

**JEDAN TIP JONIZACIONE KOMORE SA ELEKTRONSKIM UREĐAJEM
ZA MERENJE SLABIH KONCENTRACIJA RADONA U PROSTORIJAMA**

Ing. Vlastimir M. Vučić i Gojko Dimić

Potreba za ovakvim uređajem se javila za vreme izgradnje novog emanatoriuma u Niškoj Banji namenjenog potrebama terapije. Prema projektu prvog autora ovog članka, izgradnja ovog emanatoriuma je sprovedena na novim principima prema specifičnim mogućnostima koje je pružao radioaktivni teren Niške Banje. Obilje radioaktivnog vazduha, koji se na specifičan način mogao dobiti iz terena, omogućilo je da se i cele prostorije emanatoriuma njime ispune, tako da se inhaliranje vrši prostim zadržavanjem u takvim prostorijama. Usled toga su se u ovom emanatoriumu javile i specifične potrebe za kontrolu koncentracije radona u prostorijama za inhaliranje.

Sistem sondi za dobivanje radioaktivnog vazduha iz terena uslovljavao je znatne varijacije koncentracije radona u njima. Koncentracija radona u dobivenom vazduhu iz sondi zavisila je u izvesnoj meri od atmosferskih taloga i intenziteta rada emanatoriuma i ona se kretala do 120 MJ. U prostorijama za inhaliranje bilo je predviđeno razblaživanje koncentracije na 50 MJ. Pri tome je koncentracija radona u prostorijama u znatnoj meri zavisila od prirodne ventilacije odnosno od atmosferskih strujanja i vetrova. Usled toga je bila neophodna stalna kontrola koncentracije radona u prostorijama za inhaliranje. Merenja koncentracije radona su se morala vršiti i u kraćim intervalima vremena i od strane polustručnih lica.

Merenje koncentracije radona uobičajenim laboratorijskim metodama nije ovde bilo podesno usled delikatnosti merenja i nestručnosti lica. Sem toga takva merenja se na istoj aparaturi nisu mogla ponavljati u kraćim intervalima vremena usled aktivnih taloga.

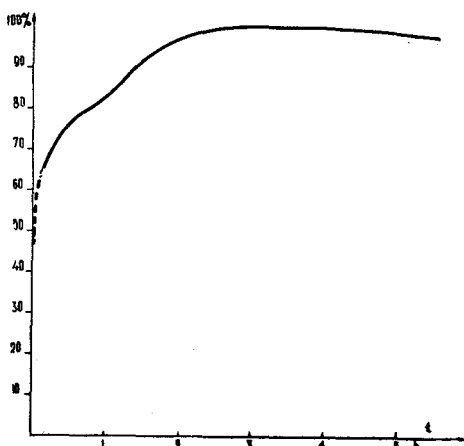
Najviše prednosti za postavljene uslove merenja je imala usvojena modifikovana jonizaciona komora sa elektronskim uređajem za merenje jonizacione struje. Treba napomenuti da su Geiger-ovi brojači imali izvesne prednosti usled prostije konstrukcije ali isto tako i nepovoljne okolnosti. Glavne nepovoljne strane brojača bile su: znatne statističke varijacije usled relativno malog broja udara, nestabilnost brojača za duži period vremena i znatno neodređenijeg uticaja radioaktivnih taloga. Brojači su ipak postavljeni kao paralelna metoda sa usvojenom komorom.

Modifikovana usvojena komora omogućuje jednostavno i stalno merenje slabih koncentracija radona u prostorijama. Međutim, slične potrebe se javljaju

i u laboratorijama u kojima se radi sa radioaktivnim supstancama pa i u postrojenjima za korišćenje atomske energije. Takve prostorije obično prati prisustvo radona. Koncentracija radona se tada obavezno mora pratiti i kontrolisati kako koncentracija u njima ne bi prešla po zdravlje dozvoljenu granicu. Usled toga smatramo da ovde opisano rešenje komore može biti i od šireg značaja te nam je to bio i jedan razlog više za njegovo objavljivanje.

Problemi koje je trebalo rešiti modifikacijom uobičajene komore za pomenute uslove rada su sledeći.

Merenje količine radona posredstvom radioaktivnog zračenja praćeno je opšte poznatim teškoćama koje se javljaju usled zračenja produkata radona odnosno „radioaktivnog taloga“. Radioaktivnom transformacijom radona obrazuju se sledeći članovi uranovog radioaktivnog niza $Ra A$, $Ra B$ i $Ra C$ koji imaju kratak period i prema tome veliki intenzitet zračenja. Zračenje ovih produkata prati uvek radon a intenzitet toga zračenja se vremenski brzo menja što je veoma nepovoljna okolnost pri merenju radona. Kada se radon ubaci u komoru gde se ranije nije nalazio nastaje odmah obrazovanje pomenutih članova niza a intenzitet zračenja raste. Na sl. 1 prikazana je kriva koja pokazuje promenu jonizacione struje u zavisnosti od vremena računajući od momenta kada je radon ubačen u jonizacionu komoru. To je poznata kriva dobivena empiriskim



Sl. 1

putem jer se ista teško može dobiti teoriskim putem, zbog velikog broja različitih članova niza koji učestvuju u zračenju i veoma složenih efekata jonizacije. Kriva je na početku vrlo strma što je vrlo nepovoljna okolnost za merenje jonizacione struje odmah po ubacivanju radona u komoru. Merenje se obično vrši kasnije kada se uspostavi „tekuća ravnoteža“ te kriva prelazi približno u horizontalni pravac. No takva ravnoteža se postiže tek posle 3,5 časa. Ako se pak radon posle merenja izbacuje iz komore, sledeće merenje se ne može vršiti u istoj komori još za sledećih 3 časa. Naime, posle izbacivanja radona, na zidovima komore ostaju i dalje nataloženi produkti radona koji i dalje

intenzivno zrače, što onemogućuje merenje slabih koncentracija radona koje su ovde u pitanju. Zbog toga se mora sačekati daljih 3 časa za koje vreme produkti radona pređu u dalje članove niza dužeg perioda čije se zračenje praktički može zanemariti. To su poznate teškoće koje se javljaju pri merenju slabih koncentracija radona. Za postavljene uslove merenja koncentracije radona ovakve okolnosti su veoma nepovoljne. Na prvom mestu merenja se ne mogu često ponavljati niti se rezultati mogu brzo dobiti. Sem toga uobičajene male komore pri ovako slabim koncentracijama radona daju veoma male jonizacione struje, čiji intenziteti leže ispod 10^{-13} amp. Ovako male struje se obično mere elektrometrom

čija je upotreba veoma delikatna i teško se može poveriti nestručnim licima. Elektronski uređaji za merenje ovako malih struja koriste maksimum osetljivosti i opšte je poznata činjenica da oni u tom slučaju rade vrlo nestabilno čak i pri stručnom rukovanju.

Modifikacija komore i njenog režima rada izvršena je na sledeći način. Komora je postavljena u samoj prostoriji za inhaliranje, tako da vazduh stalno struji kroz nju. Time se u velikoj meri postiže ustaljeno dejstvo radioaktivnih taloga te se dobivaju zadovoljavajući uslovi za permanentno merenje koncentracije radona. Zapremina komore je povećana oko 100 puta, čime je i jonizaciona struja povećana u približnoj razmeri. Na taj način jonizaciona struja prelazi u red veličina čiji se intenziteti mogu meriti elektronskim uređajima sa zadovoljavajućom stabilnošću.

Kratka analiza usvojenog režima rada komore može se prikazati na sledeći način. Punjenje prostorije za inhaliranje vrši se ubacivanjem radioaktivnog vazduha koji se dobiva iz terena. Koncentracija radona u tom vazduhu se kreće oko 90 MJ, a ubacivanje se vrši konstantnim intenzitetom od približno 2 m^3 u minuti. Zapremina glavne prostorije za inhaliranje je 202 m^3 . Za vreme ubacivanja radioaktivnog vazduha ista količina vazduha iz prostorije mora da izađe kroz otvore za provetravanje a delimično i kroz razne pukotine oko vrata i prozora. Pri tome se obrazuje stacionarni tok vazduha. Pretpostavimo da je koncentracija radona u vazduhu koji se ubacuje konstantna i označimo je sa C_0 . Neka je i sekundna zapremina vazduha koji se ubacuje konstantna i označena je sa b . Konstantnost označenih veličina C_0 i b je praktično u velikoj meri ispunjena. Označimo još sa m količinu radona koja su u jednom trenutku nalazi u prostoriji za inhaliranje čija je zapremina V . Odnos $\frac{m}{V}$ pretav-

lja trenutnu koncentraciju C radona u prostoriji odnosno $\frac{m}{V} = C$. Od početka ubacivanja radona kada je koncentracija $C = 0$, količina radona u prostoriji raste. Međutim izvesna količina radona odlazi sa vazduhom koji napušta prostoriju. Mešanje ubačenog radioaktivnog vazduha sa vazduhom u prostoriji se vrši relativno brzo, što je i opitima ustanovljeno, te se može uzeti da vazduh napušta prostoriju sa koncentracijom C . Prema tome porast količine radona dm u prostoriji u elementu vremena dt jednak je razlici ubačene i izbačene količine radona za isti element vremena dt . Može se, znači, napisati:

$$dm = bC_0 dt - b \frac{m}{V} dt$$

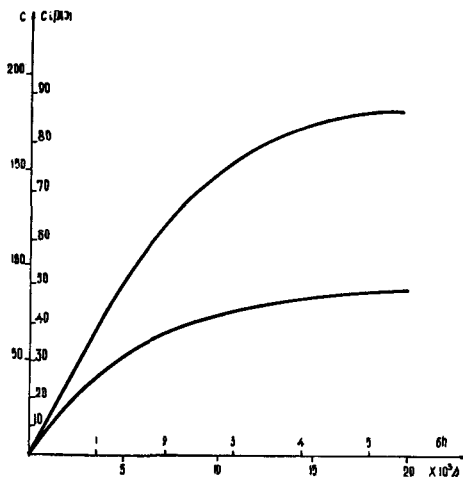
ili

$$\frac{dc}{dt} = \frac{b}{V} (C_0 - C)$$

S obzirom da je za $t = 0$ i $C = 0$ dobiva se rešenje ove diferencijalne jednačine u obliku

$$C = C_0 \left(1 - e^{-\frac{b}{V} t} \right)$$

a to je eksponencijalna funkcija po kojoj koncentracija radona u prostoriji raste pri permanentnom ubacivanju radioaktivnog vazduha. Putem merenja dobivena kriva se vrlo dobro slaže sa dobivenim obrascem. Na sl. 2 je pretstavljena kriva I dobivena prema gornjem obrascu a za izmerene vrednosti $b = 34,5 \text{ lit/s}$ $C_0 = 90 \text{ MJ}$ i $V = 202 \text{ m}^3$. Dalja analiza je moguća samo grafičkim putem zbog pomenute složenosti obrasca za krivu na sl. 1. Pošto se komora nalazi u prostoriji to će i u njoj koncentracija radona da raste po istoj krivoj I na sl. 2.



Sl. 2

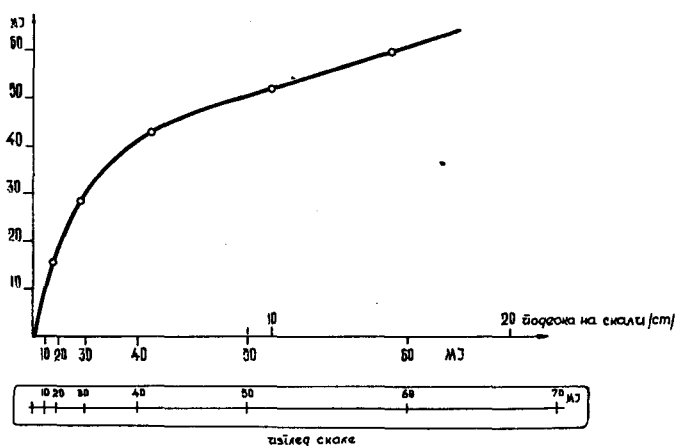
Ali za jednu količinu radona koja se trenutno nalazi u komori, usled taloženja produkata radona, jonizaciona struja u komori će da raste prema krivoj na sl. 1. Pošto količina radona u komori stalno raste prema krivoj I onda se na osnovu ove krive i krive na sl. 1 grafičkom integracijom dobiva kriva II na sl. 2 po kojoj će u komori da raste jonizaciona struja u funkciji vremena. Odnos ordinata krive I i II za bilo koje vreme t predstavlja odnos jonizacione struje i_I koja potiče samo od radona i jonizacione struje i_{II} koja potiče od istovremenog zračenja i njegovih obrazovanih produkata koji su se do tog vremena obrazovali. Dobiveni odnos i_I/i_{II} može sada da posluži kao baza za baždarenje instrumenta. Naime, jonizaciona struja u komori pokreće preko

elektronskog uređaja jedan mikroampermetar. U opisanom slučaju punjenja prostorija, mikroampermetar će pokazivati jonizacionu struju koja će rasti prema krivoj II. Pomenutim odnosom ordinata može se tada naći jonizaciona struja i_I koja bi poticala samo od zračenja radona tj. bez radioaktivnog taloga. Količina radona u komori je proporcionalna jonizacionoj struji i_I . Prema poznatoj relaciji Duane — Laborde može se odrediti količina radona u komori ako je poznata jonizaciona struja i_I . No ovde je upotrebljen znatno pouzdaniji način za baždarenje, koji se zasniva na poređenju sa odgovarajućim etalonom za slabe koncentracije radona. Koncentracija radona u prostoriji je merena poznatim laboratoriskim metodama na osnovu etalona a istovremeno je pomoću opisane komore merena jonizaciona struja i_{II} odnosno i_I . Tako se na ordinati grafikona (sl. 2 — desna skala) nanese izmerene vrednosti za koncentraciju radona u prostoriji za odgovarajuće vrednosti struje i_{II} izmerene u istom vremenu pomoću komore. Leva skala na ordinati nanese je istim postupkom samo pomoću struje i_I . Ovakav postupak je sproveden i pomoću empiriski dobivenih kriva koje se u granicama greški slažu sa teoriskim krivama I i II.

Postupak će dobiti bolju preglednost ako se prikaže još i kriva baždarenja pretstavljena na sl. 3. Ova kriva na nešto drugačiji način prikazuje postupak baždarenja. Pri punjenju prostorije merene su drugim aparatima koncentracije radona u prostoriji a istovremeno pročitana skretanja mikroampermetra.

Izmerene koncentracije C nanešene su na ordinatu a skretanje instrumenta na skali mikroampermetra na apcisu grafikona. Na osnovu toga je izvršeno baždarenje skale mikroampermetra. Tako izbaždarena skala prikazana je ispod grafikona.

Lako se može zaključiti da iznešeni proces baždarenja važi samo za režim punjenja prostorije. Praktični režim punjenja se ne menja u velikoj meri te će i njegovo pokazivanje za vreme punjenja biti ispravno naravno u okviru tačnosti celog uređaja. Međutim ceo proces nije ovde iznet radi prikaza baždarenja pri



Sl. 3

punjenju već iz razloga što se iz prikazanog složenog režima rada može analizirati uopšte rad instrumenta i van režima punjenja.

Posmatrajmo sada kako će se ponašati ovako izbaždareni instrument kada prestane ili se promeni proces punjenja prostorije. Pri tome ćemo naročito obratiti pažnju na one uslove pod kojima instrument praktično treba da radi.

Prema zahtevima terapije u prostorijama inhalatorijuma treba za vreme inhaliranja pacijenata održavati stalnu koncentraciju radona koja se prema potrebi za različite slučajeve kreće od 50 do 90 MJ. Pri tome ne postoje naročiti razlozi da se usvojena koncentracija održava tačno na toj vrednosti. I varijacije od 20% nemaju naročitog uticaja koji bi bili nepovoljni za primenjenu terapiju.

Pretpostavimo da se u opisanoj prostoriji za inhaliranje želi održavati koncentracija od 60 MJ. Prema grafikonu na sl. 2 ova koncentracija se postiže za oko 2 časa. Za to vreme punjenja će pokazivanje instrumenta biti korektno jer je pri takvim uslovima i baždaren. Sada će se proces punjenja zaustaviti ili smanjiti na meru koja je potrebna radi nadoknađivanja gubitaka. Naime, kada se prestane sa ubacivanjem novih količina radioaktivnog vazduha koncentracija radona će lagano opadati uglavnom zbog prirodnog provetranja koje će zavisiti od vetra, raznih strujanja, otvaranja vrata i sl. Održavanje stalne koncentracije se onda može vršiti ili povremenim ubacivanjem manjih količina radioaktivnog vazduha ili smanjenjem intenziteta punjenja na meru koja je

potrebna radi nadoknađivanja gubitaka. U oba slučaja se ima jedan cilj da se koncentracija održava stalnom. Promena koncentracije radona u prostoriji se ni u kom slučaju ne može desiti naglo. Velika zapremina napunjene prostorije uslovljava veliku inerciju koncentracije radona u njoj. Postrojenje za punjenje ne može da da veći kapacitet od 2 m^3 u min. sa kojim je računato pri konstrukciji grafikona na sl. 2. Prema istom grafikonu i pri maksimalnom kapacitetu punjenja za povećanje koncentracije radona od svega 10 MJ potreban je skoro 1 čas, dok pomenuti gubici po prestanku punjenja imaju daleko manji uticaj. To znači da se koncentracija radona u prostoriji ne može promeniti van postavljene granice za kraće vreme od jednog časa i to u najgorem slučaju koji se može desiti samo pri pogrešnom rukovanju. Iz krive na sl. 1 se vidi da se u vremenu od jednog časa zračenje dostiže preko 80% one vrednosti koju ima pri tekućoj ravnoteži. To znači da promena koncentracije od 10 MJ u roku od jednog sata može da prouzrokuje grešku pokazivanja instrumenta od $0,2 \cdot 10 \text{ MJ} = 2 \text{ MJ}$. Drugim rečima pod najnepovoljnijim okolnostima relativna greška instrumenta usled nepovoljnog uticaja radioaktivnog taloga ne prelazi 3%.

Još jedna analiza se može načiniti u sledećem smislu. Kada je posle dva časa punjenje zaustavljeno na koncentraciji od 60 MJ intenzitet ukupnog zračenja se već u velikoj meri približio onom koji bi se postigao u slučaju kada je tekuća ravnoteža uspostavljena. Prema krivoj na sl. 1 za radon koji bi se permanentno nalazio u komori, posle 2 časa intenzitet zračenja bi dostigao 97% od ravnotežne maksimalne vrednosti. Međutim zbog permanentnog ubacivanja radona procenat postignutog zračenja se može proceniti na 95%. Znači da kada bi koncentracija radona u prostariji posle prestanka punjenja imala stalnu vrednost od 60 MJ instrument bi nakon jednog časa pokazao porast od 5%.

Za slučajeve kada se radi o bržim promenama koncentracije radona u vremenskim intervalima manjim od jednog časa greške usled dejstva radioaktivnih taloga dobivaju veće razmere. Iz grafikona 1 se može zaključiti da u najnepovoljnijem slučaju trenutne promene koncentracije radona i kada bi cela skala bila baždarena za uslove tekuće ravnoteže, greška usled zračenja radioaktivnih taloga bi dostigla oko 50%. Međutim, ova greška očito opada eksponencijalno te i pri nešto manjim intervalima vremena od jednog časa ona neće imati jako povećane vrednosti u odnosu na analizirane primere.

Relativna greška celog uređaja procenjena je na 10% pri predviđenom režimu rada. U ovu grešku kao najuticajniji faktori ulaze na prvom mestu greške pri baždarenju. Za ovako male koncentracije radona i laboratorijski aparati i upotrebljeni etaloni ne daju znatno veću tačnost. Na drugom mestu dolaze greške u elektronskom uređaju a tek onda pomenuti nepovoljni efekti radioaktivnog taloga. Prikazani efekti radioaktivnog taloga pod naznačenim režimom sporih promena mogu imati samo manje značajne uticaje na tačnost celog uređenja ili, drugim rečima, nepovoljni uticaj radioaktivnih taloga pod ovakvim okolnostima ne dolaze do značajnog izražaja.

Kao što se moglo videti iz prethodnih izlaganja uticaj radioaktivnih taloga kod ovakvog načina merenja je veoma složen problem čija bi detaljna analiza zahtevala mnogo opsežnije studije. Ovde je, međutim, data samo kratka analiza ovog problema koja nesumnjivo dokazuje da je u ovom slučaju uticaj radioaktivnog taloga od sekundarnog značaja te detaljna analiza ovog uticaja nije neophodna.

Izvršena kratka analiza bi se mogla rezimirati na sledeći način. Uticaj radioaktivnih taloga određuje odnos ordinata krivih I i II na sl. 2. Ovaj odnos se u početku znatno menja što znači da za brze promene koncentracije radona, radioaktivni talog ima nepovoljni uticaj i čini ovakvu metodu merenja neupotrebljivom. Međutim, već posle pola časa odnos pomenutih koordinata postaje skoro konstantan i uticaj taloga iščezava. Istu činjenicu pokazuje i kriva baždarenja na sl. 3. Ukoliko se ova kriva više približuje pravoj utoliko je uticaj taloga manji. Velika krivina u početku krive označuje za merenje nepovoljno područje dok kasnije kriva prelazi u skoro pravoliniski deo a uticaj taloga iščezava. To su opšte karakteristike rada ovakve komore upotrebene pod naznačenim okolnostima.

Ovakva komora se svakako može upotrebiti za pomenutu kontrolu koncentracije radona u laboratorijama koje rade sa radioaktivnim supstancama. Osetljivost aparature približno leži u granicama potreba. U takvim slučajevima kada ne postoji naročiti proces punjenja bilo bi svakako povoljnije da se skala baždari prema stanju tekuće ravnoteže. Za spore promene koncentracije takav način baždarenja ne bi imao značajnog uticaja ali bi davao bolje uslove za merenje malih koncentracija. U našem slučaju zadržana je skala, baždarena na opisan način, prema režimu punjenja. Takvo baždarenje je povoljnije za postavljene uslove rada. Inhalatorium nikada ne radi sa koncentracijama manjim od 50 MJ te za trajno pokazivanje manjih koncentracija nema interesa. Međutim praćenje procesa punjenja je od bitnog interesa pri upravljanju celokupnim radom emanatorijuma. U takvom slučaju je svakako potrebnije da instrument korektno radi pri punjenju a to se postiže baš opisanom načinom baždarenja.

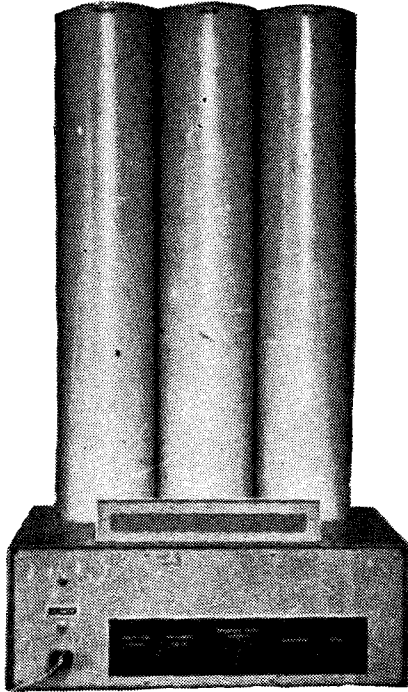
OPIS APARATURE

Pri projektovanju aparature osnovna tendencija je bila da se načini solidan i stabilan instrument sa kojim bi moglo da rukuje i nestručno lice. Usled toga je aparatura morala imati veoma jednostavno rukovanje tako da svako oštećenje usled pogrešnog rukovanja bude isključeno. Pod takvim uslovima aparatura je morala imati sve delove kompletno ugrađene u jednu celinu. Razumljivo je da se morala izbeći upotreba makakvih baterija i akumulatora i da rad celokupnog uređaja bude uslovljen jedino priključkom na gradsku struju.

Od strane Lečilišta bili su postavljeni uslovi da pokazivanje instrumenta u inhalatoriumu mora biti vidljivo i sa veće daljine kako bi kontrola lekara ili dežurnog službenika pa i pacijenata bila uspešnja. Tehnička služba je zahtevala da koncentraciju pokazuje istovremeno i jedan običan instrument u prostoriji ispod inhalatorijuma, gde je skoncentrisana komanda svih postrojenja pa i punjenja inhalatorijuma.

Na sl. 4 prikazan je spoljni izgled aparature a na sl. 5 njena šema. Tri cilindrične komore vezane su paralelno i rade kao celina sa ukupnom zapreminom od 90 lit. Radi homogenosti polja usvojen je odnos prečnika anode i katode od oko 3,2. Anoda je spoljašnji cilindar a katoda koaksijalna cev. Unutrašnje površine komore prevučene su grafitom radi smanjenja fotosfekta fotomultipliciranja i sekundarne emisije. Da bi se izbegao poseban ispravljач spoljni zid komore nije mogao biti uzemljen. Radi elektrostatičke zaštite oko komora je postavljena metalna mreža koja je brižljivo uzemljena. Elektronski

uređaj je postavljen u metalnoj kutiji za koju su učvršćeni donji krajevi komora. Zagrevanje elektronskih cevi i transformatora ujedno služi za obrazovanje slabe promaje kroz komore. Ovim je obezbeđena stalna i lagana cirkulacija vazduha



Sl. 4

iz prostorije kroz komoru. Slabo zagrejani vazduh koji na taj način struji kroz komore održava ujedno i izolatore suhim što je od velikog značaja po ispravan rad komora. Izolatori su izvedeni od poliranog pleksiglasa. Svi delovi aparture su izvedeni sa veoma solidnom mehaničkom stabilnošću kako ne bi došlo do nepovoljnih uticaja usled promene oblika ili oscilacija. Komora je učvršćena na zidu kako bi se izbegli nepovoljni uticaji potresa koji dolaze preko poda.

Izvor za anodni napon komore morao je biti poseban ispravljač pošto je anodni napon vezan među anodom elektrometarke cevi i anodnim otpornikom. Ovim se dobija veće pojačanje jednosmernog diferencijalnog pojačivača pri smanjivanju katodnog otpornika ($U_k = 5,5 V$). Napon komore je određen prema zračenju od $1 R/h$. Usvojeno je polje $E = 20 V/cm$. Pošto je prečnik komore $D = 20 cm$ to je napon komore

$$U_k = ED/2 = 200 V.$$

Komora je vezana na napon preko visokog otpora $R_g = 175 M\Omega$ koji je ujedno rešetkin otpornik elektrometarske triode „Philips“ 4060. Ovim prvim elektrometarskim stepenom postiže se pojačanje

jonizacione struje u komori. Cev je specijalno zaštićena od svetlosti potresa i prašine. Elektrometarska cev radi u režimu:

$$\begin{array}{lll} U_f = 0,61 V & U_a = 4 V (\text{max } 6 V) & I_a = 40 \mu A \\ I_f = 0,3 A & U_g = -2,5 V & R_a = 70 k\Omega \end{array}$$

Pri ovome je izmerena radna strmina $S_u = 14,3 \mu A/V$. Ceo sistem je tako podešen da pri prosečnom punjenju od oko $50 MJ$, anodna struja opadne za $I_a/2 = 20 \mu A$. Za ovo je potrebna promena $U_g = 1,43 V$, odnosno jonizaciona struja $I_k = 8,2 \cdot 10^{-9} A$ a takav intenzitet struje daje $0,9 R/h$. Pojačanje napona je

$$S_u R_a = 143 \cdot 10^{-6} A/V \cdot 70 \cdot 10^3 \Omega \cong 1$$

dok je strujno pojačanje

$$I_a/I_g = 20 \cdot 10^{-6} A / 8,2 \cdot 10^{-9} A \cong 2,5 \cdot 10^3$$

Ovo strujno pojačanje je relativno malo za postavljene uslove pa je ovome dodat još jedan jednosmerni pojačivač realizovan sa dve cevi *EF 80* tako da je pojačanje reda $0,1 \cdot 10^6 = 10^5$.

Ispravljeni naponi su stabilizovani. Napon grejanja za elektrometarsku cev je dobiven selenskim ispravljačem „Iskra“ $15 V/1 A$ i dovoljno filtriran. Za pokazivanje na samoj aparaturi upotrebljen je instrument sa ogledalom tako da svetli lik pada na skalu koja se nalazi na prednjem delu aparature. Ovaj instrument zajedno sa svetlosnim izvorom je ugrađen u samoj aparaturi. Na taj način se čitanje može vršiti i sa daljine od nekoliko metara. Za drugi instrument, koji je predviđen za komandnu prostoriju, uzet je običan mikroampermetar „Iskra“ $400 \mu A$. Do njega vodi olovni kabel a oba instrumenta mogu da rade istovremeno. Da bi se izbegle nepovoljne pojave pri uključivanju aparature, predviđen je uključivač sa četiri stupnja. U prvom položaju uključuju se grejanja i anodni naponi sem onog za elektrometarsku cev. U drugom stupnju se uključuje i ovaj napon. U trećem stupnju se uključuju instrumenti za pokazivanje ali ne i svetli izvor za skalu. Tada se može čitati samo na instrumentu u komandnoj prostoriji. Četvrti stupanj uključuje još samo svetli izvor za skalu tako da se čitanja mogu vršiti i na samoj aparaturi. Između prva dva stupnja predviđen je manji interval vremena radi stabilizovanja napona i izbegavanja štetnih posledica („driftova“). Četvrti stupanj je kao što se vidi, postavljen samo radi mogućnosti da se isključi pokazivanje instrumenta na aparaturi ako to nije poželjno.

Aparatura se nalazi u pogonu već godinu dana. Za to vreme je pokazala potpuno zadovoljavajuće rezultate i u pogledu stabilnosti merenja i u pogledu izdržljivosti. Za to vreme nikakvih defekata nije bilo sem male nezgode koja je samo ukazala da se aparatura mora zaštititi od ulaska paukova. Treba napomenuti da je u ovom periodu aparaturom rukovalo potpuno nestručno lice i da pored toga nije nastupilo nikakvo oštećenje niti promena režima rada aparature. Paralelni rad sa brojačem i povremena proveravanja sa elektrometrom pokazala su znatno više nezgoda i defekata. No, smatramo da je ovo ipak mali period vremena da bi se na jednom primerku aparature mogao doneti neki opšti sud o njoj. Što se tiče ekonomske strane može se reći da je kod izgrađenog primerka cena bila oko dva puta veća od kompletne opreme brojača sa skalarom. No, treba napomenuti da je ovo bio prvi primerak u kome je primenjena najveća konstruktivna stabilnost i kvalitet. Praksa će svakako pokazati da se neki delovi aparature mogu prostije i jeftinije izvesti. Ovaj primerak je izrađen u Zavodu za fiziku Mašinskog fakulteta.

LITERATURA

1. J. Jarwood and Pala Craissete
D. C. Amplifiers
2. „Electronics“ 1954
Jan. p. 14; Feb. p. 64; Mart p.114
3. „Review of instruments“ 1950 p 366.
4. Journal of Scientific Instruments, July 1950
5. M. I. T. Serie No 18.

SUMMARY**A TYPE OF IONISATION CHAMBER WITH ELECTRONIC DEVICE FOR MEASURING VERY LOW RADON CONCENTRATIONS IN ROOMS**

A type of ionisation chamber coupled with a D. C. amplifier constructed for measuring the very low radon concentrations in the inhalation room at spa of Nich is presented. The volume of the chamber is considerably increased in order to hold the ionisation current at a level sufficient for stable and reliable function of D. C. amplifier. The chamber is stationed permanently in the inhalation room where the radon concentration is measured. By means of this the unfavorable influences of radioactive products of radon are greatly reduced. In such a way a technical appliance simple for maintenance and handling was obtained.