

Институт заштите, екологије и информатике, Бања Лука  
Institute of protection, ecology and informatics, Banja Luka

НАУЧНО-СТРУЧНИ СКУП СА  
МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

SCIENTIFIC-PROFESSIONAL CONFERENCE  
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION

"САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ  
ЗА ОДРЖИВИ РАЗВОЈ  
ГРАДОВА"

"MODERN TECHNOLOGIES  
FOR CITIES' SUSTAINABLE  
DEVELOPMENT"

ЗБОРНИК РАДОВА  
COLLECTION OF PAPERS

Бања Лука, 14-15. новембар 2008.  
Banja Luka, 14-15. november 2008.

*Издавач / Publisher*

ИНСТИТУТ ЗАШТИТЕ, ЕКОЛОГИЈЕ И ИНФОРМАТИКЕ,  
НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКИ ИНСТИТУТ  
*Бања Лука, Видовданска 43*  
INSTITUTE OF PROTECTION, ECOLOGY AND INFORMATICS  
SCIENTIFIC-RESEARCH INSTITUTE  
*Banja Luka, Vidovdanska 43*

*За издавача / For publisher*

Мр Предраг Илић / M. Sc. Predrag Ilić

*Уредник / Editor*

Мр Предраг Илић / M. Sc. Predrag Ilić

*Технички уредник / Technical editor*

Ранко Вељко, дипл. инж. маш. / B.Sc. Ranko Veljko

*Штампа / Printing*

Графомарк Лакташи / Grafomark Laktaši

*Преводилац / Translator*

Жања Салапура, проф. енг. језика / *English language professor, Žanja Salapura*

Тираж: 400 примјерака / *Print run: 400 copies*

Институт заштите, екологије и информатике, Бања Лука

*Institute of protection, ecology and informatics, Banja Luka*

**НАУЧНО-СТРУЧНИ СКУП СА МЕЂУНАРОДНИМ  
УЧЕШЋЕМ**

*SCIENTIFIC-PROFESSIONAL CONFERENCE WITH  
INTERNATIONAL PARTICIPATION*

**"САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА  
ОДРЖИВИ РАЗВОЈ ГРАДОВА"  
*"MODERN TECHNOLOGIES FOR  
CITIES' SUSTAINABLE DEVELOPMENT"***

**ЗБОРНИК РАДОВА  
*COLLECTION OF PAPERS***

**Бања Лука, 14-15. новембар 2008.**

*Banja Luka, 14-15. november 2008.*

# KONCENTRACIJA ATMOSFERSKIH JONA U SAVREMENIM USLOVIMA ŽIVOTA I RADA

Predrag Kolarž<sup>1</sup>, Dušan M. Filipović<sup>2</sup>, Bratislav P. Marinković<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za fiziku, Pregrevica 118, 11080 Beograd, Srbija

<sup>2</sup>Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Studentski trg 12-16, 11000 Beograd, Srbija

**Rezime:** Jonizujuće zračenje ima veliki uticaj na žive organizme. Ono dovodi do mutagenih (genetskih), kancerogenih i teratogenih promena (deformacije u razvoju) kao i oksidativnih procesa u organizmu čoveka. Te promene mogu izazvati ozbiljne zdravstvene, i moguće letalne posledice, ukoliko su izlaganja ovom štetnom zračenju prekomerna. S druge strane, jonski bilans, odnosno korisno dejstvo negativnih, a štetnost pozitivnih jona ili nepostojanje jona u životnom okruženju snažno utiču kako na zdravlje tako i na radnu sposobnost čoveka. Nedostak jona u vazduhu je posledica visokog zagađenja vazduha, zatim velikim brojem elektrostatičkih površina, upotrebe klimatizacije, itd. Da bi rešavali ove probleme pre svega, potrebno je vršiti merenja koncentracije jona u vazduhu. Taj podatak nam istovremeno omogućava i procenu aktivnosti radona u datoj sredini omogućavajući analizu situacije i preduzimanje potrebnih mera za regulisanje kvaliteta radnih i životnih uslova u zatvorenom prostoru.

**Ključne riječi:** jonizujuće zračenje, kosmičko zračenje, atmosferski joni, radioaktivnost, radon.

## AIR-IONS CONCENTRATION IN CONTEMPORARY WORKING CONDITIONS

Predrag Kolarž<sup>1</sup>, Dušan M. Filipović<sup>2</sup>, Bratislav P. Marinković<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physics, Pregrevica 118, 11080 Belgrade, Serbia

<sup>2</sup>Faculty of Physics, University of Belgrade, Studentski trg 12-16, 11000 Belgrade, Serbia

**Abstract:** Ionizing radiation has substantial influence on living tissue. It is responsible for mutagen, carcinogen and teratogen changes and also oxidation processes in organism. If exposition to ionizing radiation is excessive, these changes could lead to serious health and possibly lethal consequences. On the other hand, deficiency of air-ions in indoor air has a strong influence on human health and his working abilities. Air-ions deficiency could be consequence of high level of air pollution, a lot of electrostatic surfaces, air conditioners, etc. To compensate these problems, the first thing is to measure air-ion concentration. This information also provides evaluation of the radon activity and enables further analysis and actions needed for regulation of indoor air quality conditions.

**Key words:** ionizing radiation, cosmic radiation, air-ions, radioactivity, radon.

## UVOD

*Atmosferski joni* se generišu sledećim procesima: fotojonizacija, jonizacija elektron atomskim sudarom, jonizacija nuklearnim zračenjem i jonizacija sudarom neutralnih teških čestica. Proces stvaranja i transformacije jona od njegovog primarnog do terminalnog (stabilnog) stanja naziva se evolucija jona.

*Evolucija i struktura jona* u vazduhu počinje primarnom jonizacijom, a završava se relativno stabilnom formom u kojoj su molekularni joni okruženi molekulima vode, tj. hidratizovani. U procesima jonizacije vazduha dobijaju se primarni joni:  $N_2^+$ ,  $O_2^+$ ,  $N^+$  i

$O^+$  koji brzo interaguju sa polarnim molekulima vode gradeći hidratizovane jone. Oko pozitivnog primarnog jona okuplja se 10 do 12 molekula vode koji stvaraju relativno stabilan pozitivan atmosferski jon. Preostali slobodan elektron iz primarne jonizacije se pripoji nekom od kiseonikovih molekula (azot nema elektronski afinitet), a onda i taj negativan jon privuče 4 do 10 molekula vode i formira negativan mali atmosferski jon. Zbog evidentne razlike masa, odnosno masenih naelektrisanja, pokretljivost malih negativnih jona je oko 1.3 puta veća od pokretljivosti malih pozitivnih jona. Dalja evolucija se odvija brojnim sudarnim procesima sve do nivoa klastera. U troposferi, kao rezultat te evolucije, najčešći katjoni i anjoni su klasteri:  $H^+(H_2O)_n$ ,  $CO_3^-(H_2O)_n$ ,  $O_2^-(H_2O)_n$ , i  $NO_3^-(HNO_3)_n$  gde je  $n < 12$  [1]. Jonski parovi nastali procesima jonizacije su većinom jednostrukog naelektrisanja.

Atmosferski joni se generišu u parovima, tako da je odnos stvaranja pozitivnih i negativnih jona isti. U nižim slojevima atmosfere, stanje ravnoteže se postiže kada se generisani joni neutrališu procesima rekombinacije, jon-aerosol spajanja ili elektrostatičkom depozicijom. Stvarna verovatnoća za ove procese je jednaka i za pozitivne i za negativne jone, ali uzimajući u obzir veću mobilnost negativnih jona, dobija se da je koncentracija pozitivnih jona u vazduhu 20 – 25 % veća nego koncentracija negativnih. Odnos koncentracija pozitivnih i negativnih jona se zove *koeficijent unipolarnosti* koji najčešće zavisi od čistoće vazduha, tj. od koncentracije aerosola i drugih čestica. Vreme života malih atmosferskih jona, nastalih prirodnim putem, je određeno lokalnim koncentracijama aerosola [2]. Ono varira od 10 do 300 s. U vazduhu zagađenom aerosolima, joni se neutrališu pripajanjem, dok se u čistom vazduhu proces neutralizacije primarno vrši rekombinacijom [3].

Atmosferski joni prirodnim putem nastaju kao posledica:

- Raspada radioaktivnih elemenata u atmosferi kao što su: radon ( $^{222}Rn$ ), toron i njihovi radioaktivni potomci;
- $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  zračenja nastalog raspadom radioaktivnih supstanci iz zemlje;
- Kosmičkog zračenja;
- Lenardovog efekta.

Život malih atmosferskih jona u čistoj atmosferi u proseku iznosi oko 100 s, i zavisi od relativne vlažnosti, temperature, itd. Ipak njihovo vreme života može da varira od nekoliko sekundi do nekoliko minuta. Ukoliko u prizemnom sloju atmosfere postoje čestice polutanata,  $50\,000$  čestica/cm<sup>3</sup>, život atmosferskih jona iznosi oko 30 s. Ukoliko

je njihov broj reda oko  $10\ 000\ \text{čestica}/\text{cm}^3$  tada život jona traje i do 150 s. Na većim visinama se pripajanje na druge čestice može zanemariti u poređenju sa rekombinacijom.

U zatvorenom prostoru koncentracija jona zavisi od visine objekta, njegove provetrenosti, kvaliteta hidroizolacije i mikroklimatskih uslova. Dužina života jona je uslovljena:

- načinom nastajanja jona,
- čistoćom vazduha (duvanski dim efikasno neutrališe jone mehanizmom jon-aerosol spajanja),
- količinom elektrostatičkih površina u prostorijama kao i u ventilacionim sistemima koji jone neutrališu mehanizmom elektrostatičke depozicije.

*Prirodna radioaktivnost vazduha i tla* je uzrok 80 % od ukupne prirodne jonizacije. Jonizujuće zračenje nastalo raspadima radioaktivnih supstanci iz zemlje brzo opada sa visinom i može se detektovati do visine od 100 m [4].

Obzirom da od radioaktivnih raspada najveću jonizaciju vrši  $\alpha$ -čestica,  $10^5$  jonskih parova do svog zaustavljanja, može se zaključiti da su za generisanje jonskih parova u nižem troposferskom sloju najodgovorniji radioaktivni gasovi u atmosferi koji se raspadaju  $\alpha$  raspadom, a to su  $^{222}\text{Rn}$  i  $^{220}\text{Rn}$  i njihovi potomci.

*Kosmičko zračenje.* Jonizacija kosmičkim zračenjem je u odnosu na ostale izvore jonizacije konstantna i iznosi oko 20 % totalnog površinskog stepena jonizacije. Ona je posebno značajna iznad područja gde nema mogućnosti za ekshalaciju  $^{222}\text{Rn}$  tj. nad površinama prekrivenim vodom. Jonizacija ovom vrstom izvora varira između 2 jonska para  $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$  blizu površine zemlje do 40 jonskih parova  $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$  u gornjem sloju troposfere [5]. Intenzitet ovog izvora jonizacije, usled apsorpcije, opada pri prolasku kroz zidove stambenih objekata.

*Lenardov efekat.* Često ga zovu elektrifikacija raspršivanjem ili efekat vodopada. Nastaje kao posledica razdvajanja naelektrisanja usled aerodinamičkog cepanja kapi vode. Ovu pojavu je prvi proučavao nemački fizičar po imenu Ph. Lenard. [6]

Tipična koncentracija, prirodnim putem nastalih malih jona u čistoj atmosferi i u uslovima lepog vremena je oko  $(4-5)\times 10^8\ \text{jona}/\text{m}^3$  i ona zavisi od više parametara: nadmorske visine, koncentracije aerosola, konfiguracije zemljišta, meteoroloških uslova [7]. Zbog svoje relativno male mase ovi joni imaju veliku pokretljivost i glavni su uzročnik postojanja vertikalne električne struje kroz vazduh. Za razliku od njih, srednji i veliki joni imaju manju pokretljivost i deponuju se lokalno u blizini samog zagađivača vazduha.

*Veštački generisani joni.* Najčešći način veštačkog generisanja jona je koronalnim pražnjenjem. Negativni joni smanjuju koncentraciju aerosola, isparljivih organskih jedinjenja (VOC) i mikroorganizama u vazduhu i time značajno popravljaju kvalitet životne sredine. Iz tog razloga se proizvode komercijalni uređaji za generisanje negativnih jona u vazduhu koji uglavnom rade na principu koronalnog pražnjenja. Joni nastali ovim putem imaju drugačiji sastav i vreme života od jona nastalih prirodnim putem. Najčešći negativni joni generisani koronalnim pražnjenjem su:  $\text{O}^-$ ,  $\text{O}_2^-$ ,  $\text{O}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{CO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ . Koncentracija ovih jona u vazduhu zavisi od uslova u kojima se vrši pražnjenje i od intenziteta pražnjenja. Pri veštačkom stvaranju jona koeficijent

unipolarnosti je manji od jedinice pošto se veštački generišu uglavnom negativni joni za potrebe jonizacije vazduha u radnom i životnom prostoru.

*Uticaoj atmosferskih jona na živi svet.* Ispitivanje uticaja atmosferskih jona na žive organizme je počelo još pedesetih godina prošloga veka, međutim, jedinstvenog naučnog stava o mehanizmu delovanja, kao ni reproducibilnih rezultata još uvek nema. Najznačajniji rad iz te oblasti je Krueger et al. [8] koji je prvi naučno dokazao delovanje jona na žive organizme.

Utvrđeno je da je uticaj pozitivnih jona na zdravlje ljudi i životinja negativan, tj. da oni deluju na simpatičku nervnu aktivnost i iritiraju nervni sistem, dok negativni atmosferski joni deluju na parasimpatički nervni sistem i opuštaju nerve.

Ministarstvo zdravlja Ruske Federacije je 2003. godine u okviru Sanitarnih i epidemioloških regulativa i normi u saglasnosti sa Federalnim zakonom „O sanitarnom i epidemiološkom dobru ljudi“ objavilo vrednosti preporučenih koncentracija jona i koeficijenata unipolarnosti, uz upozorenje da odstupanje od njih može dovesti do posledica po zdravlje ljudi [9]. Kao zahtevi za proceduru monitoringa su dati: rutinska godišnja provera, izdavanje sertifikata radnim prostorima, komisijski pregled radnog i javnog prostora sa verovatnoćom nedostatka jona, komisijski pregled opreme koja može da nakuplja ili stvara elektrostatičko naelektrisanje, opremanje prostora jonizatorima i dejonizatorima.

Tab 1. Vrednosti preporučenih normalizovanih parametara koncentracije jona i koeficijenti unipolarnosti.

	Koncentracija pozitivnih jona $n^+$ (jona/cm <sup>3</sup> )	Koncentracija negativnih jona $n^-$ (jona/cm <sup>3</sup> )	Faktor unipolarnosti Y
Minimalne prihvatljive doze	$n^+ \geq 400$	$n^- > 400$	$0.4 \leq Y \leq 1.0$
Maksimalne prihvatljive doze	$n^+ < 50000$	$n^- < 50000$	

Yamada et al. [10] i Iwama [11] su pokazali da od veštačkih izvora jona na žive organizme deluju samo joni nastali Lenardovim efektom. Vreme života jona nastalih Lenardovim efektom iznosi oko 300 s, što je znatno duže od jona koji su nastali koronalnim pražnjenjem. Joni nastali pražnjenjem ne žive dovoljno dugo da bi mogli da uđu u alveole pluća i tamo se pomešaju sa krvlju. Lenardovi joni, zahvaljujući svom vremenu života, imaju najefektnije biološko dejstvo tj. smanjuju nivo laktata, povećavaju pH vrednost krvi i povećavaju deformaciju eritrocita [11].

<sup>222</sup>Rn je plemeniti i hemijski inertan gas, 7.5 puta teži od vazduha. Ime je dobio po hemijskom elementu radijumu. Rastvara se u vodi i vrlo lako difunduje sa gasovima i vodenom parom. Postoje tri prirodna <sup>222</sup>Rn izotopa:

<sup>222</sup>Rn, poznat kao radon, jedan je od produkata raspada <sup>238</sup>U, vreme poluraspada je 3.82 dana;

<sup>220</sup>Rn, poznat kao toron, jedan je od produkata raspada <sup>232</sup>Th (torijum), vreme poluraspada je 55.6 s;

$^{219}\text{Rn}$ , poznat kao aktinon jedan je od produkata raspada  $^{235}\text{U}$ , vreme poluraspada je 3.96 sekundi.

Svi ovi izotopi se raspadaju emitovanjem alfa čestice. Najopasniji po životnu sredinu, a istovremeno najveći generator atmosferskih jona je  $^{222}\text{Rn}$ .

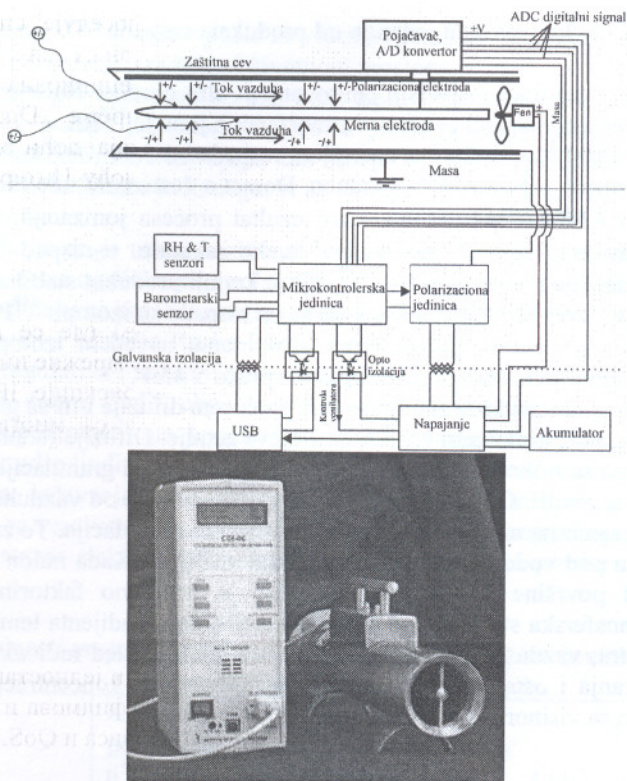
$^{222}\text{Rn}$  je 100 %  $\alpha$ -emiter sa energijom raspada od 5.49 MeV koja je dovoljna da proizvede  $10^5$  jonskih parova/cm<sup>3</sup> u vazduhu. Domet  $\alpha$  čestice nastale raspadom  $^{222}\text{Rn}$  je 39  $\mu\text{m}$  u vodi i 4.08 cm u vazduhu. Kao rezultat procesa jonizacije, u donjem sloju troposfere se stvara 5 jonskih parova/cm<sup>3</sup> svake sekunde.  $\alpha$ -raspad  $^{222}\text{Rn}$  je praćen serijom daljih raspada njegovih potomaka čiji je krajnji produkt stabilno olovo ( $^{207}\text{Pb}$ ). Potomci  $^{222}\text{Rn}$ , tj. kratkoživeći atomi u koje se on raspada su izotopi:  $^{218}\text{Po}$  (187 s),  $^{214}\text{Pb}$  (27 min), i  $^{214}\text{Bi}$  (20 min). Slično toronu i aktinonu, navedeni izotopi polonijuma i bizmuta takođe emituju  $\alpha$  čestice sa energijama preko 5 MeV.

Transport radona kroz zemlju se vrši procesom difuzije i/ili sa gasovima kao što su CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> ili, pak, kretanjem vode kroz slojeve zemlje. Difuzija radona kroz zemlju i stene je povezana sa njihovom permeabilnošću koja zavisi od granulacije, kompaktnosti i sadržaja vode u zemlji. Obzirom da je radon gas znatno teži od vazduha  $^{222}\text{Rn}$  je iznad zemlje prisutan samo na mestima gde mu je omogućena ekshalacija. To znači da je iznad površina koje su pod vodom prisustvo radona zanemarljivo. Kada radon dostigne visinu od 1 m iznad površine tla, njegovo kretanje je određeno faktorima atmosferske stabilnosti. Atmosferska stabilnost je funkcija vertikalnog gradijenta temperature, smera i intenziteta vetra, vazdušne turbulencije kao i nestajanja usled radioaktivnog raspada, apsorpcije, spiranja i ostalih efekata nestajanja. Generalno, koncentracija  $^{222}\text{Rn}$  opada eksponencijalno sa visinom.

## INSTRUMENTACIJA

Merenje koncentracije ( $n$ ), tj. brojčane gustine atmosferskih jona, kao i merenje električne provodljivosti vazduha je moguće korišćenjem njihovih električnih svojstava. Gerdien je 1905. godine razvio instrument za merenja atmosferskih jona, danas poznat kao "Gerdienov kondenzator" [12]. Najprostija izvedba ovakvog instrumenta je sistem od dve koaksijalne međusobno izolovane cilindrične elektrode između kojih se provlači vazduh poznatog protoka. Između centralne elektrode i mase se vezuje pikoampermetar.





Slika 1. Cilindrični detektor jona CDJ-06.

Vazduh koji se nalazi u okolini ulaznog otvora elektroda se pomoću ventilatora uvlači u prostor između spoljašnje obloge i centralne elektrode gde na jone počinje da deluje sila elektrostatičkog polja. Centralna elektroda kolektuje jone istog znaka naelektrisanja kao spoljašnja obloga dok jone suprotnog znaka naelektrisanja spoljašnja obloga odvodi van mernog sistema. On privlači jone suprotnog znaka naelektrisanja i neutrališe ih na svojoj površini dok jone istog znaka naelektrisanja radialno odbija od sebe. Ti joni se prikupljaju na površini centralne elektrode i na njoj proizvode struju. Ukoliko je napon polarizacije dovoljno visok, svi brzi joni će biti prikupljeni na mernoj elektrodi [13].

$$I = qnv\pi(R_o^2 - R_i^2), \quad (1)$$

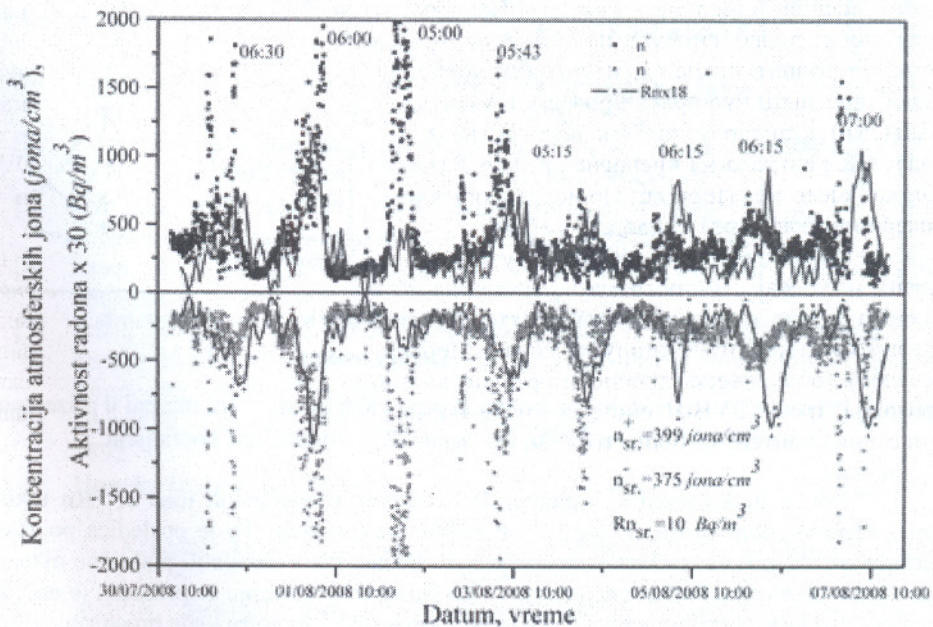
gde je  $q$  naelektrisanje jona,  $v$  brzina strujanja vazduha duž merne elektrode,  $R_o$  radijus spoljašnje obloge i  $R_i$  radijus centralne elektrode.

U Institutu za fiziku, Beograd, razvijen je uređaj za merenje koncentracije atmosferskih jona Gerdienovog tipa pod imenom CDI-06. Ovaj instrument meri veštački i prirodno generisane atmosferske jone (pokretljivosti  $> 0.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) oba polariteta u kontinualnom i naizmeničnom režimu, temperaturu, relativnu vlažnost, pritisak, datum i vreme.

Uređaj se sastoji iz dve celine, senzorskih elektroda i napajačko-kontrolnog dela. Da bi šum nastao usled pojačanja  $\sim 10^{-14}$  A signala bio što manji, pojačavačka elektronika zajedno sa A/D konvertorom su smesteni na samom senzorskom delu [14]. Signal se u digitalnom obliku, pomoću kablova, prenosi u kontrolno-napajačku jedinicu gde se pomoću Atmel RISC mikrokontrolera procesira i kontroliše. Uređaj ima akumulatorko napajanje i autonomiju od 20 sati. Časovnik realnog vremena ima sopstveno napajanje čime se izbegava pražnjenje akumulatora kada ne radi. Mereni rezultati se prikazuju na LCD displeju i prikupljaju u internoj memoriji od 1.2 megabajta ili idu direktno u PC gde se čuvaju u Excell formatu. Softver za PC je u Windows okruženju i služi za setovanje instrumenta i grafičku vizuelizaciju podataka.

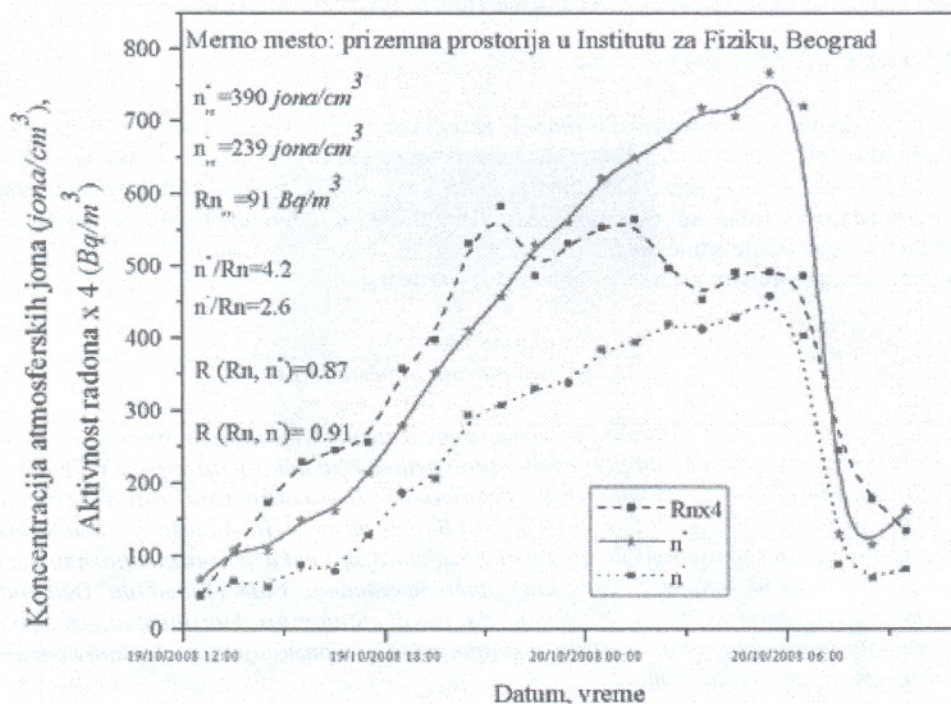
## REZULTATI MERENJA

Merenja koncentracija jona i aktivnosti  $^{222}\text{Rn}$  vršena su u Beogradu na različitim lokacijama i na raznim spratovima stambenih i poslovnih objekata. U cilju jasnije predstave promena koncentracije  $^{222}\text{Rn}$  i atmosferskih jona i njihove međusobne zavisnosti, prikazana su dva reprezentativna merenja. Prvo je 9-dnevno merenje u uslovima spoljašnje atmosfere ispred Instituta za fiziku, Beograd (Slika 2), i dnevna merenja u zatvorenom prizemnom prostoru navedenog objekta (Slika 3).



Slika 2. 9-dnevna promena koncentracije atmosferskih jona i aktivnosti  $^{222}\text{Rn}$  sa jasno izraženim dnevnim pikovima, mereno na otvorenom prostoru u Institutu za fiziku, Beograd.

Višednevna merenja u spoljašnjoj sredini pokazala su periodične promene koncentracije merenih parametara sa maksimumima pred svitanje, tj. između 5 i 7 h ujutru, i minimumima koji variraju tokom dana počevši od pravog sunčevog podneva pa sve do zalaska sunca. Koncentracije jona danju kreću od 100 do 300  $\text{jona/cm}^3$  sa koeficijentom unipolarnosti 1.06 dok je prosečna koncentracija  $^{222}\text{Rn}$  oko 10  $\text{Bq/cm}^3$ . Pojačana ekshalacija  $^{222}\text{Rn}$  tokom noći je vezana za mikroklimatske pomene, temperaturu i vlažnosti tla, koje se dešavaju u okolini mernog mesta. Takođe, bitnu ulogu u ovim procesima igraju i promene vazdušnog pritiska.



Slika 3. Promena koncentracije atmosferskih jona i aktivnosti  $^{222}\text{Rn}$  mereni u prizemnoj prostoriji Instituta za fiziku, Beograd. "R" - korelacioni koeficijent.

Odnos maksimalnih i minimalnih vrednosti atmosferskih jona i  $^{222}\text{Rn}$  tokom dana, u zatvorenom prostoru, ide i do nekoliko stotina puta. To je posledica pojačane ekshalacije  $^{222}\text{Rn}$  koja se prenosi iz spoljašnje sredine, kao i slabije ili praktično nikakve ventilacije prostorija. Pad koncentracije  $^{222}\text{Rn}$  usled provetranja se prikazan je na Slici 3. Nagli pad koncentracije jona i  $^{222}\text{Rn}$  je zabeležen oko 7 h ujutru kada prostorija, gde je merenje vršeno, provetrena. Koncentracija  $^{222}\text{Rn}$  u spoljašnjoj sredini je daleko manja pošto se po ekshalaciji iz tla on veoma brzo meša sa vazduhom i ne postoji mogućnost akumulacije.

## DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Način promene koncentracije  $^{222}\text{Rn}$  u spoljašnjoj sredini se u potpunosti odražava na njegovu promene u zatvorenom prostoru. Razlike u akumulaciji jona nastaju zbog bolje ili lošije izolacije prostora i provetrenosti. U mnogim zemljama je dozvoljeni nivo  $^{222}\text{Rn}$  propisan od strane agencija za zaštitu zdravlja. Dozvoljeni nivo aktivnosti  $^{222}\text{Rn}$  varira od zemlje do zemlje i kreće se od 150 do  $1000 \text{ Bq/cm}^3$  (najčešće do  $400 \text{ Bq/cm}^3$ ) [15]. Merno mesto prikazano na Slici 3. i pored značajnog povećanja koncentracije  $^{222}\text{Rn}$  tokom noći spada u bezbedna mesta po zdravlje čoveka što se pripisuje dobroj hidroizolaciji poda i materijala od koga su izrađeni zidovi. Međutim, zgrade koje su manje solidno građene ili njihova starost prevazilazi moderne građevinske standarde, ne poseduju adekvatna izolaciona svojstva te imaju mnogostruko više koncentracije  $^{222}\text{Rn}$  i mogu biti nebezbedne za život i rad. Privremeno rešenje ovog problema je vršenje stalnog provetranje prostora, a dugoročno, postavljanje hidroizolacije i uklanjanje svih otvora kroz koje postoji mogućnost prodora  $^{222}\text{Rn}$ .

Visok koeficijent korelacije atmosferskih jona i  $^{222}\text{Rn}$  pokazuje da je merenje promene koncentracije  $^{222}\text{Rn}$  alternativnim putem moguće vršiti i merenjem koncentracije atmosferskih jona. Ova merenja su pouzdani indikator povećanog prisustva  $^{222}\text{Rn}$  kao i svih drugih izvora jonizujućeg zračenja, a značajna prednost im je trenutni odziv instrumenta.

## LITERATURA

- [1] Aplin, L., Atmospheric ion-aerosol spectrometry, *The Aerosol Society Newsletter*, University of Reading, UK, 1999.
- [2] Dolezalek, H., Atmospheric electricity, In: *Handbook of Chemistry and Physics*, (Ed.) R.C. Weast, CRC Press, Inc. Boca Raton, 1982.
- [3] Harrison, R.G., Carslaw, K.S., Ion-aerosol-cloud processes in the lower atmosphere. *Reviews of Geophysics* **41** (3), 1012, 2003.
- [4] Israel, H., Atmospheric electricity, Vol.1. Israel Program for scientific translations, **317**, 1970.
- [5] Bazilevskaya, G.A., Krainev, M.B., Makhmutov, V.S., Effects of cosmic rays on the Earth's environment, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* **62**, 1577–1586, 2000.
- [6] Lenard, P., Über die Elektrizität der Wasserfälle. *Ann. Phys. Lpz.* **46**, 584–636, 1892.
- [7] Horrak, U., Air Ion Mobility Spectrum at a Rural Area, *PhD Thesis*, Tartu, 2001.
- [8] A.P.Krueger, A.J. Reed, Biological impact of small air ions, *Science* **193**, 1209-1213, 1976.
- [9] SanPiN, Sanitary and Epidemiological Norms (SanPiN) 2.2.4.1294-03. Ministry of Health of the Russian Federation, 2003.
- [10] Yamada, R., Yanoma, S., Akaike, M., Tsuburaya, A., Water-generated negative air ions activate NK cell and inhibit carcinogenesis in mice, *Cancer letters* **239**, 190-197, 2006.

- [11] Iwama, H., Negative air ions created by water shearing improve erythrocyte deformability and aerobic metabolism, *Indoor Air* **14**, 293-297, 2004.
- [12] Gerdien, H., Demonstration eines Apparates zur Apsoluten Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Luft, *Phys.Z.* **6**, 800-1, 1905.
- [13] Chalmers, A., *Atmospheric electricity*, 2nd edition, Pergamon Oxford, 1967.
- [14] Kolarž P., Marinković, B.P. and D.M., Filipović, Zeroing and testing units developed for Gerdien atmospheric ion detectors, *Review of Scientific Instruments* **76**, 046107-9, 2005.
- [15] Tung, T., Burnett, J., Radon Measurement Protocol for Residences with Different Ventilation Rates, *Indoor and built environment* **13**, 133-138, 2004.

**РЕПУБЛИКА СРПСКА  
НАУЧНА УСТАНОВА  
ИНСТИТУТ ЗАШТИТЕ, ЕКОЛОГИЈЕ  
И ИНФОРМАТИКЕ  
научноистраживачки институт  
БАЊА ЛУКА**



**REPUBLIC OF SRPSKA  
SCIENTIFIC INSTITUTION  
INSTITUTE OF PROTECTION, ECOLOGY  
AND INFORMATICS  
scientific-research institute  
BANJA LUKA**

---

Бања Лука, Видовданска 43, тел: +387 51 218 318, факс: +387 51 218 322  
e-mail: [ekoinstitut@inecco.net](mailto:ekoinstitut@inecco.net); [www.institutzei.net](http://www.institutzei.net)

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна и универзитетска библиотека  
Републике Српске, Бања Лука

502 . 131 . 1 ( 082 )

НАУЧНО-стручни скуп са међународним учешћем  
Савремене технологије за одрживи развој градова  
( 2008 ; Бања Лука )

Савремене технологије за одрживи развој градова  
: зборник радова, Бања Лука, 14 - 15 . новембар 2008  
/ [ уредник Предраг Илић ; преводаца Жања  
Салапура ] = Modern technologies for cities'  
sustainable development : collection of papers ,  
Banja Luka , 14 - 15 . november 2008 . / [ editor  
Predrag Ilić ; translator Žanja Salapura ] . -  
Бања Лука : Институт заштите, екологије и  
информатике = Бања Лука : Institute of  
protection , ecology and informatics , 2008  
( Лакташи : ГрафоМарк ) . - 986 стр . : илустр . ; 25  
цм

Текст ћир . и лат . - Радови на срп . и енгл . језику .  
- Тираж 400 . - Библиографија уз све радове . -  
Резимеи на енгл . језику уз сваки рад .

ISBN 978 - 99938 - 846 - 1 - 3

COBISS . BH - ID 868120