



Физички аспекти квалитета вода за рекреацију и бањских вода

доц. др Софија Форкапић и проф.др Душан Мрђа

Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет

Департман за физику, Лабораторија за испитивање радиоактивности узорака и дозе јонизујућег и нејонизујућег зрачења

Увод

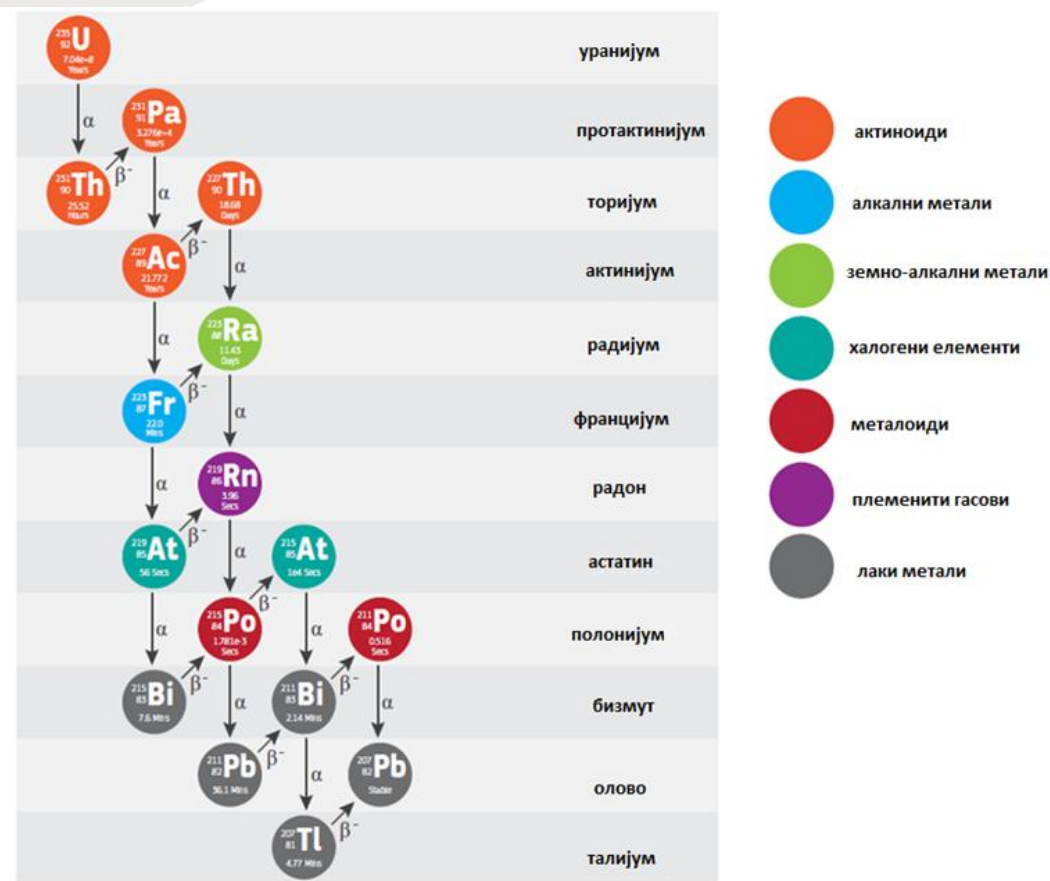
- Вода коју користимо за пуњење базена у бањама или спа центрима по пореклу – геотермална или минерална вода.
- Геотермалне воде - долазе са великих дубина и пролазе кроз стене могу да имају различити садржај природних радионуклида што је условљено природом и саставом стена аквифера, старошћу воде, условима тока и геохемијским подземним процесима.
- Физичко-хемијске карактеристике оваквих вода су препознате као балнеолошки квалитет или природна погодност која повољно утиче на људски организам и због тога се могу користити у медицинске сврхе за профилаксу и лечење.
- Хемијски састав, укупна минерализација, присуство гасова и радиоактивност се сматрају особинама минералних и геотермалних вода које су значајне за њихову примену у лечењу и рехабилитацији.
- За површинске воде је уобичајен веома ниски садржај природне радиоактивности.

БАЛНЕОЛОШКИ КРИТЕРИЈУМИ КВАЛИТЕТА ВОДА ЗА РЕКРЕАЦИЈУ И БАЊСКИХ ВОДА

- ✓ Природне минералне воде су по дефиницији воде које потичу из подземних слојева или лежишта изданских вода, одакле долазе на површину преко једног или више природних или бушених извора (Сл. гласник РС, број 43/13). Као природне лековите воде најчешће се користе минералне воде које у једном литру садрже више од једног грама растворених минералних материја.
- ✓ Примордијални или првобитни радионуклиди већином заступљени у Земљиној кори (често се користи израз и терестријални) са периодом полураспада од неколико милијарди година. Ови радионуклиди су груписани у три природна радиоактивна низа чији су родоначелници или први чланови три радионуклида: уранијума ^{235}U , уранијума ^{238}U и торијума ^{232}Th , са периодом полураспада реда величине постојања Земље.
- ✓ Њиховим радиоактивним распадом настају језгра која су такође нестабилна и даље се сукцесивно распадају једно у друго алфа или бета распадима који су праћени емитовањем гама зрачења.
- ✓ У сва три природна радиоактивна низа је присутан по један изотоп радона који је потомак радијума али пошто је у гасовитом стању лако напушта место формирања и дифузијом стиже до површине Земље.

Радиоактивност воде

- Поред радионуклида који припадају природним радиоактивним низовима (као што су уранијумски и торијумски низ), у води могу бити присутни и други природни радионуклиди терестријалног или космогеног порекла (^{40}K , ^3H , ^{14}C), као и произведени радионуклиди који се испуштају у атмосферу или водотокове из индустријских или медицинских активности (^3H , ^{14}C , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I , трансуранијумски елементи и остали радионуклиди антропогеног порекла).
- Посебан ризик за здравствену безбедност воде представља радон, природни радиоактивни гас, потомак радијума који због високе растворљивости у води може достићи веома високе концентрације у подземним водама.
- Приликом употребе воде и њеног распрскавања овај гас се ослобађа у ваздух што посебно може представљати проблем за затворене базене уколико је лоша вентилација.



Балнеолошки квалитет вода



Балнеолошке поступке, као што су купање у минералној води, пијење минералне воде, облагање пелоидом и пелоидне купке или инхалирање гасова прописује лекар на основу симптома пацијената и одговарајућих болести.

Концепт здравственог и велнес туризма се у нашим крајевима углавном заснива на лековитим минералним и термалним водама.



Од радиоактивних вода у балнеологији се најчешће користе радонске и радонско-радијумске воде.

Најпре је владало мишљење, како међу научницима, тако и међу лекарима, да радиоактивни елементи имају лековита својства. Топле воде које су имале високу концентрацију радона су проглашене чудотворнима. С временом, наука је дошла до закључка да радиоактивност са собом носи и штетне последице.

Правилник о квалитету и другим захтевима за природну минералну воду, природну изворску воду и стону воду "Службени гласник РС", број 43/13

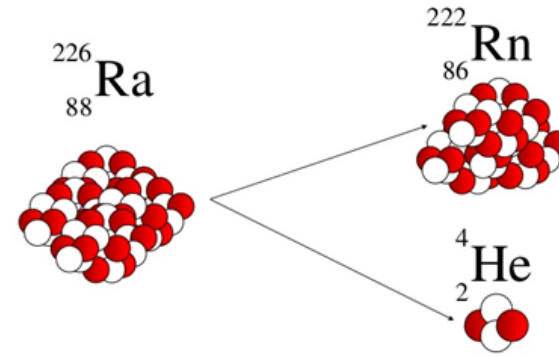
- Према законској регулативи квалитет природних минералних и изворских вода се испитује и прати за изворе, бунаре, издане, или изворишта једанпут у три године.
- Анализа обухвата испитивање састава природне минералне воде и природне изворске воде на основу прописаних критеријума и параметара.
- Један од захтева за дефинисање квалитета природних минералних и изворских вода је испитивање садржаја радионуклида.
- Пошто нема дефинисаних граница за концентрацију радионуклида у природним минералним водама, осим за пијаћу воду која се наравно по својим карактеристикама и саставу знатно разликује од минералне и изворске воде, на основу измерених концентрација детектованих радионуклида мора се извршити процена излагања јонизујућим зрачењима на основу препорука и модела међународних организација за заштиту од зрачења.
- При том се узимају у обзир: начин излагања радиоактивном зрачењу (спољашње излагање или ингестија и инхалација као унутрашње излагање), време излагања и тип зрачења, односно специфичне радиохемијске особине сваког радионуклида.
- За процену излагања људи радиоактивном зрачењу најважнији параметар је време излагања ако је у питању спољашње озрачивање или инхалација, односно просечан годишњи унос воде ако је у питању ингестија – тј. пијење радиоактивне воде или унос радионуклида преко коже током радиоактивних купки.

Радијум у води

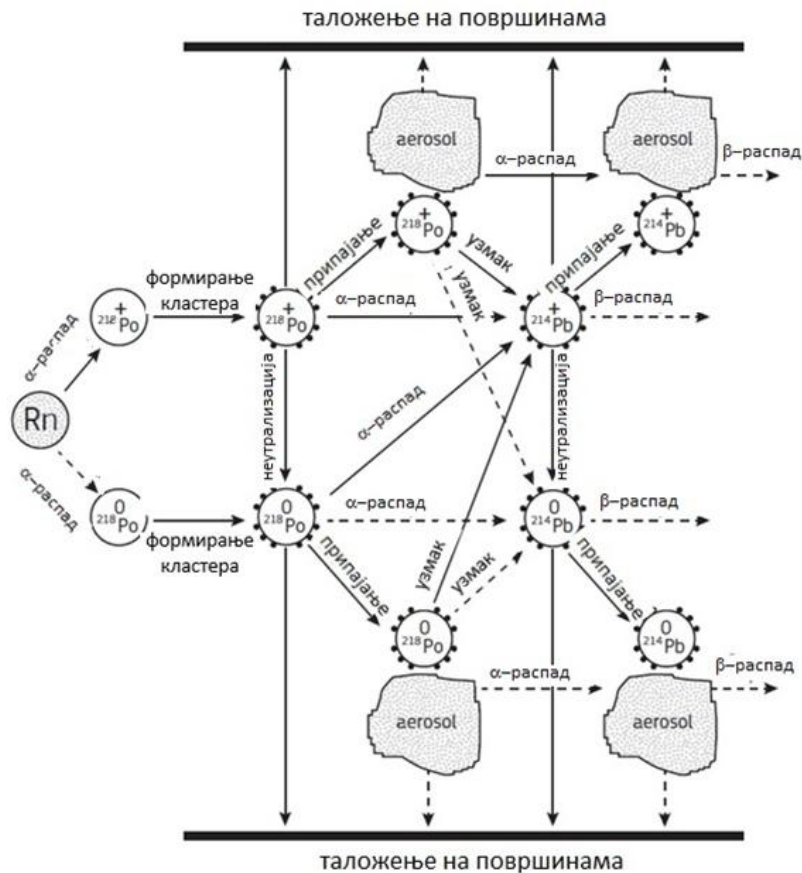
- Радијум је радиоактивни алкални елеменат терестријалног порекла чија су два изотопа ^{226}Ra и ^{228}Ra најзначајнија са аспекта заштите од јонизујућих зрачења, због дугог периода полу-распада (за ^{226}Ra 1620 година), заступљености у животној средини и високим дозним конверзионим факторима (IAEA 2014). Иако је садржај радијума у води веома низак, реда величине mBq/l, овај елеменат је изузетно радиотоксичан и има тенденцију да се таложи у костима као и други алкални елементи (калцијум, баријум или стронцијум). Зато је неопходно развити брзу и прецизну методу са довољно ниским границама детекције како би уопште било могуће детектовати присуство малих концентрација у узорцима воде за пиће (IAEA 2010). Изузетно, неке минералне или геотермалне воде могу садржати ^{226}Ra и до концентрација реда величине Bq/l (JRC, 2019).
- Како радијум има оксидациони број +2, најчешће се у растворима јавља у облик јона Ra^{2+} или као RaSO_4 , док може да ствара и јаке водене комплексе са карбонатима.
- Законски прописане границе за концентрације радијума у пијаћој води су веома ниске (0,5 Bq/l за ^{226}Ra и 0,2 Bq/l за ^{228}Ra) и одговарају индикативној дози од 0.1 mSv/годишње (Сл. Гласник РС 36/18). Ове концентрације су изведене на основу дозних коефицијената из публикације ICRP Publication 119 (ICRP 2012) и просечног уноса пијаће воде на годишњем нивоу од 730 l за одрасле особе (2001/982/Euratom).

Присуство радона у води

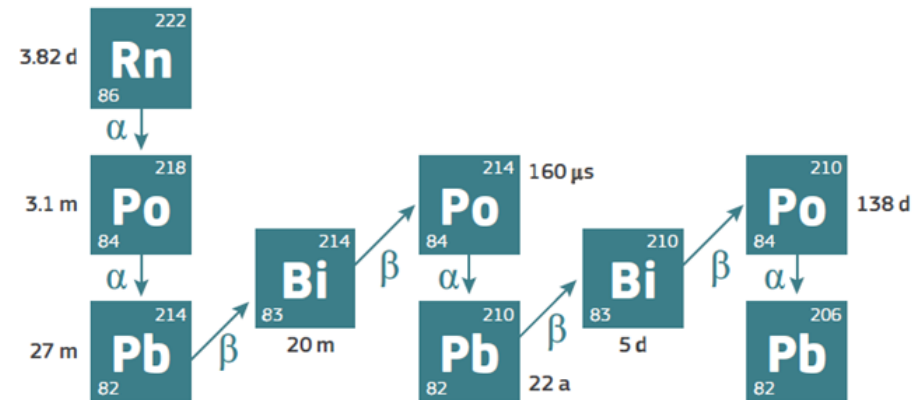
- Радон је природни радиоактивни гас без укуса и мириса, чија је густина седам и по пута већа од густине ваздуха.
- У природи је најзаступљенији изотоп радона ^{222}Rn , потوما радијума ^{226}Ra и када кажемо радон мислимо на овај изотоп. Он је алфа емитер (енергија алфа честице 5,5 MeV) са периодом полу-распада од 3,824 дана
- Као инертан гас лако напушта место формирања, као што су стене дубоко у Земљиној кори са повишеним садржајем уранијума и радијума, и дифундује кроз дебеле слојеве земљишта до површине.
- Везује се лако и за молекуле воде и може лако да се креће са гасовитом и воденом фазом и на тај начин образује значајне концентрације у ваздуху затворених просторија у који доспева након проласка кроз пукотине или шупљине у подним изолацијама или распрскавањем воде.



Распад радона и краткоживећи потомци

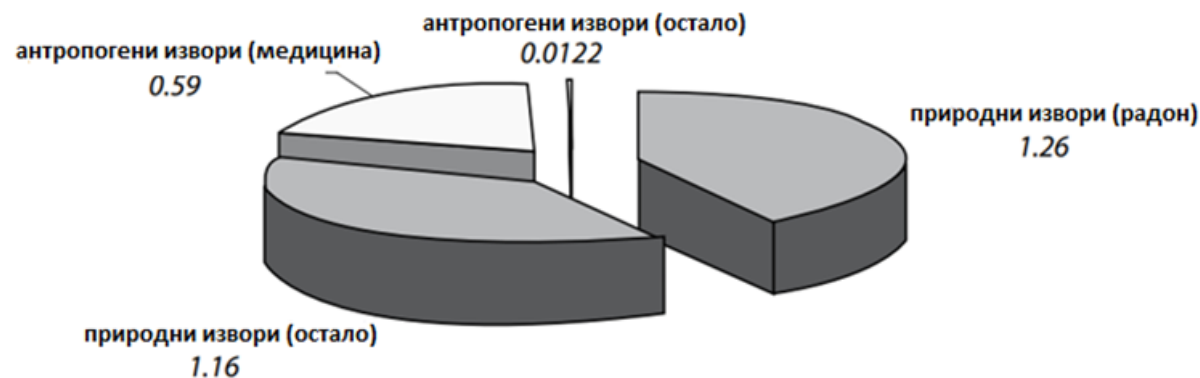


Распадом радона сукцесивно настају такође радиоактивни краткоживећи потомци: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi и ^{214}Po . За разлику од радона потомци су наелектрисане прашкасте честице које се припајају мањим кластерима честица или крупним аеросолима у ваздуху, даље распадају, сударају, неутралишу и таложe на зидове просторије (Слика).



- Са аспекта заштите од јонизујућих зрачења највећа пажња се поклања неприпојеним потомцима који су везани за мање кластере честица у ваздуху димензија реда величине од 2-3 μm и приликом удисања такви кластери се не задржавају у горњим дисајним путевима као крупни аеросоли, него доспевају директно у плућа.

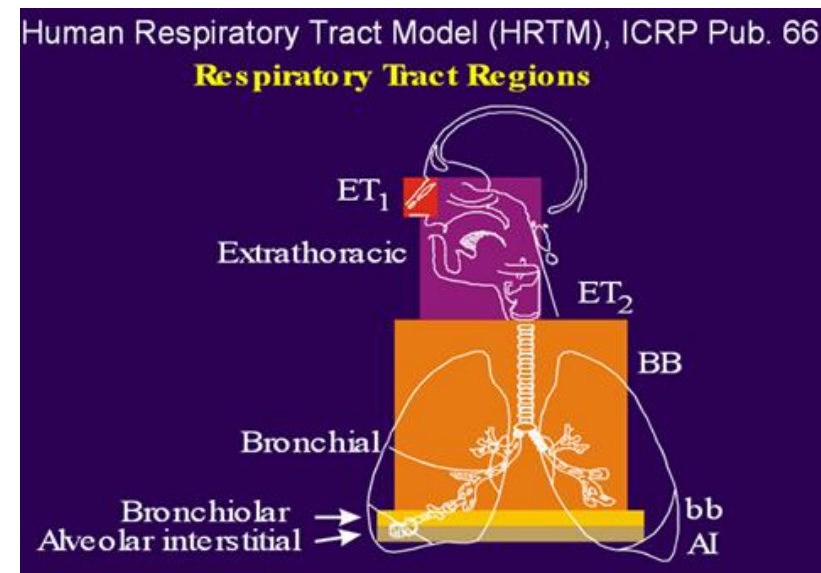
Иzvори и дистрибуција просечног излагања изворима јонизујућег зрачења за светску популацију у mSv/год. (WHO, 2018)



ефективна доза од удисања радона и његових потомака D_{Rn} у радним срединама за референтног радника са просечном брзином дисања од $1,2 \text{ m}^3 / \text{h}$ рачуна се на основу релације:

$$D_{Rn} = C \times DCF \times F \times O,$$

где је C измерена максимална концентрација радона у ваздуху у Bq/m^3 ; DCF дозни конверзионни фактор за радон и потомке који за професионално излагање у затвореним просторијама износи $1,3 \times 10^{-5} \text{ mSv}/\text{Bq m}^{-3} \text{ h}^{-1}$; F је фактор равнотеже $F = 0,4$; а O је окупациони фактор (O = време проведено у затвореној просторији у h на годишњем нивоу)



Излагање радону у бањама и спа центрима

- У домаћој регулативи за боравишне просторије је уведен интервентни ниво за постојеће објекте од 400 Bq/m^3 за средњу годишњу концентрацију радона - члан 40. Правилника о границама излагања јонизујућим зрачењима и мерењима ради процене нивоа излагања јонизујућим зрачењима (Сл. Гласник РС 86/11 и РС 50/18). Ова вредност је ипак изнад препорученог нивоа Светске здравствене организације WHO од 100 Bq/m^3 уведеног ради минимизирања штетног здравственог ризика од удисања радона (WHO, 2009).
- Овај Правилник у члану 35 утврђује интервентни ниво за хронична излагања радону на радном месту који је једнак средњој годишњој концентрацији од 1000 Bq/m^3 радона ^{222}Rn у ваздуху.
- На основу члана 33. овог правилника који се односи на професионално излагање природним изворима јонизујућих зрачења, за раднике у бањама постоји могућност излагања већег од 1 mSv/год када су у току рада изложени изворима јонизујућих зрачења природног порекла, што је потребно утврдити мерењима ради процене нивоа излагања у радним срединама.
- Пошто је боравак становништва, тј, пацијената или особа на рекреацији на годишњем нивоу у оваквим просторијама ограничен (третмани трају уобичајено око 20 минута), процењена доза услед инхалације радона и његових потомака обично не пређе граничну вредност за становништво од 1 mSv/год .



Параметарске вредности за радон у води

- Велики број истраживања спроведених у државама чланицама ЕУ показала су да су концентрације радона у површинским водама веома ниске испод 1 Bq/l. Концентрације радона у подземним водама могу варирати од 1 до 50 Bq/l за изворе у седиментним стенама, од 10 до 300 Bq/l за бунаре ископане у земљишту, и од 100 Bq/l до 50 000 Bq/l у гранитним и метаморфним стенама које садрже повишене концентрације уранијума.
- Што се тиче радона у правној регулативи прописује се параметарске вредности за радон у води од 100 Bq/l за испитивања у оквиру мониторинга радиоактивности воде за пиће (2001/928/Euratom). То значи да садржај радона у води не би требао да прекорачи ову вредност. Уколико национални програми мерења радона у води утврде ниво радона изнад ове препоручене вредности, треба спровести оптимизацију заштите од зрачења, не угрожавајући водоснабдевања на националном или регионалном нивоу. Мере санације сматрају се оправданим, без даљег разматрања, ако концентрације радона прелазе 1000 Bq/l.

Ефективна доза од ингестије воде са радоном и радијумом

- Ефективна доза примљена при ингестији радона и његових потомака односи се на желудачно ткиво, кожу и крвне судове и одређује се на годишњем нивоу преко израза (Somlai, 2007):

$$D_{Rn} = K \times C \times KM \times t,$$

- где су: E - ефективна доза на годишњем нивоу у [mSv]; K - конверсионни фактор примљене дозе при ингестији ^{222}Rn , а износи $10^{-8} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ за одрасле, а $2\cdot 10^{-8} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ за децу (UNSCEAR, 2010);

C - измерена концентрација активности радона у води [$\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$]; KM - просечан унос воде (2 l по дану) и t - време за које се процењује доза (1 година, тј. 365 дана)

- Укупна ефективна доза добија се сабирањем ефективне дозе која потиче од излагања спољашњем зрачењу и од зрачења радионуклида унетих ингестијом и инхалацијом:

$$E = E_S + \sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(g)_{j,inh} I_{j,inh}$$

где су: E_S - допринос спољашњег зрачења укупној ефективној дози; $e(g)_{j,ing}$ и $e(g)_{j,inh}$ - очекиване ефективне дозе по јединичном уношењу радионуклида j унетог храном или удисањем за појединца у старосној групи g – ове вредности су дате у законској регулативи и прорачунате су на основу утицаја радионуклида присутног у цревима на друге органе и ткива и на основу хемијске форме унетих елемената; а код инхалације и од величине инхалираних честица

- $I_{j,ing}$ и $I_{j,inh}$ - одговарајуће активности радионуклида унетих путем хране или удисања.



Закључак

- Пошто рекреација и рехабилитација у базенским и бањским водама треба да допринесе побољшању здравственог стања становништва, а не да га потенцијално угрожава, препорука је да се систематски испитује садржај радионуклида свих подземних и минералних вода које се користе за купање или конзумацију ради процене излагања јонизујућем зрачењу.
- Поред радиоактивности неопходно је пратити и остале балнеолошке факторе и критеријуме прописане законском регулативом у периоду једном у три године.
- За затворене базене уколико се користи радијумска или радонска вода највећи допринос излагања јонизујућем зрачењу ће бити од удисања радона и његових потомака који се акумулирају у ваздуху због лоше вентилације.
- За мерење концентрације радона у ваздуху око базена најподеснија је директна континуална метода мерења активним радонским мониторинзима због високог садржаја влаге и високих концентрација радона и могућности праћења варијација радона.
- Ова мерења, као и одређивање садржаја радијума и радона у води требало би да спроводе акредитоване и овлашћене лабораторије због ниских граница детекције, софистициране мерне опреме и искуства и познавања метода истраживања радона.



ХВАЛА НА ПАЖЊИ