2	0.167	0.12
14.		III / K-соба	M 1.1	0.167	0.147
15.		III / Informacije velika sala	K 1.11	0.209	0.15
16.		III / Informacije velika sala	K 1.10	0.215	0.156
17.		III / Informacije velika	K 1.9	0.177	0.112

		sala			
18.		III / Informacije velika sala	K 1.8	0.269	0.149
19.		III / Informacije velika sala	K 1.7	0.101	0.112
20.		III / Informacije velika sala	K 1.6	0.131	0.13
21.		III / Informacije velika sala	K 1.5	0.131	0.12
22.		III / Informacije velika sala	K 1.4	0.143	0.112
23.		III / Informacije kancelarija šefa	K 1.2	0.164	0.097
24.		III / Informacije kancelarija šefa	K 1.3	0.115	0.149
25.		III / Informacije soba za odmor-kancelarija	K 1.12	0.197	0.147
26.		III / Informacije soba za odmor –kancelarija	K 1.13	0.156	0.138
27.		III / Informacije soba za odmor	K 1.14	0.173	0.164
28.		III / Informacije soba za odmor	K 1.15	0.203	0.138
29.		III / Informacije garderoba	K 1.1	0.225	0.173
30.		II / 232 arhiva u hodniku	L 3.1	0.156	0.113
31.		II / arhiva-soba 31	L 2.1	0.145	0.121
32.		II / soba 31	L 2.8	0.156	0.138
33.		II / kancelarija 32	L 2.2	0.209	0.13
34.		II / kancelarija 32	L 2.7	0.156	0.138
35.		II / kancelarija 33	L 2.3	0.185	0.12
36.		II / kancelarija 33	L 2.6	0.295	0.113
37.		II / kancelarija 34	L 2.4	0.227	0.12
38.		II / kancelarija 34	L 2.5	0.173	0.145
39.		II / kancelarija 27	K 4.4	0.312	0.095
40.		II / kancelarija 27	K 4.5	0.295	0.113
41.		II / kancelarija 28	K 4.3	0.254	0.101
42.		II / kancelarija 28	K 4.6	0.164	0.145
43.		II / kancelarija 29	K 4.2	0.312	0.113
44.		II / kancelarija 29	K 4.7	0.295	0.164
45.		II / kancelarija 30	K 4.1	0.321	0.071
46.		II / kancelarija 30	K 4.8	0.156	0.173
47.		II / Novi hodnik Telekom	L 1.1	0.212	0.107
48.		II / Novi hodnik Telekom	L 1.2	0.212	0.107
49.		II / Novi hodnik Telekom	L 1.3	0.26	0.041
50.		II / Novi hodnik	L 1.4	0.26	0.041

		Telekom			
51.		II / Novi hodnik Telekom	L 1.5	0.295	0.077
52.		II / Novi hodnik Telekom	L 1.6	0.295	0.077
53.		II / Novi hodnik Telekom	L 1.7	0.26	0.101
54.		II / Novi hodnik Telekom	L 1.8	0.26	0.101
55.		II / K - soba	G 3.4	0.327	0.095
56.		I / Hodnik kod teretnog lifta	I 4.1	0.234	0.167
57.		I / kancelarija 14	J 2.5	0.295	0.101
58.		I / kancelarija 14	J 2.6	0.39	0.071
59.		I / kancelarija 14	J 2.7	0.251	0.083
60.		I / kancelarija 14	J 2.8	0.277	0.119
61.		I / kancelarija 14	J 2.9	0.212	0.131
62.		I / kancelarija 14	J 2.10	0.295	0.095
63.		I / kancelarija 15	J 2.3	0.269	0.131
64.		I / kancelarija 15	J 2.4	0.257	0.113
65.		I / kancelarija 15	J 2.11	0.225	0.07
66.		I / kancelarija 15	J 2.12	0.225	0.089
67.		I / kancelarija 16	J 2.1	0.119	0.089
68.		I / kancelarija 16	J 2.2	0.149	0.119
69.		I / kancelarija 16	J 2.13	0.212	0.16
70.		I / kancelarija 16	J 2.14	0.295	0.119
71.		I / 19	I 4.10	0.19	0.119
72.		I / 20	I 4.9	0.113	0.101
73.		I / hodnik	I 4.8	0.143	0.089
74.		I / kancelarija 21	I 2.1	0.125	0.143
75.		I / hodnik	I 4.7	0.243	0.119
76.		I / hodnik	I 4.6	0.149	0.149
77.		I / hodnik	I 4.5	0.251	0.143
78.		I / hodnik	I 4.4	0.16	0.16
79.		I / hodnik	I 4.3	0.356	0.101
80.		I / hodnik	I 4.2	0.13	0.119
81.		I / K - soba	G 3.3	0.321	0.089
82.		I / 13 (hodnik)	J 4.1	0.351	0.089
83.		I / 13 (hodnik- plafon)	J 4.2	0.234	0.083
84.		I / kancelarija 16	J 4.3	0.312	0.083
85.		I / kancelarija 16	J 4.4	0.173	0.113
86.		I / kancelarija 15	J 4.6	0.303	0.089
87.		I / kancelarija 15	J 4.7	0.143	0.113
88.		I / kancelarija 15	J 4.5	0.182	0.071
89.		I / kancelarija 15 - 1	J 4.8	0.277	0.089
90.		I / 13 kancelarija	J 4.12	0.286	0.095
91.		I / 13 kancelarija	J 4.11	0.178	0.125
92.		I / 13 - 1	J 4.9	0.295	0.107
93.		I / 13 - 1	J 4.10	0.156	0.119

95.		I / kancelarija 104	E 3.9	0.312	0.131
96.		I / kancelarija 104	E 3.8	0.321	0.125
97.		I / kancelarija 105	E 3.5	0.303	0.077
98.		I / kancelarija 105	E 3.6	0.277	0.125
99.		I / kancelarija 105	E 3.7	0.312	0.125
103.		I / kancelarija 108	E 3.2	0.382	0.119
104.		I / kancelarija 108	E 3.3	0.356	0.107
105.		I / kancelarija 108	E 3.4	0.312	0.125
106.		I / kancelarija 108	E 3.1	0.303	0.059
107.		Prizemlje K - soba	G 3.2	0.137	0.101
108.		Prizemlje Magacin Telekom	D 3.1	0.13	0.13
109.		Prizemlje Magacin Telekom	D 3.2	0.13	0.13
110.		Prizemlje Magacin Telekom	D 3.3	0.113	0.113
111.		Prizemlje Magacin Telekom	D 3.4	0.149	0.125
112.		Prizemlje Magacin Telekom	D 3.5	0.141	0.113
113.		Prizemlje Magacin Telekom	D 3.6	0.167	0.119
114.		Prizemlje Magacin Telekom	D 3.7	0.113	0.125
115.		Prizemlje Magacin Telekom	D 3.8	0.137	0.155
116.		Prizemlje Magacin Telekom	D 3.9	0.12	0.11
117		Podrum K - soba	G 3.1	0.197	0.131

Kada pogledamo rezultate dozimetrijskog merenja primećujemo da ambijentalni ekvivalent doze koji je meren ispod detektoru dima na visini 1,5 m od poda ne prelazi granice fonskog zračenja koje iznosi  $0,12 \mu\text{Sv/h}$ .

U kancelariji 34 brzina doze iznosi  $0.145 \mu\text{Sv/h}$ .

Pristupićemo proceni doze koju primi osoblje čije je radno mesto ova kancelarija.

Ako prepostavimo da zaposleno lice provede u kancelariji 265 dana godišnje (oduzeli smo vikende i praznike na godišnjem nivou), odnosno  $265 \text{ dana} \times 24\text{h}$ , dobijamo da zaposleno lice godišnje provede 6360 h u kancelariji.

Efektivna doza koje zaposleno lice primi na nivou godine računamo:

$$E=H \cdot t$$

gde je E-efektivna doza, H-ambijentalni ekvivalent doze izmeren dozimetrom, t-vreme koje zaposleni provede u kancelariji u toku jedna godine

Dobijamo:  $E = 0,145 \mu\text{Sv}/\text{h} \cdot 6360 \text{ h} = 922,20 \mu\text{Sv} = (922,20 \pm 0,03) \mu\text{Sv}$

Primljena efektivna doza ne prelazi 1 mSv za godinu dana i to se smatra niskom ekvivalentom dozom za stanovništvo [The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103]

Efektivna doza stanovništva je:

1. uvećana, ukoliko je veća od 1 mSv za godinu dana;
2. niska, ukoliko je veća od 0,3 mSv za godinu dana;
3. veoma niska, ukoliko je manja ili jednaka 0,03 mSv za godinu dana;
4. zanemarljiva, ukoliko je manja ili jednaka 0,01 mSv za godinu dana

Uradićemo procenu primljene doze i za ovlašćeno lice koje servisira ovaj detektor jednom godišnje.

Pretpostavljamo da je serviseru potrebno 3h za servisiranje.

Pristupamo računu:

$$E=H \cdot t$$

$$E = 0,145 \mu\text{Sv}/\text{h} \cdot 3\text{h} = (0,44 \pm 0,03) \mu\text{Sv}$$

Ova procenjena doza smatra se zanemarljivom prema ICRP.

Ž

## 10. Prednosti i mane jonizujućih detektora dima

Prednost ovih detektora jeste njihova osetljivost na sve vrste požara kod kojih se očekuje razvoj dima. Ovi detektori reaguju na sve vrste čestica bilo da su vidljive ili nevidljive. Boja čestice takođe ne utiče na osetljivost detektora. Manju osetljivost pokazuju prema krupnijim česticama koje nastaju pri pirolitičkom sagorevanju, mada i za ovu vrstu

požara ima prihvatljivu osetljivost. Dovoljno je osetljiv na skoro sve vrste požara i predstavlja jedan od osnovnih sistema za detekciju požara u savremenom dobu.

Glavna mana ovih detektora jeste relativno lako aktiviranje lažnog alarma. Naime, ovi detektori su vrlo osetljivi na strujanje vazduha pa može doći do aktivacije alarma već pri strujanju vazduha brzinom 1m/s. Ova osobina ograničava upotrebu jonizujućih detektora dima u određenim prostorima kao što su kanali, posebno oni pod nagibom, zbog povećanog strujanja vazduha.

Redovno servisiranje i čišćenje detektora je izuzetno važno jer ukoliko je zaprljan povećava se njegova osetljivost i često daje lažne alarme. Vremenski period na koji se čisti detektor zavisi od uslovima gde se nalazi i od karakteristika detektora. Ukoliko se nalazi u čistom ambijentu servisira se na nekoliko godina, dok je u zaprjaljnom ambijentu servis potreban svakih par meseci.

## 11. Zaključak

Doze koje prime osobe koje svakodnevno borave u prostoriji koja ima jedan ionizujući detektor dima prima dozu koja jednaka ili manja od doze koju primi od kosmičkog zračenja. U ovom radu pokazano je na koji način treba rukovati ionizujućim detektorima dima, kako se pravilno zaštiti od ionizujućeg zračenja i ukoliko dođe do akcidentalnih situacija koje korake preduzeti.

U savremeno doba važno je probuditi svest ljudi koliko je važno sprečiti svaki vid nesreće koja može da donese velike materijalne štete, ali još važnije je spasiti ljudske živote. Požar predstavlja jednu takvu potencijalnu nesreću. Zato je na nama da učinimo sve što je u našoj moći da sprovedemo sve preventivne mere.

Korišćenje ionizujućih detektora dima ne predstavlja opasnost po stanovištvo ukoliko se poštuju preporuke stručnih organizacija, iako sadrži ionizujući izvor zračenja. Ugradnja sistema za detekciju požara sa ionizujućim zračenjem velik je korak u preventivi širenja inicijalnog paljenja odnosno početnog požara, sprečavanju tragedija u vidu gubljenja ljudskih života i materijalnih gubitaka.

Redovno servisiranje i ispravno rukovanje ionizujućim detektorima dima čuva naše zdravlje, zdravlje ljudi i životnu okolinu.

## Literatura

- Dr Miodrag Krmar (2013.)“ Uvod u nuklearnu fiziku“
- Nedžad Hafiefendžić – “Detekcija požara” , Beograd 2006.
- Dr Nataša Todorović – “Dozimetrija i zaštita od ionizujućeg zračenja” (2009), skripta
- Pravilnik o granicama izlaganja ionizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja ionizujućim zračenjima (Sl. gl. RS 86/11 od 18.11.2011)
- Pravilnik o evidenciji o izvorima ionizujućih zračenja, profesionalno izloženim licima, o izloženosti pacijenata ionizujućim zračenjima i radioaktivnom otpadu (Sl. Gl. RS 97/11 od 21.12.2011)
- Pravilnik o prijavljivanju i evidentiranju izvora ionizujućih zračenja (Sl. gl. RS 25/11 od 12.04.2011)
- NRPB Radiological protection standards for ionisation chamber smoke detectors, Vol 3, No 2, 1992
- Tech Talk, U.S. Fire Administration, Vol .1, No. 2, December 2009
- Radiation Safety Handbook, Smoke detectors containing Americium-241, Leaflet 18, JSP 392
- Americium in Smoke Detectors, <https://www3.epa.gov/radtown/americium-smoke-detectors.html>

## Kratka biografija kandidata



Rođena sam u Novom Sadu 31.januara 1991. godine. Srednju medicinsku školu “ 7. april “ u Novom Sadu, smer laboratorijski tehničar, završila sam 2010. godine i iste godine upisujem Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, smer Diplomirani fizičar- modul medicinska fizika. Nakon stečenog zvanja Diplomirani fizičar, 2016. godine, upisujem master akademске studije, smer Master fizičar – medicinska fizika koje završavam 2017. godine.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU**  
**PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET**

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

*Redni broj:*

**RBR**

*Identifikacioni broj:*

**IBR**

*Tip dokumentacije:*

**TD**

*Tip zapisa:*

**TZ**

*Vrsta rada:*

**VR**

*Autor:*

**AU**

*Mentor:*

**MN**

*Naslov rada:*

**NR**

*Jezik publikacije:*

**JP**

*Jezik izvoda:*

**JI**

*Zemlja publikovanja:*

**ZP**

*Uže geografsko područje:*

**UGP**

*Godina:*

**GO**

*Izdavač:*

**IZ**

*Mesto i adresa:*

**MA**

*Fizički opis rada:*

**FO**

*Naučna oblast:*

**NO**

*Naučna disciplina:*

**ND**

*Predmetna odrednica/ ključne*

*reči:*

**PO**

**UDK**

*Čuva se:*

**ČU**

*Važna napomena:*

**VN**

Monografska dokumentacija

Tekstualni štampani materijal

Master rad

Lidija Kondić

Prof. dr Nataša Todorović

Mere radijacione sigurnosti pri rukovanju sa jonizujućim  
detektorima dima  
srpski (latinica)

srpski/engleski

Republika Srbija

Vojvodina

2017

Autorski reprint

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,

Novi Sad

(11/45/6/13/2)

Fizika

Nuklearna fizika

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

nema

*Izvod:*

**IZ**

*Datum prihvatanja teme od NN*

*veća:*

Oktobar 2017

**DP**

*Datum odrbrane:*

**DO**

30.oktobar 2017.

*Članovi komisije:*

**KO**

Prof. dr Nataša Todorović

Prof. dr Dušan Mrđa

Prof. dr Fedor Skuban

*Predsednik:*

Prof. dr Fedor Skuban

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:*

**DT**

*Type of record:*

**TR**

*Content code:*

**CC**

*Author:*

**AU**

*Mentor/comentor:*

**MN**

*Title:*

**TI**

*Language of text:*

**LT**

*Language of abstract:*

**LA**

*Country of publication:*

**CP**

*Locality of publication:*

**LP**

*Publication year:*

**PY**

*Publisher:*

**PU**

*Publication place:*

**PP**

*Physical description:*

**PD**

*Scientific field:*

**SF**

*Scientific discipline:*

**SD**

*Subject/ Key words:*

**SKW**

**UC**

*Holding data:*

**HD**

*Note:* none

**N**

*Abstract:*

**AB**

*Accepted by the Scientific Board:* October 2017

**ASB**

*Defended on:* October 2017

**DE**

*Thesis defend board:*

**DB**

President: Fedor Skuban, Ph.D., associate professor  
Member: Nataša Todorović, Ph.D., full professor  
Member: Dušan Mrđa, Ph.D., full professor