

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



**ЗБОРНИК
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Сребрно језеро
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG
Srebrno jezero
27- 29. September 2017**

**Belgrade
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
27-29.09.2017.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

KORELACIJA RADIJACIONIH PARAMETARA I KOLIČINE PADAVINA PRILIKOM MONITORINGA RADIOAKTIVNOSTI U OKOLINI NUKLEARNIH OBJEKATA

Vesna RADUMILO, Ivan KNEŽEVIĆ, Dragana ŽARKOVIĆ,
Dalibor ARBUTINA

Javno preduzeće “Nuklearni objekti Srbije”, Vinča, Srbija,
vesna.radumilo@nuklearniobjekti.rs

SADRŽAJ

Deo monitoringa radioaktivnosti u životnoj sredini u okolini nuklearnih objekata u Javnom preduzeću “Nuklearni objekti Srbije” obuhvata ispitivanje nivoa radioaktivne kontaminacije vazduha, kao i relevantna meteorološka merenja na mikrolokaciji. U radu je prikazana korelacija promene jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu i količine padavina usled spiranja atmosfere. Merenja su vršena na lokaciji meteorološkog stuba na 114 metara nadmorske visine. Za prikaz odnosa između izmerenih radijacionih parametara i dnevnih količina padavina korišćena je varijacija ovih vrednosti tokom 2015. godine. Analizom ovog odnosa jasno se vidi uticaj intenzivne kiše na jačinu ambijentalnog ekvivalenta doze, što opravdava izmerene povećane vrednosti do kojih, u ovom slučaju, nije došlo usled eventualnog akcidentalnog ispuštanja radioaktivnih efluenta usled rada nuklearnih objekata.

1. UVOD

Monitoring radioaktivnosti u životnoj sredini sprovodi se radi procene izloženosti stanovništva jonizujućim zračenjima, kako iz prirodnih tako i iz veštačkih izvora.

Prirodna radioaktivnost kao sastavni deo našeg okruženja i dalje predstavlja glavni izvor izlaganja radijaciji, sa doprinosom od 85,5% prosečne doze zračenja koje stanovništvo primi. U graničnom sloju atmosfere, prirodna radioaktivnost potiče najvećim delom od radona ^{222}Rn i torona ^{220}Rn , koji su prisutni u atmosferi u okviru prirodnih lanaca raspada uranijuma i torijuma. Ovi radioaktivni gasovi se dalje kroz vazduh šire turbulentnom difuzijom, a uklanjaju se iz atmosfere procesima kao što su suva i mokra depozicija. Suvom depozicijom gasovi usled gravitacione sile ili vazдушnim strujanjem padaju na tlo. Spiranje gasova padavinama, odnosno mokra depozicija u ovom radu je od posebnog interesa.

U okolini nuklearnih objekata, kao veštačkih izvora zračenja, sprovodi se monitoring radioaktivnosti u životnoj sredini u okolini nuklearnih objekata, u skladu sa *Zakonom* [1] i *Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti* [2]. Procena izlaganja stanovništva usled rada nuklearnog objekta vrši se kontrolom nivoa radioaktivne kontaminacije životne sredine u okolini nuklearnog objekta i ispitivanjem nivoa spoljašnjeg zračenja [2]. U Javnom preduzeću “Nuklearni objekti Srbije” se, u okviru monitoringa radioaktivnosti, dodatno vrše i meteorološka merenja, kao i modelovanje disperzije radioaktivnih polutanata u graničnom sloju atmosfere.

Jačina ambijentalnog ekvivalenta doze u opštem slučaju zavisi od geografske lokacije kao i radioaktivnog sadržaja lokalnih stena i tla. Pored toga, jačina ambijentalnog ekvivalenta doze može zavisiti u određenoj meri i od različitih meteoroloških uslova. Tokom kišnog perioda, dolazi do spiranja radioaktivnih elemenata iz atmosfere na zemlju i povećanja ambijentalnog radijacionog nivoa u kratkom vremenskom periodu.

Kontinualno merenje jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu u okviru monitoringa radioaktivnosti u životnoj sredini u okolini nuklearnih objekata u Javnom preduzeću "Nuklearni objekti Srbije" vrši se u smislu kontrole ispunjenja uslova sigurnosti rada nuklearnih objekata i eventualne rane najave od odstupanja od redovnog režima rada. Stoga je veoma važno u realnom vremenu ustanoviti da li su eventualna povećanja i promene izmerenih vrednosti jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu posledica promene meteoroloških uslova ili nastanka radijacionog odnosno nuklearnog akcidenta.

U ovom radu, biće prikazana upravo korelacija promene jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu i količine padavina usled spiranja atmosfere.

2. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MERNIH UREĐAJA I METODA MERENJA

Kontinualno merenje jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu se obavlja gama monitorima *MFM 202* i *203*. Multifunkcionalni gama monitor je portabl instrument, povezan sa dva energetske kompenzovana Gajger-Milerova (GM) brojača različite osetljivosti. GM brojači pokrivaju opseg jačina doza od prirodnog fona do akcidentalnih novoa, od 50 nSv/h do 1 Sv/h, sa linearnim energetske odzivom u opsegu energija gama zračenja od 60 keV do 1,3 MeV unutar $\pm 20\%$. Opseg doza na monitorima uređaja je dat u μSv i limitiran je do 5 cifara i jednom cifrom dekadnog eksponenta.

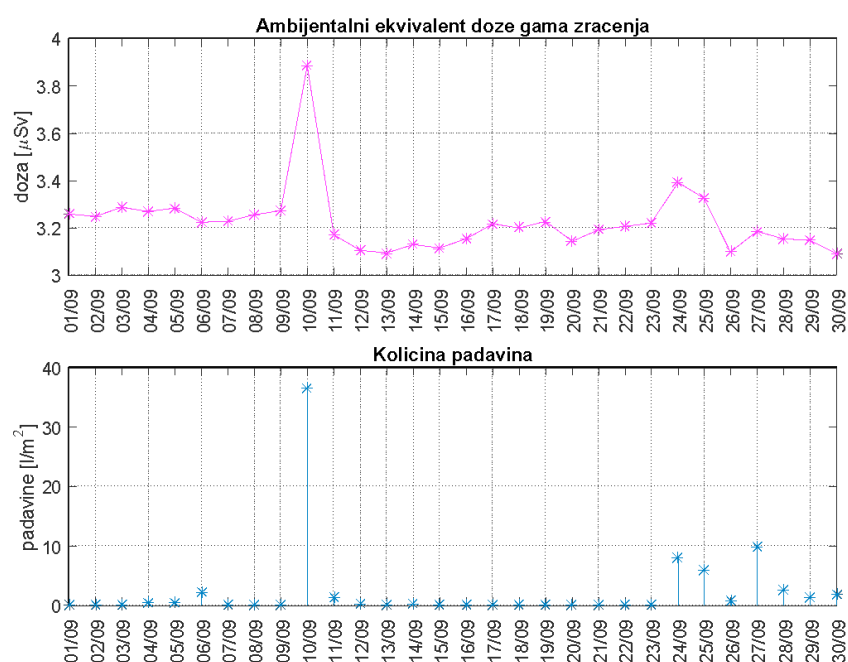
Kontinualno merenje jačine doze se vrši na 6 lokacija u okolini u Javnom preduzeću "Nuklearni objekti Srbije" prema definisanom programu kontrole. U ovom radu će biti prikazana korelacija promene doze i jačine doze sa količinom padavina za merno mesto "meteorološki stub" na 114 m nadmorske visine, i to za karakteristične, kišne mesece tokom 2015. godine, gde se za Karakteristike mernog mesta potpuno odgovaraju zahtevima analize. Gajger-Milerovi brojači se nalaze na 1,3 m iznad travnate površine, bez zaklona, pored meteorološkog stuba.

Podaci o količini padavina se dobijaju automatskim električnim kišomerom sa grejačem na meteorološkom stubu, čija je rezolucija 0,2 mm [3,4]. Podaci su obrađeni softverom koji je sastavni deo automatske stanice i kojima se pristupa preko grafičkog korisničkog interfejsa, a koji se mogu dobiti u grafičkom i tabelarnom obliku. U ovom radu je urađena analiza pomoću ukupnih dnevnih količina padavina za određene kišne mesece, a za detaljniji prikaz korelacije za jačinom doze uzete su vrednosti polučasovne količine padavina.

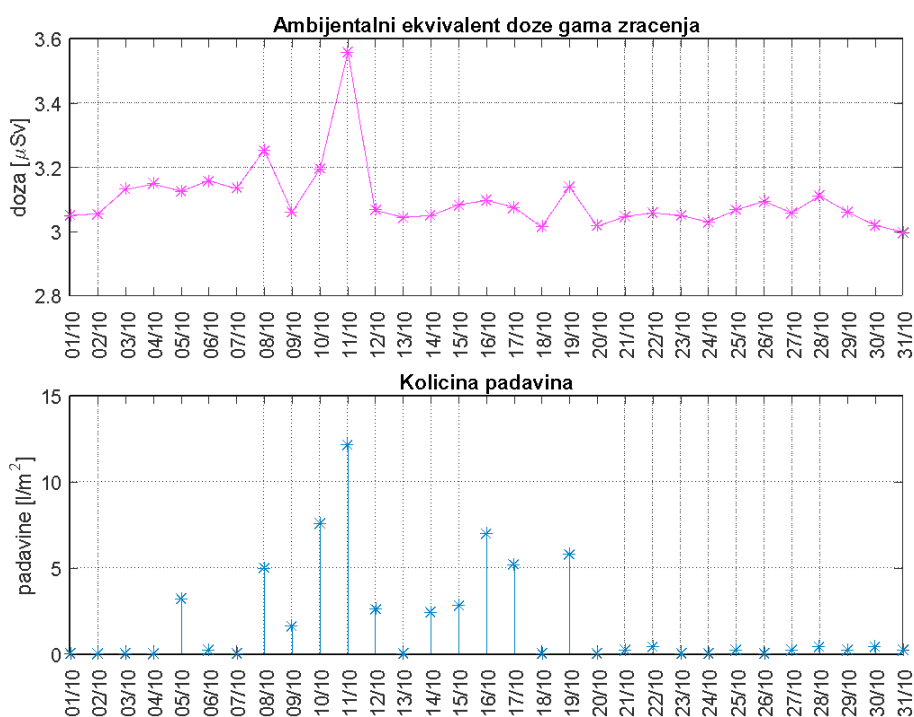
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na slikama 1, 2 i 3 prikazana je zavisnost vrednosti ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu i količine padavina za mesece septembar, oktobar i novembar 2015. godine. Na slici 1 se može videti povišena vrednost doze 10. septembra, što se poklapa sa većom količinom padavina za taj dan. Slično, na slikama 2 i 3 se, u smislu jasne veze povećanja dnevne doze sa porastom količine padavina, mogu uočiti povišene vrednosti za period 11-12. oktobar, odnosno 25-28. novembar, respektivno.

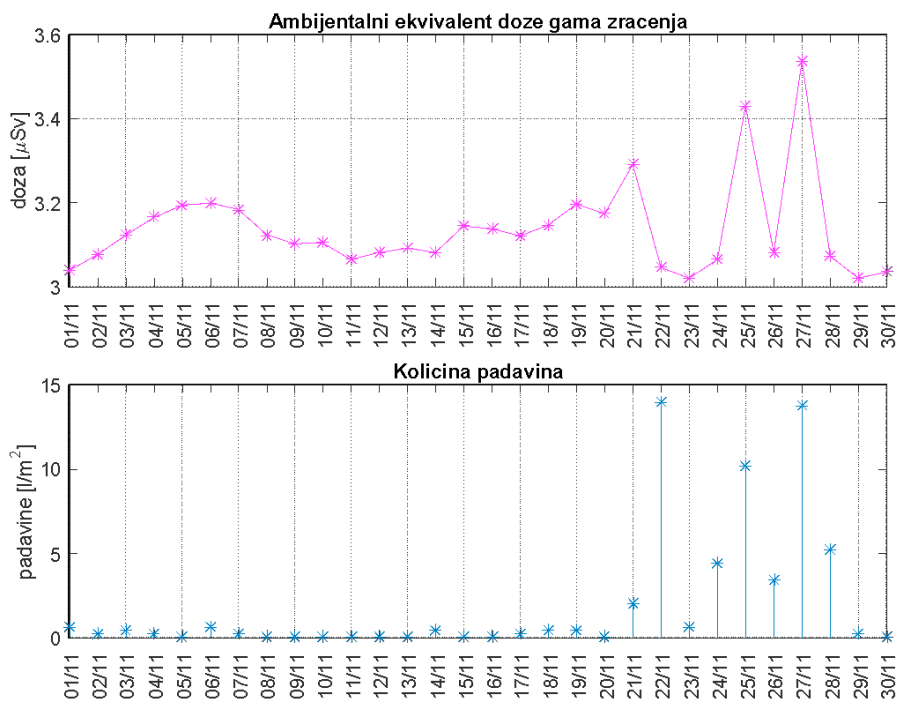
Na slikama 4, 5, 6 i 7 su prikazane polučasovne promene vrednosti jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu, u korelaciji sa polučasovnom količinom padavina, za konkretne periode kada je primećena povišena dnevna vrednost ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja, na mernom mestu "Meteorološki stub".



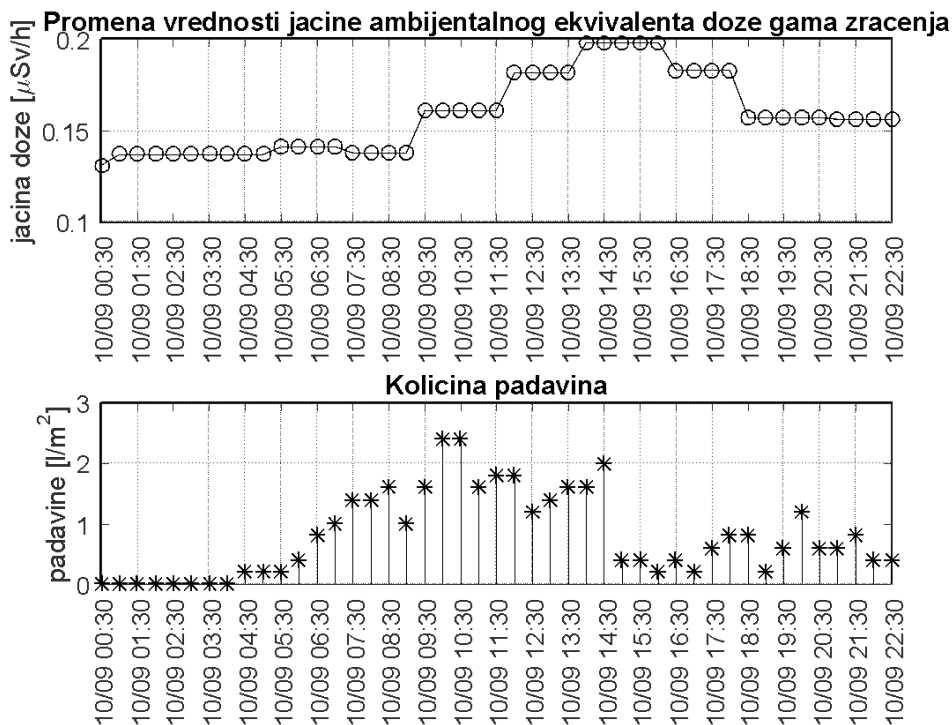
Slika 1. Dnevne vrednosti ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu [μSv] i dnevne vrednosti količine padavina [l/m^2] za septembar 2015. godine na mernom mestu “Meteorološki stub”



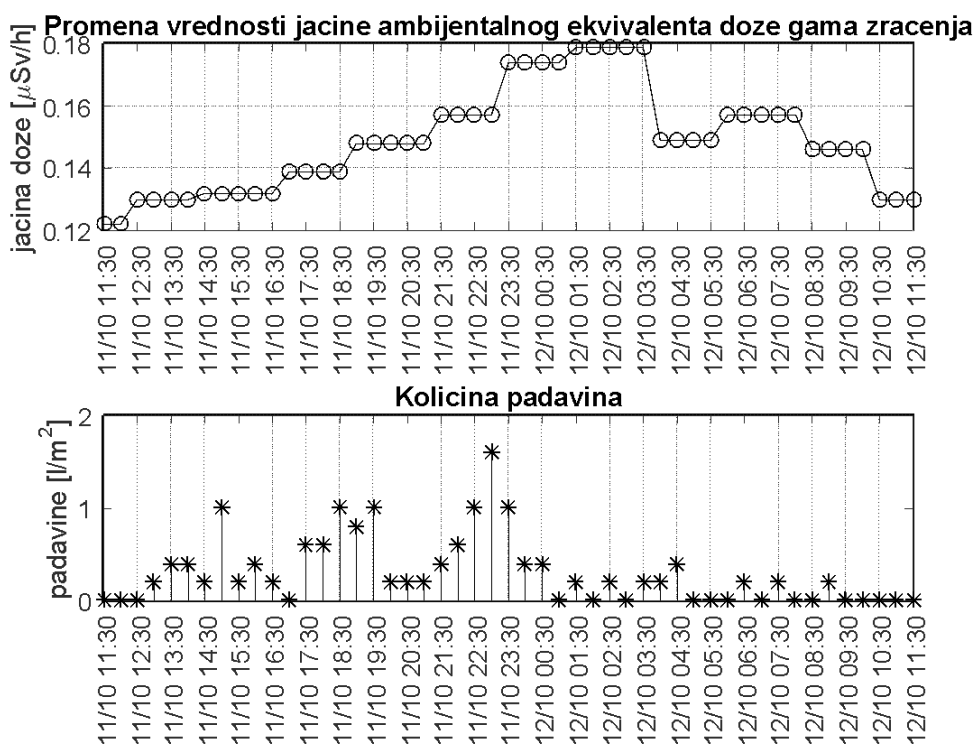
Slika 2. Dnevne vrednosti ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu [μSv] i dnevne vrednosti količine padavina [l/m^2] za oktobar 2015. godine na mernom mestu “Meteorološki stub”



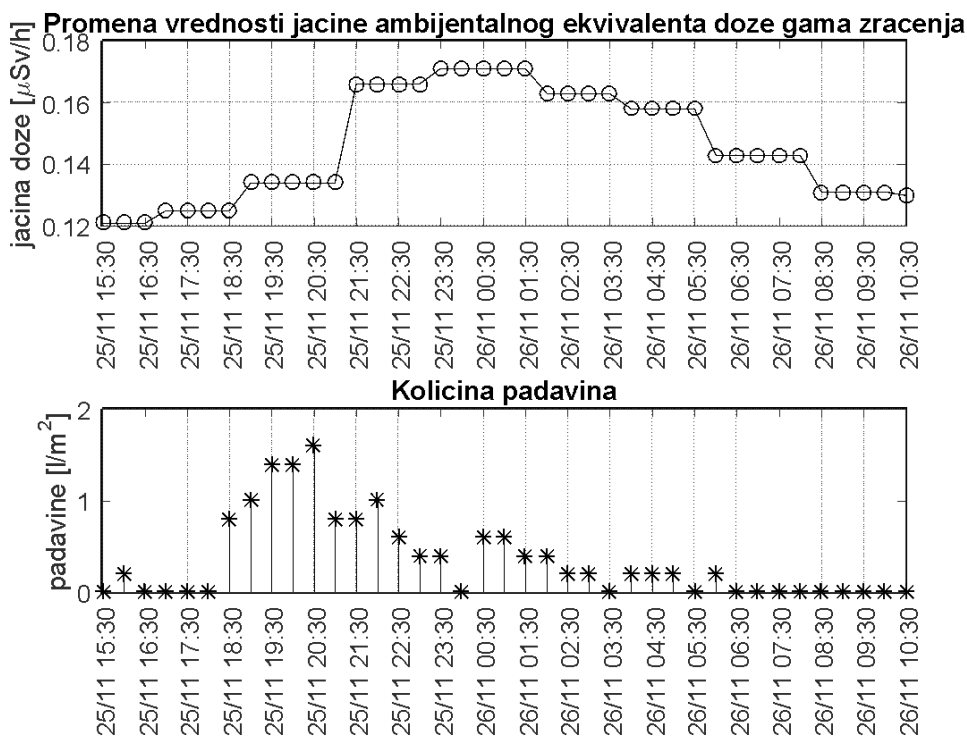
Slika 3. Dnevne vrednosti ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu [μSv] i dnevne vrednosti količine padavina [l/m^2] za novembar 2015. godine na mernom mestu “Meteorološki stub”



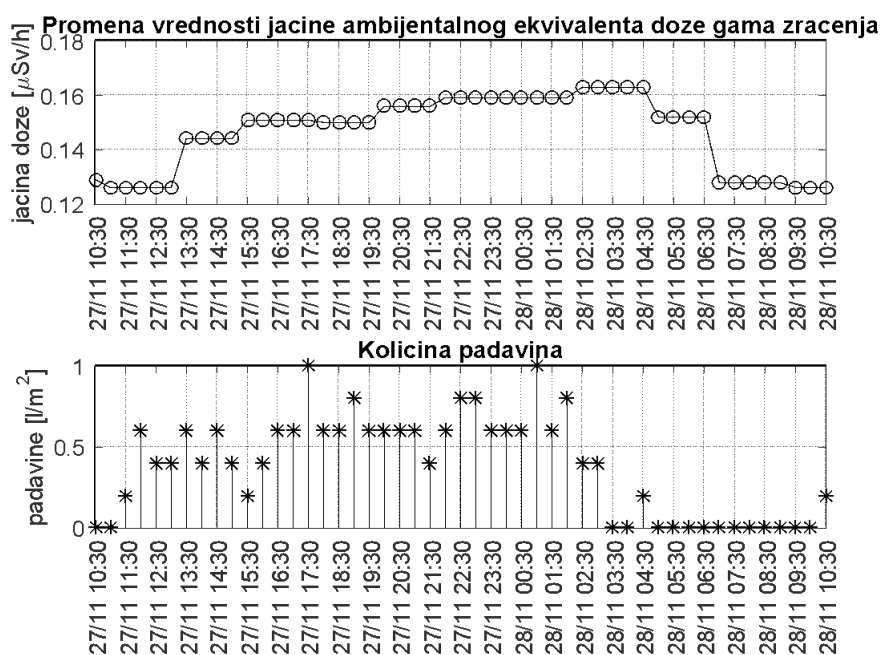
Slika 4. Polučasovne promene vrednosti jačine ambijentalnog ekvivalenta doze u korelaciji sa polučasovnom količinom padavina, za 10. septembar 2015.



Slika 5. Polučasovne promene vrednosti jačine ambijentalnog ekvivalenta doze u korelaciji sa polučasovnom količinom padavina, za 11. i 12. oktobar 2015.



Slika 6. Polučasovne promene vrednosti jačine ambijentalnog ekvivalenta doze u korelaciji sa polučasovnom količinom padavina, za 25. i 26. novembar 2015.



Slika 7. Polučasovne promene vrednosti jačine ambijentalnog ekvivalenta doze u korelaciji sa polučasovnom količinom padavina, za 27. i 28. novembar 2015.

Iz prikazanih rezultata jasno je da postoji određena korelacija između promene meteoroloških uslova, odnosno povećanja količine padavina u ispitivanom slučaju, i povećanja ambijentalnog ekvivalenta doze, odnosno jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu.

Pearsonov koeficijent korelacije predstavlja stepen linearne zavisnosti dve fizičke veličine, sa opsegom vrednosti od -1 do 1. Znak koeficijenta korelacije govori o tome na koji način dve fizičke veličine zavise jedna od druge. Negativna vrednost Pearsonovog koeficijenta govori o tome da će vrednost jedne fizičke veličine rasti dok će vrednost druge opadati. Vrednost Pearsonovog koeficijenta oko nule ukazuje na postojanje nelinearne zavisnosti dve veličine, dok njegova pozitivna vrednost govori o tome da će porast vrednosti jedne fizičke veličine indukovati porast druge fizičke veličine, sa kojom se korelacija posmatra. U tabeli 1 data je interpretacija opsega vrednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije i na osnovu toga stepena korelacije [5].

Tabela 1. Interpretacija opsega vrednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije i na osnovu toga stepena korelacije

Opseg vrednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije	Od -0,09 do 0,09	Od -0,3 do -0,1 i od 0,1 do 0,3	Od -0,5 do -0,3 i od 0,3 do 0,5	Od -1 do -0,5 i od 0,5 do 1
Kvalitativan opis stepena korelacije	Nekorelisan	Niska korelacija	Srednja korelacija	Jaka korelacija

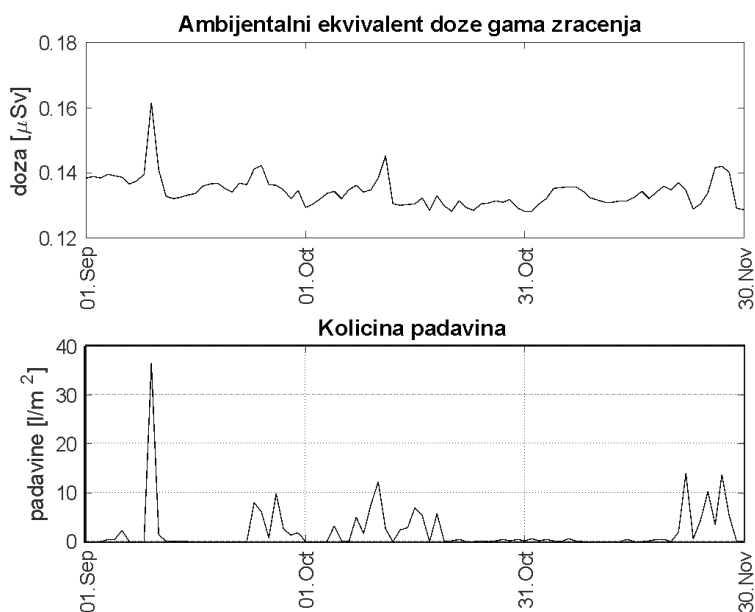
U cilju određivanja kvantitativne zavisnosti količine padavina i vrednosti ambijentalnog ekvivalenta doze, analizirani su podaci za jesen 2015. godine, kao reprezentativni period

za traženu zavisnost, što predstavlja dovoljno dobar uzorak na osnovu koga je urađen prikaz tražene korelacije i određen Pearsonov koeficijent korelacije po formuli

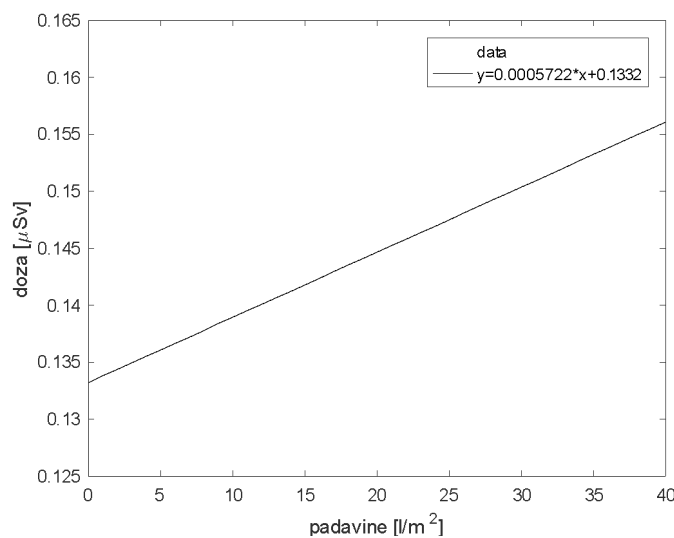
$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

gde je dobijena vrednost od 0,63. Na osnovu prikazanih kriterijuma iz tabele 1, može se zaključiti da postoji jaka korelacija između vrednosti količine padavina i ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu.

Na slikama 8 i 9, prikazane su vrednosti količine padavina i ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja za ispitivani period, i kriva međusobne zavisnosti ovih veličina, respektivno.



Slika 8. Prikaz vrednosti ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja i količine padavina za jesen 2015. godine na mernom mestu “Meteorološki stub”



Slika 9. Prikaz zavisnosti ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja i količine padavina za jesen 2015. godine na mernom mestu “Meteorološki stub”

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je detaljno prikazano jasno postojanje korelacije između povišenih vrednosti ambijentalnog ekvivalenta doze, odnosno promene jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu, i količine padavina. Sa stanovišta radijacione sigurnosti i zaštite od zračenja, veoma je bitno proceniti uticaj svih faktora koji mogu da dovedu do povećanja vrednosti radijacionih parametara, kako bi se nedvosmisleno utvrdilo da li se radi o potencijalnom radijacionom odnosno nuklearnom akcidentu ili ne. Treba istaći da se sve pomenute povišene vrednosti, odnosno varijacije jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu, prikazane u ovom radu, kreću do dvostruke vrednosti prirodnog fona. Dobijena korelacija se koristi kao dodatni alat za analizu izmerenih vrednosti ispitivanih parametara.

5. LITERATURA

- [1] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, Sl.gl. RS 36/09 i 93/12.
- [2] Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti, Sl.gl. RS 97/11.
- [3] Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, World Meteorological Organization, WMO-No.8, 2008.
- [4] Uputstvo za osmatranja i merenja na glavnim meteorološkim stanicama, Savezni hidrometeorološki Zavod, Beograd, 1974.
- [5] E.Simion, I.Mihalcea, F.Simion, C.Pacuraru, *Evaluation Model of Atmospheric Natural Radioactivity Considering Meteorological Variables*, Revista de Chimie No. 12, Bucharest, 2012.

CORRELATION OF RADIATION PARAMETERS AND RAINFALL DURING ENVIRONMENTAL RADIATION MONITORING AROUND NUCLEAR FACILITIES

Vesna RADUMILO, Ivan KNEŽEVIĆ, Dragana ŽARKOVIĆ,
Dalibor ARBUTINA

Public Company "Nuclear Facilities of Serbia", Vinca, Serbia,
vesna.radumilo@nuklearniobjekti.rs

ABSTRACT

Part of the environmental radiation monitoring around nuclear facilities in the Public Company "Nuclear Facilities of Serbia" includes the examination of radioactive contamination levels of air, as well as relevant meteorological measurements on the micro-location. This paper presents a correlation between change of ambient gamma dose rate in the air and precipitation due to atmosphere leaching. Measurements were taken at the site of a meteorological tower on 114 meters above sea level. To show the relationship between measured radiation parameters and daily precipitation, the variations of these values during 2015 were used. The analysis of this relation clearly shows the impact of the intense rain on the ambient gamma dose rate, which justifies increased measured values, which in this case were not caused due to potential accidental releases of radioactive effluents during nuclear facilities operation.