

UNIVERZITET CRNE GORE
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Predmet: Izvještaj Komisije za ocjenu master rada Tamare Đurović

Vijeće Prirodno-matematičkog fakulteta, Odlukom br. 2023/01-837/1 od 15. 5. 2023, imenovalo je komisiju za ocjenu master rada Tamare Đurović: „Koncentracije aktivnosti radona-222 u vodi za piće u Crnoj Gori”.

Nakon pregleda predatog master rada, imenovana Komisija Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta podnosi

IZVJEŠTAJ

Prikaz rada

Uz početne stranice, podatke i informacije o magistrandu, predgovor, izvode rada i sadržaj, u radu se nalaze sljedeća poglavlja:

Uvod, na stranici 3;

1. Radioaktivni gas radon, na stranicama 4–18, sa potpoglavljima: *Izotopi radona* (s osvrtom na osobine i šeme raspada radona, torona i aktinona, kao i na izvore i koncentracije Rn-222, radon u vazduhu, zemljištu i vodi), *Uticaj radona na zdravlje čovjeka* (s osvrtom na doze zračenja uzrokovane unošenjem radona inhalacijom i ingestijom, kao i na rizik od kancera i međunarodne preporuke i standarde), *Osnovne metode i tehnike mjerenja radona*;

2. Dosadašnja ispitivanja koncentracija aktivnosti radona u Crnoj Gori, na stranicama 19–27, sa potpoglavljima: *Radon u vazduhu – indoor i outdoor koncentracije* i *Radon u zemljištu i radon u vodi*;

3. Metodologija istraživanja, na stranicama 28–55, sa potpoglavljima: *Predmet i cilj istraživanja*, *Istraživačka pitanja i hipoteze*, *Metode istraživanja* (s osvrtom na uređaj RAD-H₂O, tj. RAD7 i sistem za mjerenje radona u vodi, kao i na mjerenje radona u vodi pomoću uređaja Alpha Guard), *Opis eksperimenta* (uz opis uzorkovanja vode i procedura mjerenja, te procjena godišnjih efektivnih doza od radona u vodi – ingestija i inhalacija);

4. Rezultati istraživanja, na stranicama 56–69, sa potpoglavljima: *Koncentracije radona u vodi gradskih vodovoda*, *Koncentracije radona u bunarskoj vodi*, *Godišnje efektivne doze usljed prisustva radona u vodi*;

5. Diskusija rezultata i zaključci, na stranicama 70–83, sa potpoglavljima: *Radon u vodi za piće u Crnoj Gori*, *Efektivna doza usljed prisustva radona u vodi za piće u Crnoj Gori*, *Opšti zaključci*, *Pravni okvir*;

LITERATURA, na stranicama 84–89, sa 62 reference;

Popis tabela i slika, na stranicama 90–91.

Navedeni sadržaj odgovara onome iz *Prijave teme master rada* (naš Izvještaj br. 2023/01-1118, od 5. 6. 2023), uz objedinjavanje poglavlja koja se odnose na diskusiju rezultata istraživanja i zaključke, što je sugerisano od strane mentora.

Cilj istraživanja i primijenjene metode

Predmet istraživanja bile su koncentracije aktivnosti prirodnog radioaktivnog gasa Rn-222 u vodi gradskih vodovoda na teritoriji Crne Gore (voda iz česme), kao i u vodi iz bunara sa teritorije Podgorice i njene okoline.

Uz nekoliko dodatnih ciljeva (naš Izvještaj br. 2023/01-1118, od 5. 6. 2023), osnovni cilj istraživanja bio je: utvrditi nivo koncentracije aktivnosti radona u vodi za piće na cijeloj teritoriji Crne Gore.

Svi ciljevi definisani u *Prijavi teme master rada* ostvareni su primjenom odgovarajućih metoda, a ostvarenje osnovnog cilja je višestruko značajno, budući da su u Crnoj Gori već izvršena detaljna istraživanja koncentracija aktivnosti radona u vazduhu *indoor*, kao i određena istraživanja koncentracija radona u zemljištu Podgorice.

Za mjerenje vode za piće, uz prethodno ispravno njeno uzorkovanje – i u slučaju vode iz česme (25 uzoraka iz 25 opština u Crnoj Gori), i u slučaju bunarske vode (bunari iz Podgorice, Tuzi i Zete) – primijenjene su tzv. *aktivne metode*, u skladu sa standardima i uputstvima proizvođača primijenjenih uređaja. Korišćeni su uređaji Prirodno-matematičkog fakulteta (RAD7 i RAD-H₂O) i Centra za ekotoksikološka ispitivanja iz Podgorice (*Alpha Guard* i *AquaKIT*). Primjena oba uređaja, što je vrijedan dodatak onome što je prvobitno planirano (primjena samo RAD7 sistema), značajna je i stoga što se upravo ti uređaji u posljednje vrijeme najviše koriste za provjeru sadržaja radona u vodi, kad je riječ o *aktivnim radonskim detektorima*. Uzorci vode iz česme iz južnog (primorskog) i centralnog dijela Crne Gore, kao i bunarska voda iz Zete, analizovani su pomoću RAD7, a uzorci vode iz česme iz sjevernog dijela Crne Gore, kao i bunarska voda iz Podgorice i Tuzi – pomoću *Alpha Guard* sistema. Uz analizu osnovnih uzoraka, izvršena su i kontrolna uzorkovanja i mjerenja vode iz Bara, Kotora, Herceg Novog, Danilovgrada i Nikšića, kao i vode iz bunara iz Zete. Uzorci sa jedne lokacije (Danilovgrad) analizovani su pomoću oba sistema, radi poređenja.

Primijenjene metode, uključujući i procjene srednjih godišnjih efektivnih doza koje stanovnici Crne Gore primaju usljed prisustva radona u vodi za piće, omogućile su odgovore na dva postavljena istraživačka pitanja, kao i testiranje polaznih hipoteza.

Ključni rezultati istraživanja

Rezultati istraživanja, prikazani u 14 tabela (i na osam slika), pokazali su da je opseg koncentracija aktivnosti radona u vodi iz česme (javni vodovodi) u Crnoj Gori (0,24–8,90) Bq/L, sa srednjom vrijednošću 1,83 Bq/L i medijanom 1,16 Bq/L. Pritom, najveća srednja vrijednost detektovana je za 13 opština u sjevernom dijelu (2,19 Bq/L), nešto niža za šest opština u centralnom dijelu (1,89 Bq/L) i najniža za šest primorskih opština (0,99 Bq/L).

Sprovedenim eksperimentalnim istraživanjem i uz odgovarajuće analize u potpunosti je odgovoreno na prvo istraživačko pitanje (*IPI: Da li je nivo koncentracije aktivnosti radona-222 u vodi za piće u Crnoj Gori ispod referentnih nivoa koje propisuje Evropska unija?*), i potvrđena prva hipoteza (*H1: Koncentracija aktivnosti radona-222 u vodi iz česme u Crnoj Gori je znatno ispod 100 Bq/L*).

Izvršena su poređenja dobijenih rezultata sa podacima u relevantnoj literaturi, uključujući i obavezujuću Direktivu Savjeta Evropske unije 2013/51/EURATOM, kako u slučaju vode iz česme, tako i u slučaju vode iz bunara. Naime, četiri uzorka vode iz aktivnih bunara (iz Podgorice, Tuzi i Zete) sadržala su od 3,08 Bq/L do 9,41 Bq/L radona, a druga hipoteza (*H2: Koncentracija*

aktivnosti radona-222 u vodi iz bunara sa teritorije Podgorice veća je nego u vodi iz česme, ali ne prelazi 100 Bq/L) samo je djelimično potvrđena. U radu se ispravno navodi da je u budućim istraživanjima potrebno uraditi veći broj mjerenja uzoraka vode iz bunara sa različitih lokacija, da bi se navedena hipoteza u potpunosti testirala.

U drugom dijelu istraživanja procijenjene su srednje godišnje efektivne doze uslovljene prisustvom radona u vodi za piće. Efektivna doza usljed ingestije vode u Crnoj Gori je iz opsega (0,62–22,7) μSv , sa srednjom vrijednošću 4,67 μSv i medijanom 2,95 μSv ; a kad je riječ o dozi od inhalacije radona koji izlazi iz vode, opseg je (0,61–22,4) μSv , srednja vrijednost je 4,60 μSv , a medijana 2,91 μSv . Ako se ovim rezultatima dodaju i rezultati procjena srednje godišnje efektivne doze uslovljene prisustvom radona u ispitivanoj bunarskoj vodi, može se zaključiti da ukupna efektivna doza, usljed ingestija i inhalacija radona iz vode, u Crnoj Gori ne prelazi 47,8 μSv godišnje.

Zahvaljujući rezultatima ovog dijela istraživanja odgovoreno je na drugo istraživačko pitanje (IP2: Koliku dozu prima stanovnik Crne Gore usljed prisustva radona-222 u vodi za piće?). Takođe, provjerena je i treća hipoteza (H3: Prisustvo radona-222 u vodi za piće u Crnoj Gori uzrokuje dozu zračenje koja nije veća od 0,03 mSv godišnje), koju zadovoljavaju sve ispitivane lokacije osim jedne (za koju je izmjerena najveća koncentracija aktivnosti radona u vodi), gdje je ukupna doza nešto iznad 0,03 mSv (0,045 mSv). S druge strane, rezultati dobijeni u okviru ovog rada opovrgavaju četvrtu hipotezu (H4: Doza od ingestije radona-222 kroz vodu iz česme niža je od doze od inhalacije radona-222 koji izlazi iz te vode), ali je potvrđuju dodatne sprovedene analize koje su u obzir uzele ukupnu inhalaciju radona putem vazduha indoor.

Na kraju, u master radu je naveden i pravni okvir u Crnoj Gori, kad je riječ o zaštiti od radona, odnosno dat je osvrt na nedavno usvojeni *Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja, radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti i bezbjednosti*, kao i na podzakonska akta koja u perspektivi treba da budu pripremljena i usvojena.

Zaključak i predlog

Komisija konstatuje da je u okviru predmetnog master rada uspješno realizovano istraživanje koje je, posebno u eksperimentalnom dijelu, bilo vrlo zahtjevno. Sam rad zadovoljava sve propisane uslove i opšte standarde, kako po kvalitetu rezultata, tako i po kvalitetu teorijskih analiza i sadržaja.

Stoga, Komisija predlaže Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta da prihvati master rad Tamare Đurović „Koncentracije aktivnosti radona-222 u vodi za piće u Crnoj Gori”, i imenuje komisiju za njegovu odbranu.

KOMISIJA:

prof. dr Nevenka Antović, mentor

M. Antović

prof. dr Borko Vujičić, član

Borko Vujičić

prof. dr Gordana Jovanović, član

Gordana Jovanović

U Podgorici, u julu 2024.