

УНИВЕРЗИТЕТ „УНИОН-НИКОЛА ТЕСЛА“ У
БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ЗА ЕКОЛОГИЈУ И ЗАШТИТУ ЖИВОТНЕ
СРЕДИНЕ

МЛАДЕН Д. НИКОЛИЋ

МИГРАЦИЈА РАДОНА ИЗ
ГРАЂЕВИНСКИХ МАТЕРИЈАЛА И
ИЗРАДА СОФТВЕРА ЗА
МОДЕЛОВАЊЕ И МАПИРАЊЕ

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

БЕОГРАД, 2015

UNIVERZITET „UNION-NIKOLA TESLA“ U BEOGRADU
FAKULTET ZA EKOLOGIJU I ZAŠTITU ŽIVOTNE
SREDINE

MLADEN D. NIKOLIĆ

MIGRACIJA RADONA IZ
GRAĐEVINSKIH MATERIJALA I
IZRADA SOFTVERA ZA MODELOVANJE
I MAPIRANJE

DOKTORSKA DISERTACIJA

BEOGRAD, 2015

UNIVERSITY „UNION-NIKOLA TESLA“ OF BELGRADE
FACULTY FOR ECOLOGY AND ENVIROMENTAL
PROTECTION

MLADEN D. NIKOLIĆ

RADON MIGRATION FROM BUILDING
MATERIALS AND DEVELOPMENT OF
SOFTWARE FOR MODELLING AND
MAPPING

DOCTORAL THESIS

Belgrade, 2015

Подаци о члановима комисије:

- 1. Др Светлана Полавдер, председник комисије, доцент (13.10.2013)-** Геологија и животна средина, Факултет за екологију и заштиту животне средине-Универзитет „Унион Никола Тесла“
- 2. Др Мијуца Дубравка, члан комисије, редовни професор, изабрана** по решењу број 428/1 од 24.07.2007 године, на Факултету за екологију и заштиту животне средине- Универзитету Унион Никола Тесла, Београд, Србија,
- 3. Др Марина Илић, члан комисије, редовни професор , изабрана** по решењу број 309/1 од 28.10.2008 године на Факултету за екологију и заштиту животне средине - Универзитету Унион Никола Тесла, Београд, Србија,
- 4. Др Драгана Тодоровић, члан, доцент** Природно математичког факултета у Бања Луци, област физика, реизбор Република Српска , Универзитет у Бања Луци, одлука Сената Универзитета, бр.02/04-3.4562-24/13 од 16.01.2014., Виши научни сарадник, у области физике, Министарство просвете и науке бр.06-00-78/292 од 25.05.2011.гд
- 5. Др Светлана Стевовић, ментор, редовни професор, од 01.06.2012. за** област заштита животне средине, изабрана на Универзитету Унион Никола Тесла, Београд, Србија, Одлука бр. 637/2, Научни саветник, од 05.10.2011. Избор Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, Одлука број 06-00-75/161.

MIGRACIJA RADONA IZ GRAĐEVINSKIH MATERIJALA I IZRADA SOFTVERA ZA MODELOVANJE I MAPIRANJE

Rezime: Živi organizmi na površini Zemlje stalno su izloženi prirodnom zračenju, koje može biti kosmičkog i zemaljskog porekla. Ljudi mogu biti ozračeni na dva načina: eksterno, kada radioaktivne supstance ozračuju organizam spolja, i interno, kada se radioaktivne supstance u organizam unesu inhalacijom, te ingestijom, putem hrane i vode. Istraživanja vršena poslednjih decenija pokazuju da u normalnim uslovima preko 70% ukupne godišnje doze zračenja koju stanovništvo primi potiče od prirodnih izvora jonizujućeg zračenja, pri čemu je 40% uslovljeno inhalacijom i ingestijom prirodnog radioaktivnog gasa, radona (^{222}Rn), odnosno njegovih potomaka. Izuzetno je važno meriti koncentraciju aktivnosti radona u zatvorenim prostorijama zato što današnje ljudske aktivnosti (smanjenje prirodne ventilacije u cilju uštede energije, korišćenje recikliranih otpadnih materijala u građevinske svrhe, tendencija da čovek veći deo svog dana provodi u zatvorenoj prostoriji), dovode do povećane potencijalne izloženosti čoveka radonu i njegovim kratkoživećim potomcima. Istraživanja su potvrdila da je radon odgovoran za preko 20.000 smrtonosnih slučajeva obolelih od kancera pluća godišnje u EU, tj. za oko 9% svih smrtnih slučajeva uslovljenih kancerom pluća. Glavni izvor prisustva radona u zatvorenoj prostoriji je zemljište ispod posmatrane prostorije; međutim, neki građevinski materijali takođe mogu značajno uticati na povećanje koncentracije aktivnosti radona u zatvorenim prostorijama.

U ovoj disertaciji eksperimentalno su utvrđene stope ekshalacije 40 vrsta granita komercijalno dostupnih na tržištu Srbije, kao i raznih drugih građevinskih materijala koji se koriste u Srbiji. Za potrebe istraživanja konstruisana je specijalna aparatura, koja, pored određivanja stepena ekshalacije, ima i posebne dodatke za određivanje difuzije radona kroz razne građevinske materijale.

Aktivnim i pasivnim metodama, dugoročno i kratkoročno, vršena su eksperimentalna istraživanja migracije radona na terenu u atomskim skloništima.

Ovim metodama obuhvaćen je set eksperimentalnih ispitivanja migracije radona, i to: uticaj ventilacije na koncentraciju radona, prostorna distribucija radona, visinska distribucija radona, kao i dnevno-noćne varijacije koncentracije radona.

Na osnovu dobijenih eksperimentalnih podataka, postavkom određenih rezidencijalnih scenarija vršene su estimacije koncentracije radona u rezidencijalnim i radnim prostorijama. Korišćenjem poznatih dozimetrijskih modela vršene su procene ozračivanja živih organizama.

U cilju olakšavanja računanja doza, konstruisana je specijalna PHP/MSQL internet platforma za izračunavanje doza za različite ulazne parametre, kao i za mapiranje radona.

Ključne reči: radon, ekshalacija, građevinski materijal, dozimetrija, web programiranje.

RADON MIGRATION FROM BUILDING MATERIALS AND DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR MODELLING AND MAPPING

Abstract: Living organisms on Earth's surface are constantly exposed to natural radiation, which could be of cosmic or terrestrial origin. People can be irradiated in two ways: externally, when irradiated with radioactive substances from outside the body, and internally, when the radioactive material enters the organism via inhalation or ingestion through food and water. Studies conducted in recent decades have shown that in normal conditions over 70% of total annual radiation dose received by the population comes from natural sources of ionizing radiation, wherein 40% conditioned by inhalation and ingestion of natural radioactive gas, radon (^{222}Rn) and its progeny. It is important to measure the activity concentration of radon indoors because today's human activities (decreasing of natural ventilation in order to save energy, using recycled waste material for construction purposes and the tendency of a man to spend most of his day indoors), leading to increased potential exposure to radon and its short-lived progeny. Studies have confirmed that radon is responsible for more than 20,000 fatal cases of patients suffering from lung cancer per year in the EU, ie. about 9% of all deaths caused by lung cancer. The main source of the presence of radon indoors the land under the residential object ; However, some building materials can also greatly increase the activity concentration of radon indoors.

In this dissertation rate of exhalation 40 types of granite commercially available on the market of Serbia is experimentally determined, as well as various other building materials used in Serbia. For the study a special apparatus was constructed, which, in addition to determining the exhalation rate, there are special allowances for determining the diffusion of radon through a variety of building materials.

Active and passive methods, long and short, conducted experimental research in the field of migration of radon in bomb shelters.

These methods included a set of experimental testing migration of radon, namely: the impact of ventilation on the concentration of radon, radon spatial distribution, altitude distribution of radon, as well as day-night variations of radon.

Based on experimental data, the setting of certain residential scenarios were carried out estimation of radon concentrations in residential and working

spaces. Using known dosimetry models were carried out assessments of radiation of living organisms.

In order to facilitate calculating the dose, has been specially designed PHP / MSQL Internet platform for the calculation of the dose of the different input parameters, and for mapping of radon.

Keywords: radon exhalation, building materials, dosimetry, web programming.

Садржај:

1. Увод.....	12
2. Радиоактивност и радиокативно зрачење.....	14
2.1. Извори зрачења	14
2.1.1. Космичко зрачење	15
2.1.2. Космогени радионуклиди.....	16
2.1.3. Природни земаљски (примарни) радионуклиди.....	16
2.1.4. Вештачки извори радиоактивног зрачења	17
2.1.2. Врсте и особине радиоактивног зрачења	17
2.2. Опште карактеристике радона.....	21
2.2.1. Извори радона.....	27
2.2.2. Еманација радона	36
2.2.3. Понашање краткоживећих радонових изотопа у атмосфери	38
2.2.4. Концентрација радона у затвореним просторијама и на отвореном простору.....	41
2.2.5. Утицај вентилације на концентрацију радона.....	42
2.2.6. Варијације концентрације радона у ваздуху	44
3. Здравствени ефекти радона.....	47
3.1.1. Историјски преглед здравствене проблематике радона	47
3.1.2. Експозиција инхалацијом.....	49
3.1.3. Експозиција ингестијом.....	52
3.1.4. Генотоксичност	53
3.1.5. Механизам генотоксичности.....	56
3.1.2. Терапијско деловање радона	59
3.2. Дозиметрија радона	60
3.2.1. Величине и јединице које карактеришу контаминацију атмосфере радоном.....	62
3.2.2. Главни принципи код дозиметрије радона	64
3.2.3. Репрезентативне дозе по једници концентрације код људи	65
3.3. Алометријско скалирање релевантних параметара за плућа	66
3.3.1. Величина и маса трахеобронхијалног епитела	66
3.3.2. Запремина и маса плућа.....	67
3.3.3. Запремински проток дисања.....	68
3.4. Алометријска метода у процени доза за општу популацију	71
3.4.1. Формулација проблема	71
3.4.1. Примена алометријске методологије за рачунање доза	74
3.4.2. Одређивање дозе код биљака	74
4. Материјали и методе	78
4.1. Активне мерне технике.....	78
4.1.1. <i>Safety Siren</i> мерни уређај	78
4.1.2. Одређивање ескхалације радона методом затворене посуде	79

4.1.3. Краткорочно мерење концентрације радона у резиденцијалним објектима.....	87
4.2. Пасивне мерне технике	90
4.2.2. Механизми формирања трагова, методологија читавања трагова..	92
4.2.3. Поступак нагризања и методологија.....	96
4.2.4. Бројање трагова	98
5. Резултати експерименталних истраживања	100
5.1. Одређивање ексхалације радона из материјала.....	100
5.1.1. Стопа цурења радона из посуде, λ_v	100
5.1.2. Стопа повратне дифузије, λ_b	103
5.1.3. Одређивање стопе ексхалације радона из грађевинских материјала ..	106
5.1.4. Зависност концентрације радона у затвореним просторијама од вентилације	129
5.1.5. Просторна дистрибуција радона у резиденцијалном објекту.....	132
5.1.6. Вертикална дистрибуција радона у просторијама	135
5.2. Пасивне дугорочне мерне технике	137
5.2.1. Експериментално мерење <i>LANDAUER ALPHA TRACK</i> детекторима ...	137
5.3. Процена доза на основу експерименталних података	140
5.3.1. Процена доза на основу ексхалације материјала	140
5.3.2. Процена доза на основу просторне дистрибуције радона.....	175
5.3.3. Процена ефективних доза на основу дугорочних пасивних мерења ...	179
5.4. PHP/MYSQL интернет платформа за мапирање и резиденцијално моделовање	181
6. Закључак.....	191
7. Литература.....	194
8. Приказ компјутерског кода за дозиметријско моделовање и мапирање радона	204
8.1. CSS код	204
8.2. Java script код.....	221
8.3. Приказ кода графичко-корисничког интерфејса	260

1. Увод

Живи организми на површини Земље непрестано су изложени природном зрачењу, које може бити космичког и земаљског порекла. Људи могу бити озрачени на два начина: екстерно, када радиоактивне супстанце озрачују организам споља, и интерно, када се радиоактивне супстанце унесу у организам инхалацијом, те ингестијом, путем хране и воде.

Доза озрачивања у животној средини зависи од три фактора: нивоа контаминације терена, миграције радионуклида у екосистему и ланцу исхране, као и од животних навика и понашања угрожене популације. Просечна годишња доза за становништво на светском нивоу процењена је на 2,4 mSv, у распону 1-10 mSv.

Прва индикација разматрања како природна радијација утиче на здравље људи забележена је 1556. године у источној Европи, када је регистрован велики број фаталних респираторних болести рудара у Erz Mountains, а тек је у XIX веку закључено да је у питању канцер плућа. То је узето као повод да се јонизујуће зрачење озбиљније схвати и да се крене у мерење и изучавање његовог присуства у животној средини и утицаја на људе. Постепено, током прве половине двадесетог века, развија се јаснија слика о последицама излагања јонизујућем зрачењу. Истраживања вршена последњих деценија показују да у нормалним условима преко 70% укупне годишње дозе зрачења коју становништво прими потиче од природних извора јонизујућег зрачења, при чему је 40% условљено инхалацијом и ингестијом природног радиоактивног гаса, радона (^{222}Rn), односно његових потомака. Изузетно је важно мерење концентрације активности радона у затвореним просторијама, зато што данашње људске активности (смањење природне вентилације у циљу уштеде енергије, коришћење рециклираних отпадних материјала у грађевинске сврхе, тенденција да човек већи део свог дана проводи у затвореној просторији), доводе до повећане потенцијалне изложености човека радону и његовим краткоживећим потомцима. Истраживања су потврдила да је радон одговоран за преко 20.000 смртоносних случаја оболелих од канцера плућа годишње у ЕУ, тј. за око 9% свих смртних случајева условљених канцером плућа. [1] Главни извор присуства радона у затвореној просторији је земљиште испод посматране просторије; међутим, неки грађевински материјали такође могу значајно утицати на повећање концентрације активности радона у затвореним просторијама

Због опасности коју представља и због своје свеprisутности у природи, праћење нивоа радона је од веома великог значаја, и због тога се намеће потреба за испитивањем стопе зрачења у грађевинским материјалима, као и теренским мерењима, како би се утврдило да ли и у којој мери радон представља здравствени ризик.

2. Радиоактивност и јонизујуће зрачење

Откриће радиоактивности уследило је непосредно након открића Рентгенових зрака 1895. године. Наиме, при извођењу експеримената са катодним цевима примећено је да се X- зраци јављају на зидовима катодне цеви, где изазивају луминисценцију. Ово је навело на помисао да су Рендгенови зраци продукт луминисценције и да увек прате сваку луминисценцију.

Оваквим експериментима бавио се и француски физичар Бекерел, са циљем да утврди евентуалну зависност између луминисценције и појаве X- зрака.

Након извесног времена озрачивања, развио је фотографску плочу, при чему је приметио да је експонирана. Зацрњење фотографске плоче сведочи о присуству неких радијација које емитује уранова со. Бекерел је уочио да ови зраци пролазе не само кроз хартију већ и кроз танке листиће алуминијума и бакра, при чему на фотографској плочи изазивају исте ефекте.

Ово револуционарно откриће имало је велики одјек у научном свету, а Марија Кири, француски научник пољског порекла, овој појави даје назив радиоактивност.

Јонизујуће зрачење откривено је, затим, и код других елемената. Тако су Марија и Пјер Кири 1898. године успели да из пехбленде (уранов оксид) издвоје полонијум, а касније и радијум. Дебиерн и Гизл, независно један од другог, проналазе актинијум. Почетком 1900. Године Ратефорд је из торијумових једињења добио радиоактивни гас коме је дат назив еманација.

За врло кратко време откривен је знатан број радиоактивних елемената, од којих се неки налазе слободни у природи, док се други добијају вештачким путем. Упоредо са откривањем нових радиоактивних елемената испитивана је природа јонизујућег зрачења. Када су радиоактивна зрачења била подвргнута електричном и магнетском пољу утврђено је да постоје три различите врсте зрака, и то: алфа, бета и гама зраци.

2.1. Извори зрачења

Радиоактивни елементи и јонизујућа зрачења су присутни свуда у свемиру па и на нашој планети. На површину Земље доспевају из дубина космоса честице веома високих енергија, космичка зрачења, затим електромагнетска зрачења различитих енергија са звезда, као и радиоактивна зрачења радионуклида који су дисперговани у земљиној кори. Радиоактивни елементи из стена миграцијом

доспевају у воде и атмосферу, а кроз њих и у биосферу, живи свет на нашој планети.

Јонизујућа зрачења која сусрећемо у животној средини сврставају се према месту настанка:

- зрачење земаљског порекла (природни земаљски радионуклиди, вештачки извори као што су медицинско и техногено зрачење и радиоактивни отпад)
- зрачење космичког порекла (космогени радионуклиди, космичко зрачење)

2.1.1. Космичко зрачење

Космичко зрачење је врста природног јонизујућег зрачења које стиже до површине Земље из космоса и састоји се од тзв. галактичког космичког зрачења и зрачења са Сунца. У енергетском опсегу од 10^{12} - 10^{15} eV, космички зраци који досежу до ивице Земљине атмосфере састоје се од: ~ 50% протона, ~ 25% алфа честица, ~ 13% C/H/O језгара, <1% електрона, <0,1% гама зрака.

Свемир је прожет радиоактивним зрачењима различите врсте и порекла. Према претпоставкама научника, у најранијој историји свемира није било материје какву данас познајемо, него се цела његова маса састојала заправо од зрачења.

Тек незнатан део космичког зрачења се пробија кроз Земљину атмосферу и њено магнетно поље и доспева до површине Земље. Услед магнетног поља Земље, део космичког зрачења се враћа назад у свемир, а већина преосталог зрачења губи енергију у сударима приликом проласка кроз атмосферу. Тако настају и тзв. космички радионуклиди, али и права каскада секундарног зрачења, од којег знатан део продире у ниже слојеве атмосфере па и до саме површине Земље.

Сунце континуирано емитује честице, првенствено слободне протоне, у соларном ветру, а повремено се њих проток повећава осетно са короналним избачајима (СМЕ). Честице из дубоког свемира се јављају много ређе али са много више енергије. Ове честице су такође углавном протони, са много разних остатака који се састоје од хелиона (алфа честица).

Јонизујућа зрачења која доспевају на Земљу из дубоког свемира и са Сунца су великих енергија (0,01-10 GeV) [1]. Ови зраци делују на животну средину двојачко: директно и индиректно изазивајући секундарно зрачење и образовање космогених радионуклида. Флукс космичког зрачења, који допире на површину Земље, равномерно се мења са променом географске ширине и надморске висине-расте од екватора ка половима као и са повећањем надморске висине. Ово зрачење се одликује униформном расподелом и релативно малим интензитетима, његов удео у укупном озрачивању становништва је мање значајан у односу на друге изворе.

2.1.2. Космогени радионуклиди

У интеракцијама космичког зрачења са земаљским изворима у атмосфери и/или на површини Земље кроз одговарајуће нуклеарне реакције образују се у малим количинама различити радионуклиди као што су: ^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{14}C , ^{20}Al , ^{32}Si , ^{30}Cl , ^{39}Ar , ^{53}Mn , ^{59}Ni , ^{81}Ni , ^{81}Kr са временом полураспада у опсегу 10^{-10} година. Ови радионуклиди се укључују у геохемијске циклусе одговарајућих елемената придружујући се њиховим природним изотопима. Због својих малих и апсолутних и релативних изотопских заступљености, ови радионуклиди кроз геохемијске процесе не постижу значајне проценте ни у једном од геохемијских циклуса датих елемената.

2.1.3. Природни земаљски (примарни) радионуклиди

Природни земаљски радионуклиди су најчешћи и најзначајнији извори јонизујућег зрачења у животној средини, како у погледу укупног зрачења тако и у погледу локалних високих доза зрачења. Истраживања у последњих десетак година показују да у нормалним условима преко 70% [2] укупне дозе, коју годишње прими просечно становништво, представља природно јонизујуће зрачење. Природни радионуклиди су представљени све већим бројем радиоактивних изотопа различитих елемената, чије је време полураспада (10^5 - 10^{16} год.) довољно дуго у односу на старост Земље ($4,6 \times 10^9$ год.): ^{40}K , ^{50}V , ^{57}Rb , ^{115}In , ^{129}Te , ^{138}La , ^{149}Ce , ^{144}Nd , ^{147}Sm , ^{152}Gd , ^{176}Lu , ^{174}Hf , ^{187}Re , ^{190}Pt , затим ^{232}Th , ^{234}U , ^{235}U и ^{238}U и чланови њихових серија радиоактивних распада. Они се међусобно разликују по временима полураспада и типовима распада (α , β и γ - емитери), интензитетима зрачења, начинима појављивања, миграцији и геохемијским циклусима. Геохемијски процеси могу да регионално или локално значајно

концентришу неке од ових радионуклида доводећи чак до образовања њихових минерализација или рудних лежишта, као нпр. U и Th. Најобилнији природни радионуклоид у литосфери (Земљиној кори) је Rb-87, а по обилности га следе Th-232, K-40 и U-238. Највеће ризике за здравље људи представљају U-238 и његови потомци Ra-226, са временом полуживота од 1600 година и Rn-222, са временом полуживота 3,824 дана, којим ће се бавити наредна поглавља.

2.1.4. Вештачки извори јонизујућег зрачења

Основни извори вештачког зрачења су нуклеарни реактори, нуклеарне електране, затим рендгенски апарати, као и нуклеарно оружје коришћено приликом тестирања. Сви ови вештачки извори радиоактивности знатно су увећали укупне дозе зрачења које прима сваки појединац и човечанство у целини. Процењује се да је човек својим активностима у нуклеарној енергетици већ додао Земљи радиоактивност већу него што су је садржале њена природна атмосфера и хидросфера, а да сви данашњи нуклеарни реактори одговарају укупној радиоактивности тла са којим се непосредно долази у додир.

2.1.2. Врсте и особине јонизујућег зрачења

Јонизујуће зрачење може изазвати јонизацију атома, а са аспекта дејства и заштите најбитније су четири врсте зрачења: алфа (α), бета (β), гама(γ) и неутронско (n).

2.1.2.1. Алфа зрачење

Емисија алфа зрака настаје у процесу распада радиоактивних елемената. Алфа честице су корпускуларне природе, јер су састављене од два протона и два неутрона. Оне представљају језгра атома хелијума. Маса алфа честице износи 6.64×10^{-19} С.

Природно алфа радиоактивни изотопи се најчешће срећу код тешких елемената $Z > 82$. Једини изузетак се уочава код Nd-144 и Sm-147 који припадају елементима средњих редних бројева.

При пролазу кроз неку средину алфа честице врше јонизацију атома и молекула те средине.

Јонизујући неку средину алфа честица губи своју енергију, а самим тим и брзину. Након извесног борављења у средини кроз коју пролази, алфа честица прима један електрон из дате средине и прелази у јон хелијума He^+ . Нешто касније прима још један електрон из дате средине и прелази у атом хелијума (He), који нема способност јонизације.

Јонизациона способност алфа честице, при пролазу кроз неку средину, расте па се укупан број јона не расподељује на целом путу. Тако на пример, алфа честица радијума на 1 cm пута ствара око 2000 јонских парова, а на крају пута око 6000 јонских парова. Повећање јонизационе способности алфа честица има квантномеханички карактер и објашњава се тиме да спорија алфа честица дуже времена проводи у близини атома, те је вероватноћа јонизације већа.

2.1.2.2. Домет алфа честица

Дужина путање алфа честице кроз ваздух назива се домет. Домет алфа честице обично се односи на ваздух под нормалним притиском и собној температури. Домет у ваздуху при нормалним условима креће се у интервалу од 2 до 8 cm, што зависи од енергије алфа честице. У гушћим срединама домет алфа честица је знатно мањи.

Међусобни однос домета и енергије, односно брзине алфа честице може се приказати Гајгеровим емпиријским законом, према коме је домет R пропорционалан кубу брзине v^3 или $E^{3/2}$.

$$R=8.96 \times 10^{-28} v^3=0.318E^{3/2}$$

где је: R у cm, v у cm s^{-1} и E у MeV.

Енергије алфа честица леже у интервалу од 4 до 10 MeV.

У почетку развоја атомске и нуклеарне физике сматрано је да све алфа честице, које потичу из истог емитера, имају исту енергију. Каснијим мерењима откривено је да само мали број алфа емитера емитују моно-

хроматске честице, тј. Честице исте енергије., док већина алфа емитера даје честице различитих енергија.

Тако је Росенблум код радоновог изотопа ThC открио сложену структуру зрачења, која се састоји у емисији пет група алфа честица са енергијама: 6,047, 5,764, 5,622, 5,603 и 5,478 MeV, где прва и друга група сачињавају 97% укупне емисије зрачења. Фина структура алфа зрачења примећена је и код осталих алфа емитера, па се такав начин емисије алфа честица сматра као опште правило.

Код још неких радонових изотопа (RaC', ThC') примећено је да у врло малим приносима (10^{-4} до 10^{-7}) емитују групе алфа честица са енергијама знатно већим од енергије главне групе. Тако, на пример, код RaC' на сваких 10^6 честица са дометом од 7 cm емитује се 28 честица са дометом од 9 cm и 5 честица са дометом од 11 cm. Ова појава емитовања алфа честица са великим дометом настаје код брзих процеса, тако да алфа честица у процесу емисије узима енергију са ексцитираног језгра пре него што се она емитује у облику гама кванта.

Теоријски је утврђено, а касније и експериментално потврђено, да свакој компоненти fine структуре одговара посебна радиоактивна константа. Стога је време полураспада једног алфа емитера једнако збиру парцијалних времена полураспада сваке компоненте [3].

Константа радиоактивног распада радона Rn-222, који је предмет проучавања ове дисертације, износи $\lambda = 2.1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$.

2.1.2.3. Бета зрачење

За разлику од алфа честице, које се састоје од два протона и два неутрона, бета зраци представљају сноп електрона (β^- зраци) или позитрона (β^+ зраци). Обе врсте честица β^- и β^+ имају исту масу која је око 8000 пута мања од масе алфа честица, а то је $9,108 \times 10^{-28} \text{ g}$. Наелектисање им је исто $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, али се разликује у знаку. Обе честице имају и исти спин који износи $\frac{1}{2}$.

Битна разлика између негативног електрона и позитрона је у времену живљења. Док електрони β^- могу егзистирати неограничено дуго, позитрони су врло нестабилни. Врло брзо после свог стварања (око 10^{-10}

⁹s)позитрон захвата један електрон β^- , при чему настају два гама кванта од којих сваки има енергију од 0.51 MeV. Овај процес се назива анхилација електронског пара и може послужити као сигуран доказ декетције позитрона.

Када је било речи о алфа зрацима, напоменуто је да су алфа честице моноенергетске или стварају дискретни спектар од ограниченог броја посебних група. Бета честице немају такву расподелу енергије. Још 1900. године Бекерел је приметио да бета честице у магнетском пољу скрећу тако да образују континуирану расподелу енергија и брзина.

При одређивању енергије β^- честица запажено је да све честице немају исту енергију, мада потичу од истог емитера, већ постоји читав спектар енергија од нуле па до неке максималне енергије.

Постанак и емисија алфа честице из радиоактивних језгара добила је природно и једноставно објашњење квантном механиком. Међутим, објашњење постанка бета честица није тако једноставно. Наиме, сагласно законима радиоактивног распада познато је да се при емисији β^- наелектрисање језгра повећа за један, а маса остаје непромењена. Пошто се набој језгра мења, произилази да је емисија бета честица језгарни процес.

2.1.2.4. Гама зрачење

При радиоактивном распаду поред алфа и бета зрака настају и гама зраци који су по природи слични X -зрацима.

Са гледишта класичне физике то су електромагнетски зраци који се простиру кроз вакуум брзином светлости. Међутим, са гледишта квантне механике гама зраци представљају струју кваната који имају енергију $E=h\nu$, gde је ν - фреквенција, а $h=6,62 \times 10^{-34}$ Js (Планкова константа).

Према томе, гама зраци имају дуалистичку природу, што показују и многи експерименти. Наиме, гама зраци интерагују са атомима слично зрацима који се састоје из корпускула. Како је према Ајнштајновој теорији релативитета $E=mc^2$, може се написати да квант има масу од $m=h\nu/c^2$.

Многе појаве указују на таласне особине гама зрака. Узајамна веза између енергије и таласне дужине фотона добија се на основу Ајнштајнове релације и енергије кванта.

За разлику од X – зрака који су атомске природе, јер настају као резултат промене енергије електрона у атому, гама зраци су језгарне природе пошто су везани за енергетске промене унутар језгра. Стога гама кванти имају велике енергије од 0,01 до 10 MeV, односно високе фреквенције те спадају у домен зрака врло малих таласних дужина [3].

2.2. Опште карактеристике радона

Проучавајући особине радијума - ^{226}Ra 1900. године, Фридрих Дорн је открио да он еманира гас, који је испрва назвао “*niton*¹”. Овај гас је 1923 године добио назив “радон”. Радон је инертан гас, који кад се формира у Земљиној кори у некој од радиоактивних низова, слободно дифундује из земљишта у атмосферу. Радон се у природи налази у елементарном облику јер због своје инертности не гради никаква хемијска једињења.

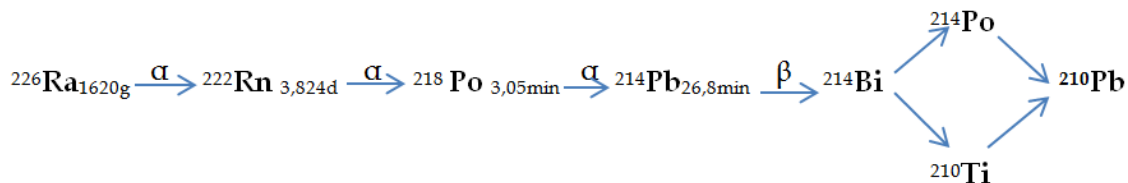
Према свом пореклу, радон припада природним радиоактивним низовима. На почетку ових низова налазе се примордијални радионуклиди. Они се карактеришу јако дугим временом полураспада, тако да се до данашњих дана још увек нису распали. Присутни су у Земљиној кори и у великом броју материјала. Сва три природна радиоактивна низа: уранијумски, торијумски и актинијумски низ садрже по један радионуклид радона. На сликама 2.3 до 2.6 приказани су радиоактивни низови са временима полураспада и основним зрачењем њихових чланова.

Радон и његови изотопи појављују се у следећим радиоактивним низовима:

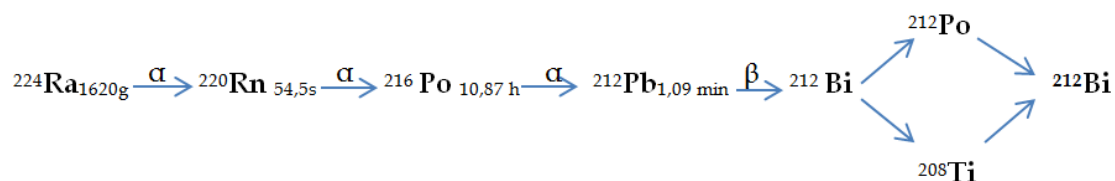
- Радон настаје у уранијумском низу ^{238}U и има полуживот 3,825 дана
- Торон ^{220}Rn потиче из низа торијум ^{232}Th и има полуживот 55,6 s
- Актинијум ^{219}Rn настаје у низу ^{235}U и има полуживот 4,02 s

¹Назив потиче од латинске речи *nitens* што значи сијати

Распаде ^{222}Rn и ^{220}Rn на њихове краткоживеће потомке можемо приказати шемом :



Слика 2.1. Шема распада радона ^{222}Rn



Слика 2.2. Шема распада торона ^{220}Rn

Осим ових изотопа радона, постоји још 23 изотопа радона од којих најдуже “живи” изотоп ^{211}Rn и већина се распада алфа распадом, међутим могући су и бета распади или захват орбиталног електрона [2] .

Због мале вероватноће распада преко $^{210}\text{Tl}(\text{RaC}'')$, ова грана се може занемарити. $^{210}\text{Pb}(\text{RaD})$ има велико време полураспада (табела 2.1) и због процеса таложења не може се нагомилати у атмосфери у значајним количинама. Изотоп ^{214}Po је увек у равнотежи са својим претходником ^{214}Bi , такође због малог времена полураспада.

У табели 2.1. приказане су карактеристике изотопа радона и њихових краткоживећих потомака.

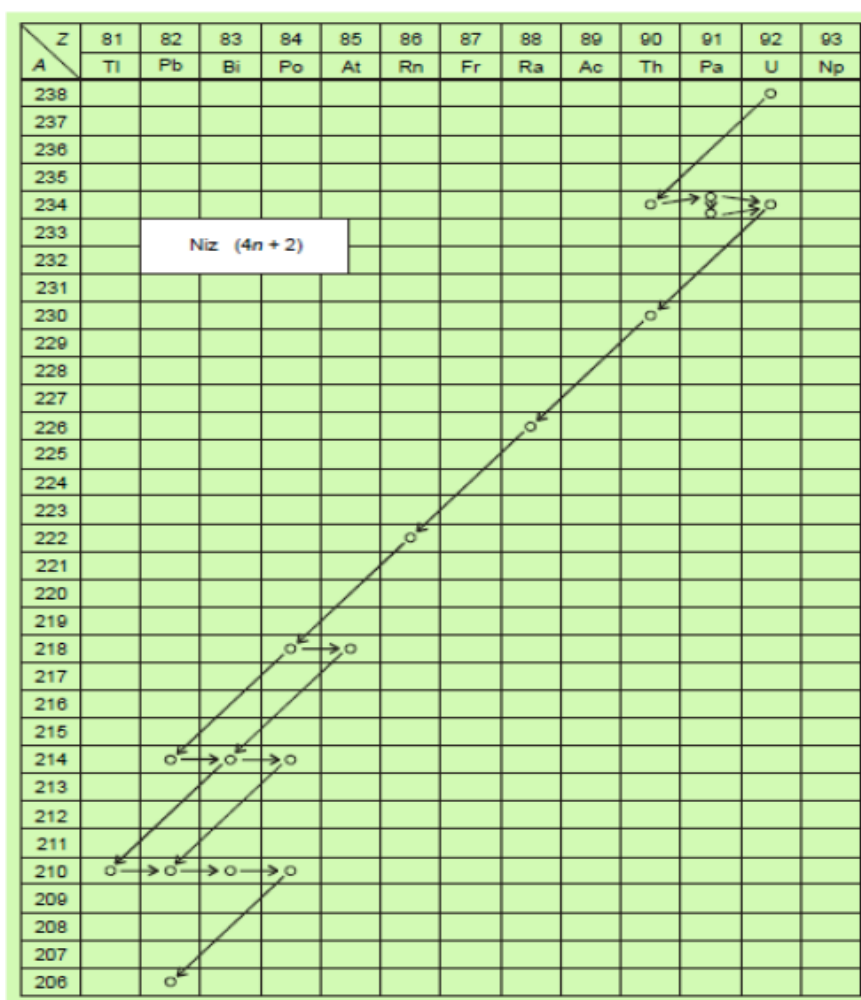
Табела 2.1. Карактеристике изотопа радона и њихових краткоживећих потомака

Изотоп	Симбол	Време полураспада (s)	Константа радиоактивног распада (1/s)	Тип Енергија Е (гама) зрачења	
				(MeV)	(MeV)
Радон	Rn-222	3.3×10^5	$2,097 \times 10^{-6}$	α 5,486	----
RaA	Po-218	183	3.788×10^{-3}	α 5,988	----
RaB	Pb-214	1608	4.310×10^{-4}	β 0.7	0.350; 0.294
RaC	Bi-214	1182	5.864×10^{-4}	β, γ 1.65 (77%) 3. 17	0.609; 1.764 1.120
RaC'	Po-214	0.00016	4.23×10^{-3}	α 7.68	---
RaD	Pb-210	6.94×10^8	9.98×10^{-10}	β 0.027	---
RaE	Bi-210	433036	1.608×10^{-6}	β 1. 17	---
RaF	Po-210	1.19×10^7	5.8×10^{-6}	α 5.298	---
Toron	Rn-220	54.5	1.27×10^{-2}	α 6.282	---
ThA	Po-216	0.158	4.387	α 6.774	---
ThB	Pb-212	3.83×10^4	1.816×10^{-5}	β 0.37	0.3; 0.238
ThC	Bi-212	3816	1.76×10^{-4}	α 6.05 (66.3%) β 225	0.81 1.81
ThC'	Po-212	1.0×10^{-7}	10^6	α 8.476	---
ThC''	Tl-208	186	3.73×10^{-3}	β 1.792	2.62; 0.58
Актинон	Rn-219	3.92	0.1767	α 6.41	0.622; 0.203 0.397
AcA	Po-215	1.78×10^{-3}	561	α 7.365	---
AcB	Pb-211	2166	3.2×10^{-4}	β 1.23	0.829 0.425
AcC	Bi-211	127.8	7.825×10^{-3}	α 6.56	---
AcC''	Tl-207	287.4	2.412×10^{-3}	β 1.5	---

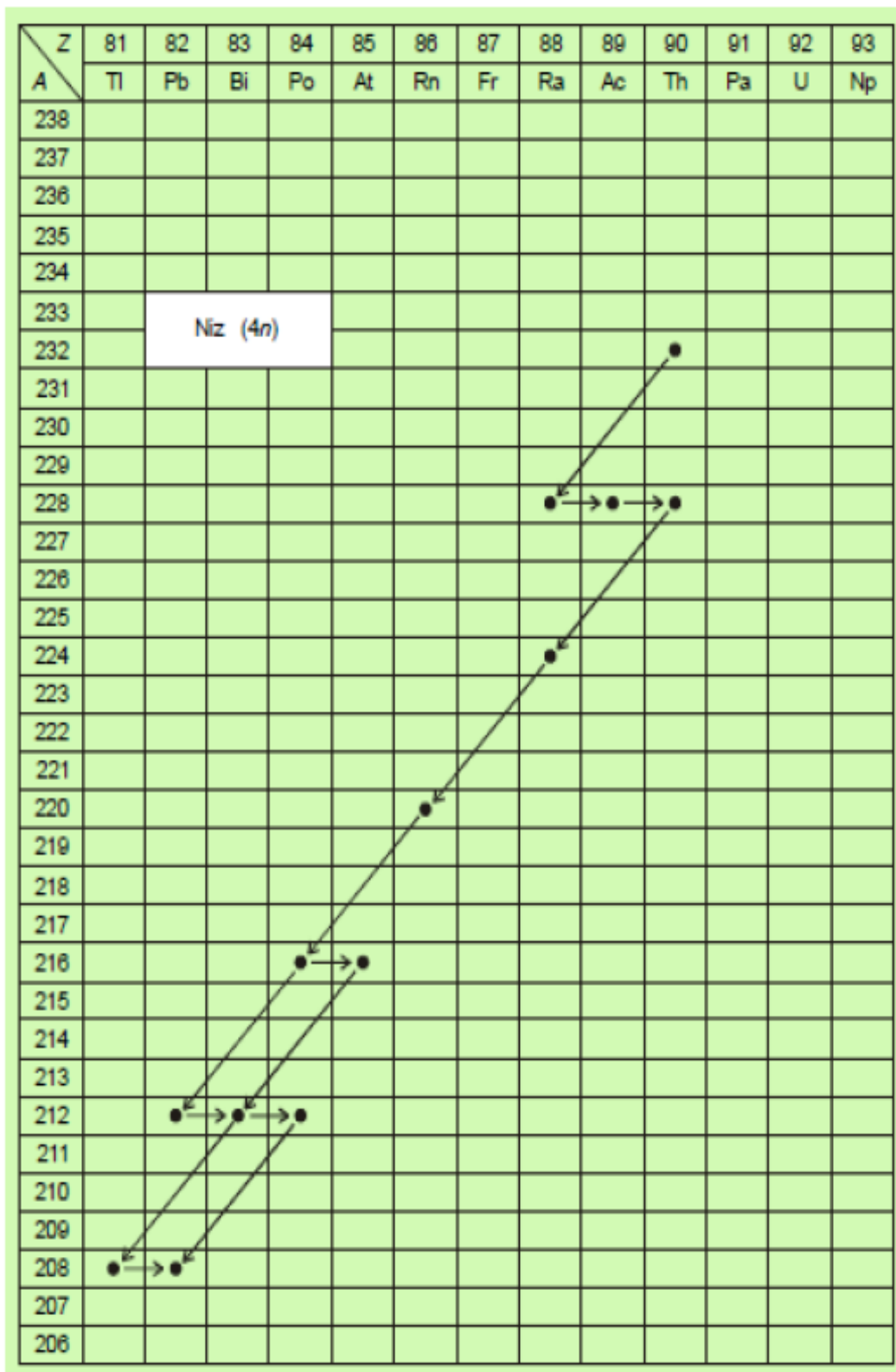
Са слика 2.3. до 2.6. се види да је у сва три радиоактивна низа присутан радон, али не са подједнаком важношћу за радијациони ризик људи услед излагања њему и његовим потомцима. Радионуклид ^{219}Rn (актинон) је

члан актинијумског низа, и мало време полураспада (3.96 s) му ограничава могућност миграције кроз средину. Томе доприноси и релативно ниска концентрација његовог претка ^{235}U у природном окружењу.

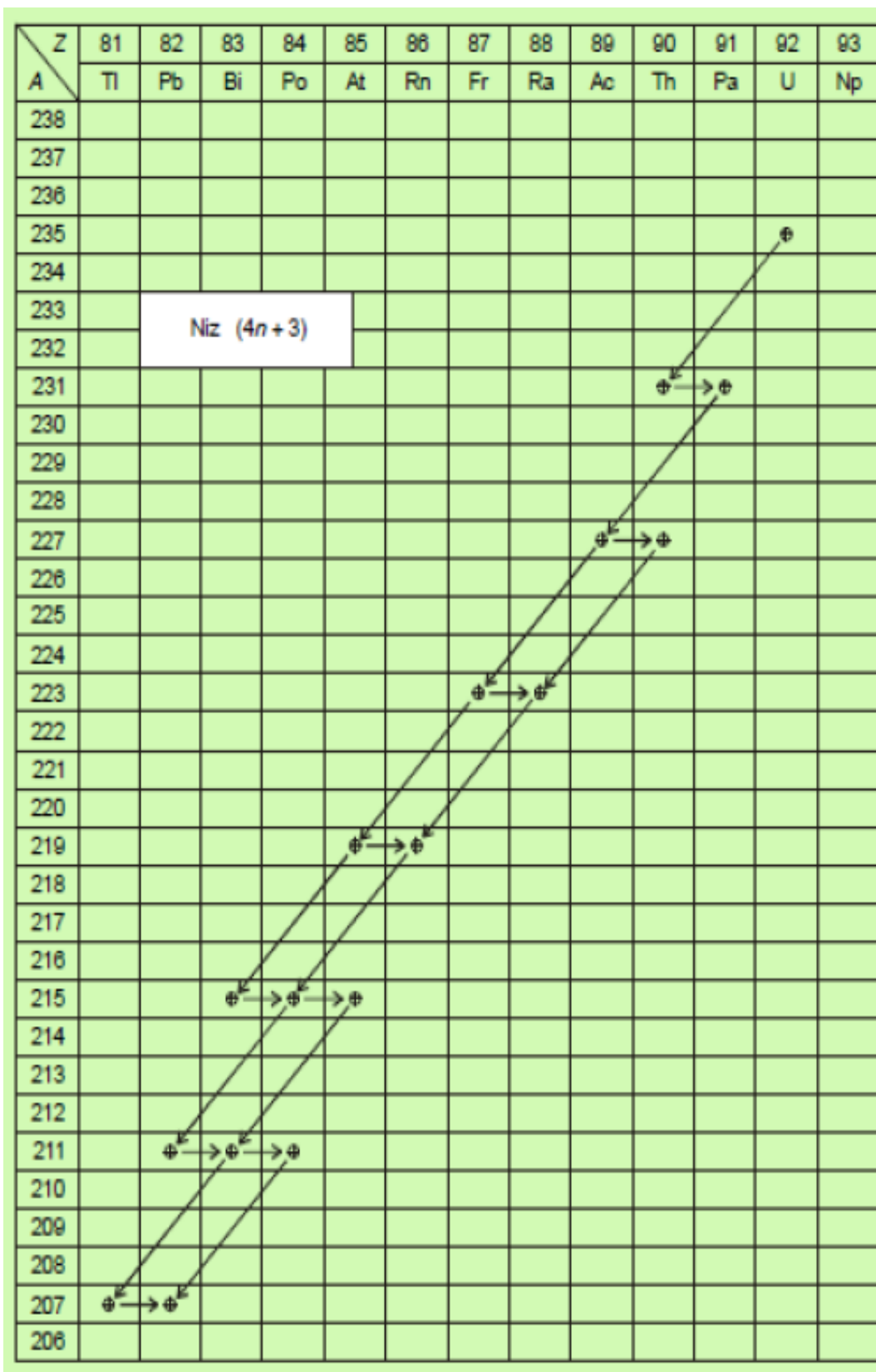
Знатно већу могућност простирања кроз средину има ^{220}Rn (торон), који припада торијумском низу и има време полураспада од 55,6 s. У географским зонама са богатим садржајем торијума у тлу, он може значајно допринети радијационој дози код људи. Грађевински материјали су такође значајан извор торона.



Слика 2.3. Уранијумски низ [4].



Слика 2.4. Торијумски низ [4].



Слика 2.4. Актинијумски низ [4]

Што се радијационог ризика тиче, највећу важност има изотоп ^{222}Rn (радон). Он припада уранијумском низу и од свих изотопа ^{222}Rn има најдуже време полураспада од $3.3 \times 10^5 \text{ s}$ (3,825 дана). Присутан је у Земљиној атмосфери у свим географским областима, јер његови претходници (радијум ^{226}Ra и уранијум ^{238}U) прожимају само Земљину кору. Када се током радиоактивних распада формирају атоми ^{222}Rn , они путем дифузије постају присутни у човековом окружењу.

2.2.1. Извори радона

2.2.1.1. Геологија појављивања

Доминантан извор радона представља земљиште испод стамбених објекта. Уран и торијум се појављују у: стенама, рудама, земљишту, као и у подземним и површинским водама. У највећим концентрацијама су заступљени у рудама (у сопственим рудним лежиштима или као примесе у рудама фосфата, олова и цинка и других сировина), док се у стенама значајније концентришу у киселим магматским стенама, шкриљцима и глинама (табела 2.2.). У секундарним геолошким срединама, које карактеришу процеси површинског распадања стена и руда, транспорта и седиментације као и биогени процеси, природни радионуклиди могу да образују концентрације у земљишту, води, ваздуху и вегетацији (табела 2.3.) [4].

Концентрација радијума зависи од типа земљишта и могућих контаминената из спољашњости. Радон до површине доспева процесом дифузије кроз поре и шупљине у земљишту, при томе се везује за ваздух или воду док је у подземљу. Услед интеракције подземних вода са стенама и рудама долази до превођења одређених радионуклеида у мобилну фазу и самим тим и до раздвајања радионуклеида због различитих геохемијских особина. Концентрација радијума у земљишту зависи од концентрације уранијума и торијума, предака у стенама и од геохемијских процеса² који су били присутни на посматраној локацији током времена.

² Радиохемијски састав земљишта (тј. комбинација чврстог материјала, ваздуха, воде и органског материјала) показује геолошку формацију места узорковања датог земљишта, мада и климатски услови и још неки процеси могу знатно да утичу на састав земљишта. [5]

Природна распрострањеност уранијума-238 и торијума-232 се мења у зависности од геолошких својстава, међутим ипак су широко распорострањени у Земљиној кори. Средња концентрација уранијума и торијума у земљишту се креће између 4-12 gt^{-1} , док је, ради поређења, средња концентрација ретких метала у интервалу од 0,02-0,05 gt^{-1} [5,6]. Концентрација радијумових изотопа у земљишту је око 40 $Bqkg^{-1}$. Углавном је њена концентрација између $\sim 10-200 Bqkg^{-1}$ за земљишта изван подручја уранијумских рудника. Због широке распрострањености радијумових изотопа, његови потомци, радонови изотопи су присутни и у флуидима који се налазе у порама стена и земљишта. [5]

Табела 2.2. Средњи садржај радионуклида у седиментним стенама и земљишту.

Елемент радионуклид	Стене			Земљишта
	Глине	Пешчари	Карбонатне	
K (%) ³	2.66	1.07	0.27	1.36
Rb ($mgkg^{-1}$)	140	60	3	60
La ($mgkg^{-1}$)	92	30	-- ⁴	--
Th ($mgkg^{-1}$)	12	1.7	1.7	6
U ($mgkg^{-1}$)	3.7	0.45	2.2	1

Табела 2.3. Средњи садржај радионуклида у водама, вегетацији, живој материји

Радионуклид	Речна вода	Океанска вода	Вегетација (пепео)	Жива материја
K (%)	0.0023	0.0387	3.0	0.3
Rb ($mgkg^{-1}$)	0.001	0.12	100	5
Th ($mgkg^{-1}$)	0.0001	0.00001	--	--
U ($mgkg^{-1}$)	0.04	0.003	0.5	<0.010

Делимично торијум, а нарочито уран прелазе у хидротермалне растворе и могу да образују хидротермалне рудне концентрације у и око гранитоидних маса. Услед интеракције подземних вода са стенама и рудама долази до превођења одређених радионуклида у мобилну фазу и самим тим и до раздвајања радионуклида због разлике у геохемијским особинама. На тај начин се уранови потомци - радијум и радон раздвајају

³ Релативна обилност K-40 је 0.018% K; Rb-87 је 27.85% Rb и La-138 је 0.089% La

⁴ Недостају подаци

од урана и посебно локално концентришу у минералним и термалним водама и земљишту.

Миграцију урана у површинским условима ограничава присуство карбонатних и фосфатних јона, образовање нерастворних соли, везивање за органску фазу и адсорпција на минералима глинама. Процес дифузије у унутрашњости земљишта је могућ услед разлике концентрација радона, при разматрању вертикалне расподеле. Што је земљиште више порозно оно има већи коефицијент дифузије, па одређене врсте земљишта које имају вишу вредност коефицијента дифузије више пропуштају радон, тако да се може рећи да у зависности од карактеристика самог земљишта зависи количина радона који еманира из земљишта. Конкретно, се мисли на хемијски састав, физичке и водно-механичке карактеристике земљишта, али највише зависи од пропустљивости-порозности земљишта.

Стене које ослобађају највећу концентрацију радона су гранитне и вулканске стене, алуминијумски шкриљци, а седиментне стене садрже ниже концентрације овог гаса, али су оне и мање порозне па зато врше мању емисију у спољашњост. Занимљиво је напоменути да камење (посматрано као целина) има мањи коефицијент еманације радона од осталих типова земљишта, јер земљишта имају далеко мање гранулометријске целине. Детаљније анализе показују да између 10% и 50% укупно насталих језгара радона у површинском слоју земљишта успе да еманира у атмосферу. Кад се радон нађе на површини даље простирање радона кроз ваздух зависи од метеоролошких фактора, као што су температура, атмосферски притисак и ветар, а ови фактори су повезани и са дневном сатницом. Порозност земљишта се дефинише према односу величине поре-пукотине у земљишту у односу на величину самог посматраног узорка земљишта. Постоје две веома битне компоненте: „текстурални“ простор поре и „структурни“ простор поре. Текстурални простор поре се односи на начин паковања честица земљишта, док је структурни простор поре завистан од количине ваздуха који се налази у узорцима земљишта. Уобичајене вредности за порозност земљишта се крећу између 0.25-0.5, где различите варијанте земљишта варирају вредност порозности, која је бездимензионална величина. Ван дер Споел је прецизно дефинисао вредност порозности тла.

$$\partial V = \partial V_s + \partial V_w + \partial V_a \quad (2.1.)$$

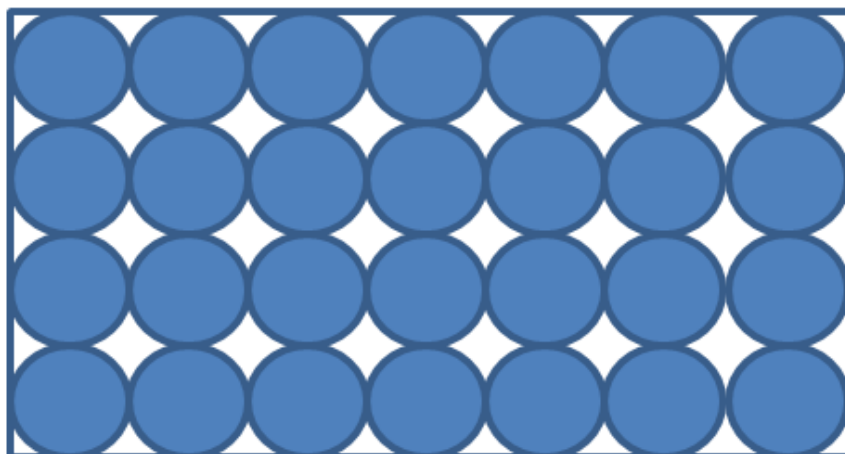
$\partial V_s, \partial V_w, \partial V_a$ представљају поједине компоненте порозности где наведени индекси представљају симбол за агрегатно стање, s-solid односно земљиште, w-water порозност за воду и a- air за ваздух. За саму порозност земљишта може се израчунати преко релације:

$$\partial V_p = \partial V - \partial V_s \quad (2.2.)$$

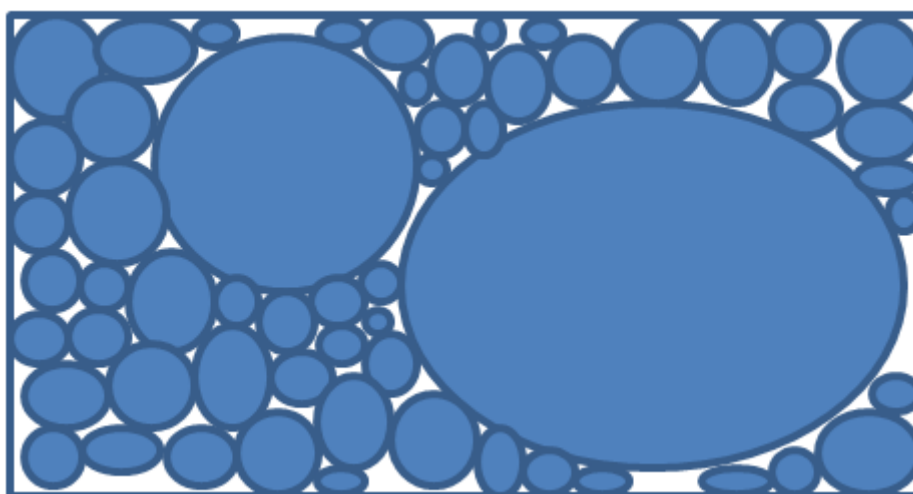
Па је укупан коефицијент дат релацијом:

$$\varepsilon = \frac{\partial V_p}{\partial V} \quad (2.3.)$$

Тако се сукцесивно може израчунати коефицијент порозности и за ваздух и за воду. Земљишта су класификована у зависности од дистрибуције величине најмањих делића-величина гранулације. Ова дистрибуција чини структуру и текстуру тла, које директно руководи транспорту радона. Пермеабилност-порозност земљишта при изучавању процеса дифузије радона зависи од степена и величина пора у земљишту, што су поре веће и ако је учешће пора веће онда је степен дифузије радона већа. Такође је битан фактор влажност земљишта, где мали степен влажности земљишта омогућава већи степен дифузије радона кроз земљиште. Уколико је виши степен влажности земљишта, онда су поре попуњене са водом и онемогућен је интензиван процес дифузије радона кроз земљиште. У зависности од распореда и величина гранулометријског састава зависи дифузија радона, где ако су већи комади присутни са равномерним распоредом такав састав омогућава већи степен дифузије, приказано на слици 2.5. Док у случају када је велика разлика у величини гранулометријског састава и за неправилан распоред, где је присутно густо гранулометријско паковање, у том случају је мали степен дифузије. Овакав пример је представљен на слици 2.6. Овакав начин тумачења порозности код земљишта може се користити при тумачењу порозности код испитиваних материјала, где порозност материјала зависи од величине унутрашњости пукотина и степена хомогености испитиваног материјала, али и услова у којима се врши мерење коефицијента дифузије радона [7,8].



Слика 2.5. Пример равномерног гранулометријског паковања земљишта, у коме је виши степен дифузије радона-виши ниво порозности



Слика 2.6. Пример густог гранулометријског паковања земљишта у коме је низак степен порозности-нижи степен дифузије радона.

2.2.1.2. Грађевински материјал као извор радона

Као што је већ наведено, радијум је широко распрострањен у земљиној кори, па се у одређеним количинама може наћи и у грађевинским материјалима који се добијају прерадом разних материјала из земље. [5] Физичке величине које дозвољавају квантитативни опис транспорта радона и брзину ексхалације из грађевинских материјала су: коефицијент

еманације продукције радона, која зависи од концентрације радијума, порозност, количине воде која се налази у материјалу и коефицијент дифузије. Доминантан процес приликом транспорта кроз земљиште, адвекција, може се занемарити због ниске вредности градијента притиска у медијуму. [9,10]

Процес продукције и порекло сировог материјала најбитнији су фактори који одређују концентрацију активности радиоактивног материјала у грађевинском материјалу; према томе, радиоактивност грађевинског материјала зависи од минерала који су употребљени за његову производњу. Од ових минерала, нпр. гранит, алуминијумски шкриљци и вулканске стене имају повишен садржај природних радионуклида, док песак и шљунак имају специфичну вредност активности радијума блиску средњој вредности за земљишта. Повећан садржај природних радионуклеида у материјалима може настати и као последица коришћења секундарних сировина из индустријских поступака, а то су материјали као што су електрофилтерски пепео, добијен сагоревањем угља у термоелектранама или сагоревањем бокситне руде, шљаке, и других секундарних сировина које се налазе у природи или се користе као конституент грађевинског материјала. [10, 11] Типична вредност количине радијума и торијума у грађевинским материјалима је 50 g/t или мање. [5] Материјали се деле према начину на који су обрађени како би дали одговарајући грађевински материјал, и то на термички обрађене материјале и материјале који нису термички обрађени. Материјали који су обрађивани на високим температурама имају мању јачину екshalације радона из грађевинског материјала, јер при термичкој обради долази до збијања микрочестица и до затварања пукотина. Зато црвена цигла, пепео, цемент, шљака имају мали коефицијент еманације (око 1%), док материјали који тек треба да се термички обраде (силикатна цигла, шљунак, песак) имају далеко већи коефицијент еманације (око 10%). [10] Грађевински материјали су главни извори торона у затвореној просторији. Због његовог кратког периода полураспада (55 s), торон који настаје у земљишту не стиже у унутрашњу просторију и његов учинак се може занемарити. Ово је разлог зашто се на концентрацију активности торона у затвореној просторији обраћа мања пажња, иако њена вредност у неким случајевима може достићи вредност концентрације активности радона ^{222}Rn . [6]

У Правилнику о максималним границама радиоактивне контаминације човекове средине и о вршењу деконтаминације дефинисане су максималне границе радиоактивне контаминације грађевинског материјала који се користи у високоградњи. Наведене границе не смеју да буду веће од вредности 400 Bqkg^{-1} за ^{226}Ra , 300 Bqkg^{-1} за ^{232}Th , 5000 Bqkg^{-1} за ^{40}K и за укупан збир вештачких радионуклида 4000 Bqkg^{-1} , с тим да се испуни услов за В.Ф. (Building Factor) [12]:

$$B.F. = \frac{C_{Ra}}{400} + \frac{C_{Th}}{300} + \frac{C_K}{5000} + \frac{C_V}{400} \leq 1 \quad (2.4)$$

где су:

C_{Ra} -концентрација ^{226}Ra у Bqkg^{-1}

C_{Th} -концентрација ^{232}Th у Bqkg^{-1}

C_K - концентрација ^{40}K у Bqkg^{-1}

C_V - концентрацијасвих радионуклида вештачког порекла у Bqkg^{-1}

2.2.1.3. Покретљивост радона у земљишту

Атоми радона у земљишту могу да се крећу кроз њу путем дифузије (није неопходно да се и флуид креће у порама) или конвективним и адвективним током флуида, носећи са собом радон. Покретљивост радона углавном зависи од величине и унутрашње везе између пора, пукотина и количине присутне воде, јер управо вода утиче на покретљивост земљишта и ваздуха.

2.2.1.4. Дифузија

Транспорт радона се код хомогених и порозних средина (било да је у питању земљиште или грађевински материјал), одвија кроз систем пора испуњених ваздухом. Математичко изражавање захтева изванредан степен апроксимација, што ће за сваки случај бити напоменуто. Главни услов при извођењу једначина је да се проблеми решавају као једнодимензионални проблем, где је основна оса z , која се односи на осу која је нормална на површину постављеног материјала. Једначине узимају у обзир чињеницу да се радон распада и током мерења и током дифузионог процеса, тако да је уважен прилив нових атома радона. Најпростији опис дифузије радона

је да се атоми радона крећу низ градијент концентрације. Овакав начин дифузије описује Фиков закон, који повезује градијент концентрације са флуksom радона:

$$J_d = -D_e \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2.5.)$$

J_d – флуks радона изражен у $\text{Bqm}^{-2}\text{s}^{-1}$

D_e – коефицијент дифузије изражен у m^2s^{-1}

$\frac{\partial C}{\partial z}$ – градијент концентрације дуж правца z изражен у Bqm^{-4} .

Негативан предзнак испред дифузионог коефицијента односи се на чињеницу да се дифузија врши у правцу смањења концентрације. D_e се може навести као ефективан коефицијент дифузије, у који је урачунат ефекат порозности материјала.

Највећи и ефективни коефицијент дифузије радона у материјалима D и D_e , респективно, у корелацији су са порозношћу материјала p_t и у складу са следећом једначином:

$$D = p_t D_e \quad (2.6.)$$

Из експеримента Рогерса и Ниелсона (1991) предложен је следећи израз када је у питању утицај влажности на ефективни коефицијент дифузије[13]:

$$D_e = D_0 p_t \exp(-6p_t R_s - 6R_s^{14p}) \quad (2.7.) ,$$

где је $D_0 = 1.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, а R_s је засићење влаге у земљишту.

Типичне вредности коефицијента дифузије радона за ваздух су око $1.2 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, што се може користити као почетна вредност за итеративни поступак рачунања коефицијента дифузије радона у експерименту, а може се узети и нижа вредност, нпр. $1 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

У табели 2.4. приказани су ефективни коефицијенти дифузије за радон у земљаним материјалима и бетону.

Табела 2.4. Ефективни коефицијенти дифузије за радон у земљаним материјалима и бетону

Материјал	Ефективни коефицијент дифузије радона D_e (m^2s^{-1})	Коментар	Референца
Компактан муљевити песак	$(3.2 \pm 1.5) \times 10^{-6}$	$p_t = 0.32-0.39$ $R_s = 0.09-0.55$	Silker and Kalkwarf (1983)
Компактан глиновити песак	$(3.2 \pm 1.5) \times 10^{-6}$	$p_t = 0.32-0.39$ $R_s = 0.09-0.55$	Silker and Kalkwarf (1983)
Компактне неорганске глине	$(5.4-7.2) \times 10^{-6}$	$p_t = 0.32-0.43$ $R_s = 0.06-0.34$	Silker and Kalkwarf (1983)
Муљевито-песковита глина	2.7×10^{-6} 2.5×10^{-7} 6.0×10^{-8}	$w = 1.5\%$ суве масе $w = 10.5\%$ суве масе	Strong et al. (1981)
Јаловина из рудника урана	$(5.4-7.2) \times 10^{-6}$	$w = 17.3\%$ суве масе	Strong et al. (1981)
Иловача, блато	8×10^{-7}	--	Tanner (1964)
Бетон	$(1.1-4.0) \times 10^{-7}$ 1.2×10^{-8} 3.4×10^{-8} 3.3×10^{-8}	$p_t = 0.11-0.13$ $p_t = 0.25$ $p_t = 0.05$	Culot et al. (1976) Zapalac (1983) Stranden (1988)
Цигла	$(0.8-3.0) \times 10^{-7}$	--	Stranden (1988)
Гипс	$(1.0-4.0) \times 10^{-6}$	--	Stranden (1988)

2.2.1.4. Конвекција и адвекција

Конвективни (вертикална) и адвективни (латерал-хоризонтални) ток се јавља због градијента притиска у флуидима који се налази у порама земљишта и пукотинама. У случају гасова у земљишту, градијент притиска се може јавити у ваздуху у земљишту, између ваздуха у земљишту и атмосферског ваздуха или у њиховој комбинацији. Конвекција и адвекција зависе од унутрашње пермеабилности земљишта, вискозности флуида који се креће кроз поре земљишта и од градијента притиска који покреће

флуид. Пермеабилност земљишта према покретљивости воде показује и премеабилност земљишта на покретљивост гасова. Земљиште који има велику количину воде која се слободно креће порама би имало веома ниску перемеабилност према гасу, а случај је обрнут ако је земљиште суво. [5]

2.2.2. Еманација радона

Способност атома радона да „побегне“ из земљишта или минералних стена се квантитативно назива „моћ еманације“ или „коэффициент еманације“, и он зависи од локације дугоживећих предака радона, тј. од уранијума-238 и радијума-226 у тренутку њихове дезинтеграције, те од постојања воде близу радијума у тренутку дезинтеграције. Конкретно, мисли се на хемијски састав, физичке и водно-механичке карактеристике земљишта, али то највише зависи од пропустљивости-порозности земљишта. [5, 7]

Атом радијума се распада на атом хелијума и радона уз ослобађање кинетичке енергије. Мали, али ипак важан део ове енергије, помера атоме радона од места где се распад одиграо и кроз чврсти матријал. Ако га његова путања однесе у зрно земљишта или пору која садржи воду, онда може да изгуби сву своју енергију у води и да остане у пори, или може да “закопа” себе у чврст матријал и да буде недоступан порама. Радон се углавном складишти око границе пора зато што земљишта у већини случајева садрже воду у пукотинама и капиларима. Углавном, 10 до 50 одсто свих произведених атома радона остаје у порама.

Стене које ослобађају највећу концентрацију радона су гранитне и вулканске стене, алуминијумски шкриљци, а седиментне стене садрже ниже концентрације овог гаса, али су оне и мање порозне, па зато врше мању емисију у спољашњост. [9]

Величина која описује “ослобађање” радона из земљишта или неког другог порозног материјала назива се коэффициент еманације радона. Коэффициент еманације радона је бездимензиони параметар, и може бити представљен било као фракција или као проценат.

Експериментални подаци које је пријавило неколико истраживача указују на то да коэффициент еманације радона зависи од влажности

земљишта/материјала, посебно при ниском засићењу (Nazaroff i dr. 1988). У овим експериментима показано је да температура нема нарочити утицај на коефицијент еманације.

Коефицијент еманације се рачуна путем следеће једначине [20]:

$$S = \epsilon \rho_s S_{RA} \lambda \left(\frac{1-p_t}{p_t} \right) \quad (2.8.),$$

где је: S-укупна масена концентрација радиоизотопа, ϵ - коефицијент еманације радона, ρ_s - густина материјала, S_{RA} - концентрација Ra (радијум-226 или радијум-224 у pCi kg^{-1}), λ - константа распада радона, p_t - укупна порозност земљишта.

Вредности коефицијента еманације радона у земљишту зависе од изотопа радона који се посматра, материјала земљишта и садржаја воде. Експериментална мерења у различитим земљиштима, стенама и другим материјалима су објављена од стране многих истраживача. Табела 2.5 представља резиме доступних података. Због разлике у методологији експеримената ових истраживања, ови подаци нису лако упоредиви. Иако непотпуни, доступни подаци могу дати индикације о очекиваним вредностима на терену.

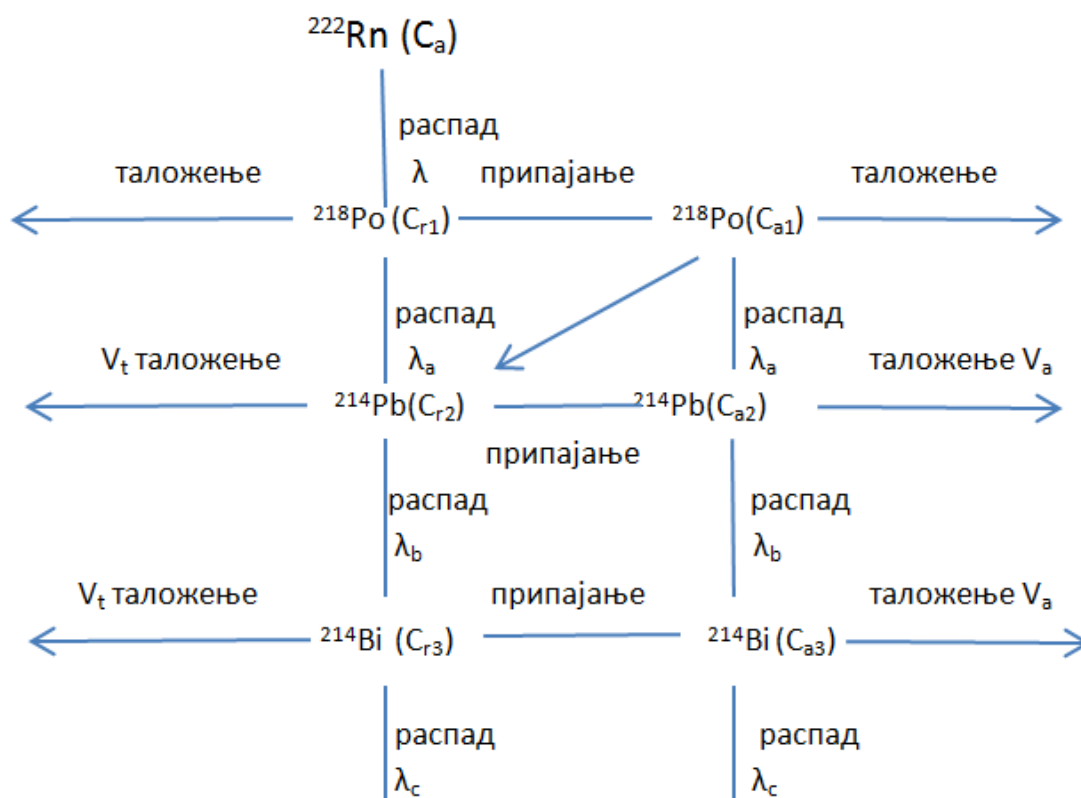
Табела 2.5. Вредности коефицијента еманације радона за неке материјале

Материјал	Број узорка	Изотоп	Коефицијент еманације радона	Референца
Компактан муљевити песак	7	Rn-222	0.14 (0.06 - 0.18)	Sisigina (1974)
Песак	7	Rn-222	0.21 (0.10 - 0.36)	Sisigina (1974)
Песковита иловача	12	Rn-222	0.24 (0.18 - 0.40)	Sisigina (1974)
Муљевита иловача	5	Rn-222	0.20 (0.17 - 0.23)	Sisigina (1974)
Иловача	5	Rn-222	0.28 (0.18 - 0.40)	Megumi and Mamuro (1974)
Глина	12	Rn-222	0.22 (0.02 - 0.70)	Megumi and Mamuro (1974)
Бетон	17	Rn-222	0.18 (0,07-0,40)	Megumi and Mamuro (1974)
Уранијумова руда(самлевена)	2	Rn-222	0.14 (0.02 - 0.36)	Sahu, Mishra (2014)

2.2.3. Понашање краткоживећих радонових изотопа у атмосфери

Распадом језгра ^{222}Rn настају краткоживећи радонови потомци ^{218}Po , ^{214}Pb и $^{214}\text{Bi}/^{214}\text{Po}$. Познавање понашања радонових потомака у атмосфери је врло значајно, јер је њихов допринос радијационом здравственом ризику знатно већи него од самог радона. Око 80% новоформираних потомака је позитивно наелектрисано и хемијски су веома активни. Они интерагују са негативним јонима присутним у атмосфери, припајајући се за природне и вештачке аеросоле. Први потомак ^{218}Po , под нормалним спољашњим условима, постоји само 20 s као самосталан мобилан јон или атом, а након тога се припаја молекулима водене паре, кисеоника и других гасова, честицама и чврстим површинама.

Неприпојени потомци као слободни кластери од само неколико молекула лебде у ваздуху и имају најизраженији негативан здравствени ефекат. Током сталних међусобних судара долази до њиховог спајања и повећавања, а такође и до распада и таложења.



Слика 2.3. Понашање краткоживећих радонових потомака у атмосфери

Вероватноћа таложeња потомака у људским плућима знатно је већа за слободне, него за припојене кластере. Део радонових потомака који је у природи у слободној форми зависи од више различитих параметара, и креће се од 0.3 до 33% [24]. Шема процеса који се одигравају у атмосфери, а у којима учествују радонови потомци, приказана је на слици 2.3. Ознаке на слици су: C_{fi} - концентрације i -тог потомка у слободној форми, C_{aj} - концентрације j -тог потомка у припојеној форми, λ су константе радиоактивног распада, V_f и V_a су брзине таложeња слободних и припојених потомака, респективно. Битна карактеристика радиоактивних аеросола, која одређује њихово понашање, али и њихов значај за дозиметрију је њихова расподела по дијаметрима. Уведен је појам релативна расподела радиоактивних аеросола, која даје део радиоактивних аеросола са одређеним дијаметром и означава се са $\Delta C_j(d)/C_j$ [24]:

$$\frac{\Delta C(d)}{C_j} = \frac{\Delta Z(d)\beta(d)}{Z} \quad (2.9.),$$

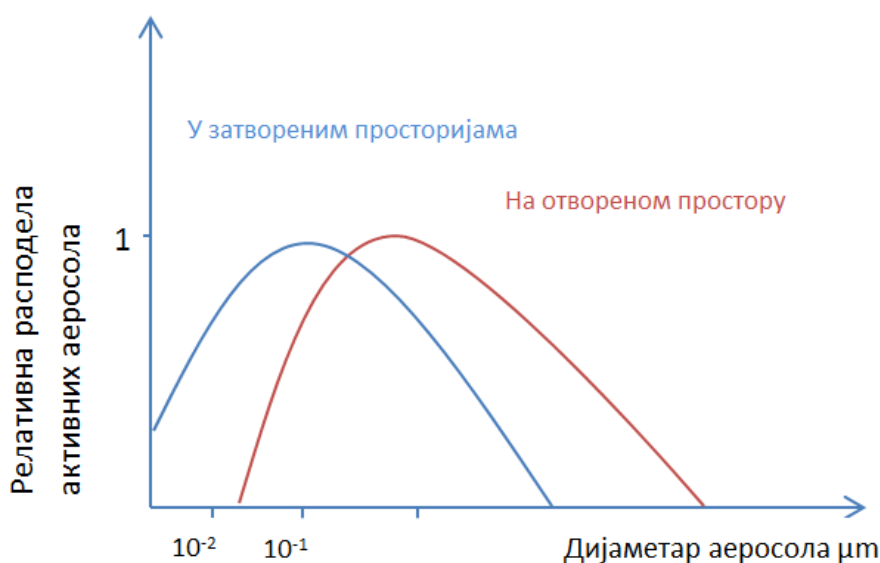
при чему је:

$$C_j = \sum_{d=0}^{\infty} \Delta C(d) \quad (2.10.).$$

У горњим једначинама коришћене су ознаке:

- d - дијаметар аеросола у (m)
- $\Delta C_j(d)$ - концентрација радиоактивних аеросола дијаметра d који носе j -ти радонов потомак, у (m^{-3})
- Z - укупна концентрација аеросола, у (m^{-3})
- C_j - укупна концентрација радиоактивних аеросола који носе j -ти радонов краткоживећи потомак ($j=1, 2, 3$), у (m^{-3})
- $P(d)$ - коефицијент припајања и функција је величине аеросола.

Вредности које се могу срести у литератури за средњи коефицијент припајања су од 0.5×10^{-12} до $2.3 \times 10^{-12} \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Релативна расподела радиоактивних аеросола по дијаметрима је дата на слици број 2.4. [24]. Радиоактивни аеросоли са дијаметрима у интервалу од 0.1 до 10 μm [25] се најбоље таложе у људским плућима. Аеросоли већих димензија се задржавају у носу и усној дупљи не допирући до осетљивог респираторног епитела бронхијалног стабла.



Слика 2.4. Релативна расподела радиоактивних аеросола по дијаметрима

Поред припајања потомака аеросолима, постоји и обрнути процес, одвајање. Приликом распада, ^{218}Po емитује алфа честицу, при чему новонастало језгро доживљава узмак. Овај узмак је довољан да дође до одвајања атома од аеросола. Вероватноћа да дође до одвајања (фактор узмака) је висока и износи 0.81, што је разумљиво ако се зна да енергија узмакнутог језгра за ^{214}Pb износи 117 keV, а енергија везе атома у аеросолу је реда eV [3]. До одвајања не долази у случају када је узмакнути атом усмерен према самом аеросолу, за кога је припојен, и када је дијаметар аеросола већи од домета атома у њему. Припојени и неприпојени радонови потомци таложе се на површинама унутар затворених просторија (зидови, намештај). Такав процес таложења (plate out) је значајан механизам смањивања концентрације радонових потомака у атмосфери затворених просторија. Јачина таложења се добија у (Bqs^{-1}) и представља наталожену активност у јединици времена у затвореној просторији. Јачина таложења се може дати изразом: $C_j A v$ [3]; где је A површина на располагању за таложење у (m^2), C_j је концентрација j -тог радоновог потомка у (Bqm^{-3}) и v је брзина таложења у (ms^{-1}). Може се проучавати зависност таложења од различитих параметара, као што су концентрација аеросола, расподела аеросола по величинама, јачина вентилације итд. У ту сврху, конструишу се специјалне коморе, у којима се ови параметри могу контролисати. Запажена је инверзна релација између дела наталожених радиоактивних аеросола y и њихове концентрације C [24].

2.2.4. Концентрација радона у затвореним просторијама и на отвореном простору

Због високог здравственог ризика, нивои радона и његових краткоживећих потомака у ваздуху затворених просторија систематски се испитују у целом свету. Према препорукама Комисије ICRP [8] од 1994. године дозвољене концентрације радона за затворени простор су:

- 200 Bqm^{-3} за нове зграде и
- 400 Bqm^{-3} за старе зграде.

Грађевински стандард за изградњу нових станова и кућа је 100 Bqm^{-3} радона као просечни годишњи ниво, 200 Bqm^{-3} за препоруку јефтених санационих мера и 600 Bqm^{-3} за препоруку скупих санационих мера [26]. Наиме, и у случају ових препорука и норми, примењује се принцип

ALARA (As Low As Reasonably Achievable - онолико ниско колико се разумно може постићи). Зато, уколико апсолутна обилност у деловима литосфере или геохемијски процеси регионално или локално значајно концентришу природне радионуклиде, толеришу се неизбежни виши нивои јонизујућег зрачења. Концентрације радона на отвореном простору су неколико пута ниже него у затвореним просторијама и у интервалу су од $5 - 15 \text{ Bqm}^{-3}$ [27].

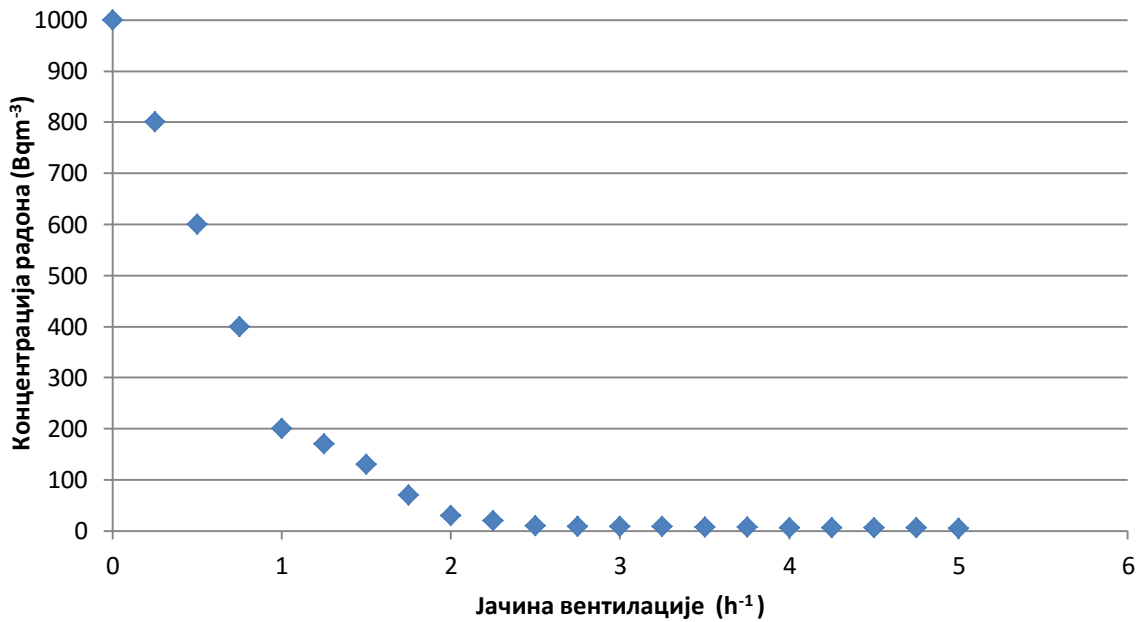
Концентрације у затвореним просторијама су знатно више због "нагомилавања" радона услед сталног дотока из земљишта и грађевинског материјала и, пре свега, услед смањења природне вентилације затворених просторија, у циљу уштеде топлотне енергије. У великом броју земаља врши се прикупљање података о концентрацији радона и његових потомака како на отвореном простору, тако и у затвореним просторијама, картографишу се терени у односу на присуство радона, проналазе се области са повећаном концентрацијом у зградама, карактерише се грађевински материјал итд. У табели 2.6. [5] дате су средње годишње вредности концентрације радона у затвореним просторијама за неколико земаља. Извршена је процена и одређене су средње вредности концентрације радона у затвореним просторијама за цео свет; ова процена износи 37 Bqm^{-3} [5].

2.2.5. Утицај вентилације на концентрацију радона

Јачина вентилације (λ_v) је фактор који утиче на смањење концентрације радона у затвореним просторијама, а изражава се бројем измена целокупног ваздуха у просторији у току 3.6 ks (односно једног часа - 1 h). При томе, вентилација се састоји из:

- инфилтрације - неконтролисани проток ваздуха из затворених просторија кроз отворе и шупљине у условима када су прозори и врата затворени,
- природне вентилације - проветравање просторија кроз отворене прозоре и врата и
- вештачке вентилације - која је изазвана електромеханичким уређајима за проветравање просторија (која није препоручљива уколико је пропустљивост околног земљишта већа од 10^{10} m , јер снижава притисак унутар просторија и доводи до "усисавања" радона из земљишта) [15]. У

нормалним условима (тј. без вештачке вентилације), јачина вентилације је око једне промене целокупног ваздуха на 3.6 ks. Зграде са јачином вентилације испод 0.5 измена у току 3.6 ks сматрају се лоше вентилисаним, а изнад једне измене ваздуха у току 3.6 ks добро вентилисаним. Мерења концентрације радона у затвореним просторијама често су праћена мерењем јачине вентилације, и таква мерења показују зависност концентрације радона од јачине вентилације, као на слици 2.8. [5].



Слика 2.5. Зависност концентрације радона од јачине вентилације

Варијација концентрације радона у функцији времена може бити представљена следећом једначином:

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda C + \frac{\sum E_j A_j}{V} + \frac{q(C_0 - C)}{V} \quad (2.11.)$$

$$C = \left(C_i - \frac{\sum E_j A_j + qC_0}{V + (\lambda + \frac{q}{V})} \right) e^{-(\lambda + (\frac{q}{V}))t} + \frac{\sum E_j A_j + qC_0}{V(\lambda + \frac{q}{V})} \quad (2.12.)$$

С обзиром на то да је $\lambda \ll q/V$, добија се:

$$C_{(\infty)} = C_0 + \frac{\sum E_j A_j}{q} \quad (2.13.)$$

Једначина 2.12. показује то да, ако стамбени простор има добру вентилацију, концентрација радона је приближна као и у спољашњој средини. Емисиони појам $\sum E_j A_j$ у вези је са иницијалним растом криве, под претпоставком да је C_i приближно исте вредности као и C_0 .

Диференцирањем једначине 2.12., када t тежи нули, добија се следећи израз:

$$M_i = \int_t^0 \frac{dC}{dt} = \frac{\sum E_j A_j}{V} \quad (2.14.)$$

$$\sum E_j A_j = M_i V \quad (2.15.)$$

Ако једначину 2.14. заменимо у једначини 2.12., добија се:

$$C_{(\infty)} = C_0 + \frac{M_i V}{q} \quad (2.16.),$$

или:

$$\frac{C_{(\infty)}}{C_0} = 1 + \frac{M_i}{C_0 L} \quad (2.17.).$$

2.2.6. Варијације концентрације радона у ваздуху

Поред већ наведеног, концентрација радона зависи и од метеоролошких услова и годишњег доба.

Метеоролошки услови у целини утичу на брзину и правац кретања контаминираних атмосфере, на димензије хоризонталног расплињавања и на време одржавања одређене концентрације радона [28,29].

Од вертикалног кретања ваздуха зависи у којој мери ће радон одлазити у вис или ће се распростирати хоризонтално, односно спуштати према тлу. У вези са дисперзијом токсичних материја, постоје три стања вертикалне стабилности ваздуха: инверзија, изотермија и конвекција.

Инверзија настаје када температура ваздуха расте са висином уместо да опада. То је најлошија варијанта у смислу контаминације, зато што не може доћи до дисперзије радона. Радон долази до одређене висине и ту остаје. Када инверзија траје дуже, радон се нагомилава, па његова концентрација може бити опасна за људе. До инверзије долази за време ведрих ноћи, када је исијавање зрачења (у виду дуготаласних инфрацрвених зрака) интензивније, што доводи до хлађења земљине површине и зрачења енергије назад у свемир. Ово за последицу има хлађење слојева ваздуха непосредно уз површину. Инверзија настаје приближно један сат пре заласка сунца, а престаје у току једног сата после његовог изласка. У котлинама и долинама хладни ваздух се може спустити са околних брда. Хладни ваздух има већу густину, самим тим и масу, па истискује топлији, који одлази увис, стварајући инверзију.

Овакве инверзије се често јављају током зимских месеци. Приликом судара ваздушних маса различитих температура, хладан ваздух тоне испод топлијег на додирном фронту, а појава је позната као фронтална инверзија.

Друго стање је неутрално (изотермија). Може настати како при хлађењу, тако и при загревању земљине површине, или када се ови процеси лагано одвијају. За неутрално стање карактеристично је тмурно време, док се код ведрога времена може појавити два часа после изласка и два часа пре заласка сунца, онда када инверзија прелази у конвекцију и обратно. С аспекта заштите животне средине, ово су повољнији услови од инверзије. Треће стање је конвекција, која се карактерише великом нестабилношћу ваздуха по вертикали. Настаје при интензивном загревању земљине површине, односно када приземни слојеви ваздуха због загревања постају лакши и дижу се у вис, а хладнији се спуштају на површину земље. Конвекција се јавља лети за време ведрих или слабо облачних дана. Настаје око два сата после изласка сунца, а престаје око два сата пре његовог заласка. У овим условима загађена атмосфера је изложена јаком расплињавању, односно радон се веома лако расплињује у висину [30].

Дневне варијације концентрације радона су приписане овим променама стабилности атмосфере. Рано ујутру, концентрација радона је максимална због температурне инверзије, која спречава вертикално ваздушно струјање, што доводи до екстремно стабилне атмосфере. После изласка сунца, почиње загревање тла и приземних слојева атмосфере, нестаје

температурна инверзија и успостављају се вертикалне ваздушне струје. Услед овога, концентрација радона у приземном слоју атмосфере опада. Касно поподне, стабилност атмосфере расте, што доводи до пораста концентрације радона.

3. Здравствени ефекти радона

3.1.1. Историјски преглед здравствене проблематике радона

Радон је један од првих радиоактивних елемената са којима се човек упознао, и то почетком 20. века. Међутим, човек је и много пре тога био изложен дејству радона и уочавао дејство његовог зрачења.

О томе сведоче Агриколини рукописи из 15. Века. Они бележе необично високу стопу морталитета рудара у подземним рудницима метала у планинама Ерц, у средњој Европи. Узрок смрти су биле болести респираторних органа и представљале су, вероватно, комбинацију плућног канцера, силикозе и туберкулозе, што су, иначе, уобичајена обољења код рудара. Ове болести су једним именом означене као „горска болест“ [31].

Почетком 16. века примећена је висока смртност млађих рудара у региону Шнеберг. Узрок смрти су биле болести плућа. Учесталост појаве ове плућне болести расла је са повећењем времена проведеног у руднику. Године 1898. Пјер и Марија Кири (Pierre & Marya Currie) су екстраховали ^{222}Ra и ^{210}Po из руда из Јоахимова. Такозвана радијумова еманација касније је названа радон. Радон је идентификован као радијумов племенити гас који настаје приликом радиоактивног распада радијума.

Почетком 20. века (1901. године) Елштер и Гајтел (Elster i Geitel) су почели са мерењем радона у рудницима у Шнебергу и Јоахимову. Показало се да у атмосфери рудника постоји висок садржај радона (од 70 kBq m^{-3} до преко 500 kBq m^{-3}). Директор рудника у Цквикау (Zwickau), извесни Милер (Müller), први је уочио везу између радона и појаве плућних канцера.

У том периоду још увек није прихваћено да је радон узрочни фактор за учестале плућне канцере, већ да је само један од могућих узрока.

Касније патолошке студије показале су да рудари имају повећан број примарног карцинома плућа (Arnstein, 1913, Rostonski et al., 1926). Радон постаје препознат као важан чинилац у повећаном броју плућних канцера након спровођења првих епидемиолошких чинилаца тридесетих година 20. века (Pirchan and Sikl, 1932).

Након Другог светског рата, почело се са интензивнијом експлоатацијом уранијумове руде у многим земљама. У том периоду, који се, иначе, назива раном фазом рударства уранијума, посвећивало се врло мало пажње радиолошкој заштити рудара. Такође се сматрало да је у овим новоствореним рудницима ниво радона знатно нижи него у старим рударским коповима.

Тек је 1951. године Вилијем Бејл (William Vale), објављивањем свог Бејловог меморандума, изнео идеју да узрочни агенти за плућни канцер могу бити радонови потомци, а не сам гас радон. Недвосмислено је показано да радон и његови потомци емитују алфа честице у људском респираторном тракту, што изазива оштећења ткива и појаву канцера [32].

У годинама које су долазиле спроведене су експерименталне студије о депозицији и задржавању радонових потомака у плућима. Ове студије су омогућиле квантитативну процену алфа дозе у бронхијалном епителу. Ова истраживања су за последицу имала развој поузданијих метода за мониторинг радона. 1957. године уведен је концепт *РАЕС*-а (концепт „Концентрације потенцијалне алфа енергије“). Усвајање овог концепта нашло је своју примену у пракси.

Резултати исцрпних дугогодишњих студија које су се бавиле здравственом проблематиком радона у рудницима објављени су 1971. у САД и 1972. у Чехословачкој. Закључак ових студија био је да ризик од плућног канцера расте линеарно са повећањем укупног човековог излагања радоновим потомцима.

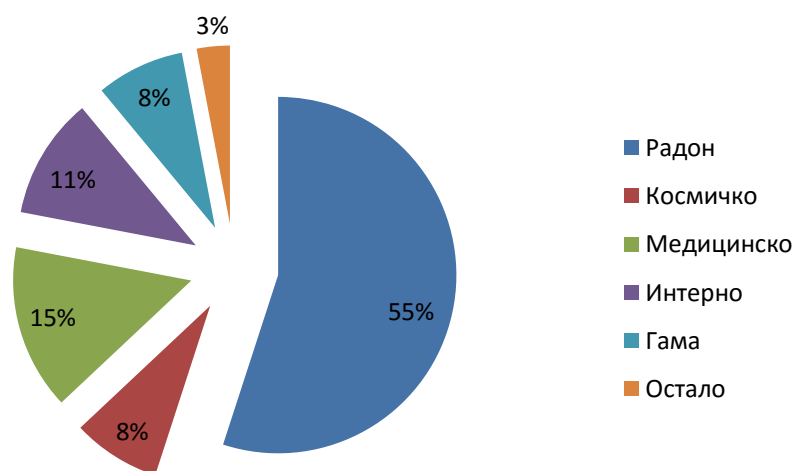
Неке касније студије истраживале су и квантитативну везу између излагања радону и ризика од појаве плућног канцера. Резултати ових студија обједињени су у Публикацији ICRP 65 [33,34,35,36].

Студије које су у првом маху биле засноване на истраживањима код рудара проширене су и на општу популацију. Тражена је квалитативна и квантитативна веза између излагања људи радону у уобичајеној стамбеној атмосфери и појаве плућних канцера, а затим је вршена процена ризика. Пошто људи проводе 80% времена у затвореним просторијама, посебна пажња посвећена је излагању становништва радону у затвореним просторијама.

Постојање проблематике радона у резиденцијалним околностима први је објавио Халтквист (Hultquist) 1956. Године, на основу испитивања двеста двадесет пет кућа у Шведској. Међутим, међународна научна удружења нису томе придавала већи значај, сматрајући да је то локални проблем.

Двадесетак година касније обављено је масовније мерење радона у резиденцијалним објектима у многим земљама. Обједињени резултати су објављени у публикацијама UNESCAR-а [37-40].

Повећање интересовања за радон у односу на остале изворе зрачења потиче од његовог великог удела у укупној озрачености становништва од свих извора зрачења. На основу извештаја међународних организација за зрачење, годишња ефективна еквивалентна доза становништва процењена је на 2.4 mSv [37,42]. На основу процене доприноса на слици 3.1., приказана је тзв. мапа доза [43].



Слика 3.1. Мапа доза за општу популацију (годишња ефективна доза износи 2.4 mSv)

Са слике се види да изразито највећу дозу радијације општа популација прими од радона и његових потомака, и то путем инхалације, што има директно дејство на респираторни систем.

3.1.2. Експозиција инхалацијом

За експозицију инхалацији радона одговоран је сам гас, те његови потомци, као што су: ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{210}Pb , ^{218}Po , ^{210}Po , који могу бити у

облику слободних кластера, или пак везани за атмосферске честице. Радонови потомци који имају дуже време полураспада, попут ^{210}Pb и ^{210}Po , не доприносе озрачивању у већој мери зато што имају већу вероватноћу да буду физички избачени из плућа мукоцилијарно или преко ћелијских транспортних механизма пре него што се распадне и испоруче значајнију дозу зрачења.

Формирање аеросола потомака укључује различите физичко-хемијске процесе: (1) одмах након формирања, потомци реагују са гасовима и парамма и формирају кластере, односно неприпојену фракцију, који имају пречнике од отприлике 0.5- 3 nm или (2) неприпојене честице формирају комплексе са другим аеросолима или честицама и формирају припојену фракцију, за коју је карактеристичан хигроскопан раст, те ови кластери могу имати пречнике од 50 до 1.500 nm. Размере неприпојених кластера у инхалираном ваздуху зависе од концентрације и расподеле величина аеросола у животној средини, услова изложености (нпр. затворени или отворени простор) и активности појединца (спавање, убрзано дисање, као и активности које ослобађају честице у ваздух). Величине и расподела величина честица у пушачким домовима и рудницама могу бити приближно исте, док су величине честица мање у становима непушача. Количина неприпојене фракције за типичне унутрашње просторије је процењена између 5-20%, док ЕПА процењује да је око 50% [44]. Пушење и друге активности које повећавају количину аеросола (нпр. усисавање, кување, камин и употреба вентилатора) повећаће припојену фракцију, која на одговарајући начин повећава дозу[45].

Депозиција, а касније и апсорпција инхалираног радона и његових потомака, под утицајем су фактора физиолошких, као и хемијских и физичких карактеристика радионуклида, носача аеросола, те атмосферских честица. Радон је инертан, племенит гас, а таложене и апсорпција су одређени Брауновим кретањем, његовом растворљивошћу у плућним течностима, као и његовом пропустљивошћу кроз ћелије плућа: циркулишуће крви кроз тело и протоком крви до плућа. Коефицијент партиције ваздуха за радон у крви је процењен на 0,4, па ће, стога, концентрација радона у крви у стању мировања бити око 0,4 пута већа од концентрације радона у плућном ваздуху[47,48]. Под претпоставком да се расподела радона између плућног ваздуха и крви врши готово тренутно, апсорпција и пренос радона из плућа су регулисани протоком крви у плућима (тј. стопа апсорпције ће бити ограничена протоком). Ако је доток

крви у плућа код одрасле особе 5.3 l min^{-1} , и плућа запремине $2,82 \text{ l}$, $T_{1/2}$ за апсорпцију радона из плућа до крви ће бити око 0.4 минута (стопа је константна: 113 h^{-1}) [48]. Брзо чишћење радона из плућа, путем апсорпције и његовог издисања ће резултовати мировањем концентрације радона у крви већ након 2-3 минута од почетка излагања гасу. Чишћење радона из крви је регулисано протоком крви до органа задужених за његово складиштење.

На основу студија спроведених на животињама, дистрибуција апсорбованог радона указује на његову растворљивост у води и мастима. Нусбаум и Хурсх (1957) су излагали пацове радону (цело тело) за период од 30 минута до 48 сати и измерили нивое радона у ткивима на крају излагања. Највеће концентрације радона уочене су у мастима. Измерене концентрације радона у ткивима (средња вредност \pm стандардна грешка [SE]): масне наслаге на стомаку 4.83 ± 0.07 , венска крв 0.405 ± 0.016 , мозак $0,309 \pm 0,008$, јетра $0,306 \pm 0,004$, бубрези $0,285 \pm 0.012$, срце 0.221 ± 0.013 , тестис 0.184 ± 0.007 , и скелетни мишићи 0.154 ± 0.005 . [46]

Из овог истраживања такође су пријављене информације о кинетици ресорпције инхалираног радона у ткивима. У свим испитиваним ткивима, осим масти, константни нивои радона су постигнути у року од једног сата по покретању континуираног удисања. Постизање стабилне концентрације у стомачној масти је нешто спорије, и ово се објашњава нешто споријом перфузијом крви масног ткива (по јединици масе ткива) у поређењу са другим меким ткивима. Слично томе, релативно спора перфузија масти требало би да допринесе споријој елиминацији радона из ткива након престанка излагања.

Честице са потомцима радона које се нагомилавају у дисајним путевима излучују се путем три процеса ван тела: (1) мукоцилијарно, транспортом до гастроинтестиналног тракта за потомке депоноване у цилијарним дисајним путевима (тј. трахејама, бронхијама и бронхиолама); (2) фагоцитозом плућних макрофага и ћелијским транспортом до лимфних чворова (нпр. до плућа, трахеобронхијално, медијастинално); или (3) апсорпција и трансфер путем крви и/или лимфе у друга ткива. Наведени процеси важе за све облике депонованих радонових потомака, иако релативни удели сваког пута и стопе могу варирати са физичким карактеристикама (на пример, величина честица), хемијским обликом

(степен растворљивости у води) и радиолошким карактеристикама (на пример, специфична активност).

Мерења издисања радона након узимања радона раствореног у води указују на то да се апсорбовани радон убрзано излучује путем издахнутог ваздуха. Удахнути ^{212}Pb се излучује урином и фекалијама, а након удисања природних ^{212}Pb аеросола створених од ^{220}Rn , 3% од износа се првобитно депонује у респираторном тракту и излучује урином и фекалијама, и то око 3 % дневно.

Дугорочна кинетика лучења ^{210}Pb , тј. хронична изложеност потомцима радона може да допринесе спором изласку ^{210}Pb који је акумулиран у костима[49].

3.1.3. Експозиција ингестијом

Изложеност радону оралним путем може се јавити као последица раствореног радона у води. У равнотежи, концентрација радона раствореног у води ће бити око 0.25 у ваздуху (тј. Хенријева константа = 4.08 на 20°C). Радиоактивни распад радона у води производи његове потомке; стога, уношење воде која садржи растворени радон ће резултовати и ингестијом његових потомака. Радон се апсорбује у желуцу и танком цреву, мада апсорпција може да се јави и у дебелом цреву[50,51].

С обзиром на то да је радон инертан, његова апсорпција из желуца ће у великој мери бити одређена стопом дифузије радона из стомака до васкуларизоване слузокоже, његовом раствориљивошћу у стомачним ткивима и крви, као и протоком крви у стомаку и цревима. Дифузија радона од желудачног садржаја до ткива стомака може ограничавати брзину апсорпције. Међутим, под претпоставком да се радон тренутно расподељује из васкуларизоване слузнице до крви, апсорпција радона из слузнице желуца регулисана је протоком крви у стомаку (тј. стопа апсорпције ће бити ограничена протоком). Познато је да је проток крви у стомаку око 1% срчаног протока (1% од 6.5 l min^{-1} код одрасле особе) и зида желуца запремине од око 0,15 l, $T_{1/2}$ за апсорпцију радона из желуца зида до крви ће бити око 1.6 минута (константа стопе = $0,43\text{ min}^{-1}$). Полувреме апсорпције од 1-2 минута је у складу са запажањима о максималној концентрацији радона у крви и максималној концентрацији радона у

ваздуху која се издахне у року од 5 минута након узимања радона у води од стране одраслих [52,53].

Кинетика апсорпције потомака радона знатно је сложенија и одражава различите механизме (нпр. транспорт протеина кроз мембране и канале) и места апсорпције за радон и потомке. Апсорпција потомака радона након ингестије се у великој мери јавља у танком цреву. Као резултат тога, апсорпција ингестираних потомака биће под утицајем преноса садржаја стомака у танко црево, као и апсорпције потомака из танког црева.

Мерења издахнутог радона након ингестије радона раствореног у води указују на то да је издахнут ваздух доминантан пут излучивања унетог радона [54,55,56]. Биолошка кинетика елиминације апсорбованог радона у издахнутом ваздуху показује више фаза. У првој фази, која траје 13 минута, елиминише се 61% радона, у другој фази од 19 минута елиминише се 34%, а у последњој фази од 207 минута елиминише се 5% респективно; 95% дозе бива елиминисано у року од 100 минута. Спора фаза елиминације је у складу са запажањима на експерименту са пацовима и релативно спором акумулацијом радона у масним ткивима, као и сталној инхалационој изложености радону.

3.1.4. Генотоксичност

Генотоксичност алфа зрачења потеклог од радона и његових потомака је испитивана код рудара, код особа које живе у домовима са измереним повишеним нивоима радона, као и на лабораторијским животињама *in vivo*, и у различитим *in vitro* тест системима. Табеле 3.1 и 3.2 представљају резултате *in vivo* и *in vitro* са проценама генотоксичности, респективно.

Значајно повећана учесталост хромозомских аберација откривена је у лимфоцитима периферне крви мале групе појединаца у Немачкој која је боравила у домовима где су концентрације радона 4-60 пута веће од националног просека од 50 Bq m^{-3} [57]. Учесталост оштећења ДНК у лимфоцитима значајно је повезана са повећаним нивоима радона у ваздуху у становима на нивоу већем од 200 Bq m^{-3} . Резултати једне мале студије са двадесет појединаца указали су на позитивну везу између ХПРТ мутације у лимфоцитима периферне крви и измерених нивоа радона [80].

Табела 3.1. Генотоксичност радона и његових потомака in vivo

Врста	Крајњи исход	Резултати	Референца
Сисари			
Човек (лимфоцити периферних крвних судова)	Хромозомске аберације	+	Bauchinger et al. 1994; Bilban and Jakopin 2005; Brandom et al. 1978; Hellman et al. 1999; Pohl-Rüling and Fischer 1979, 1982; Pohl-Rüling et al. 1976; Smerhovsky et al. 2001, 2002; Stenstrand et al. 1979
Човек (лимфоцити периферних крвних судова)	Микронуклеус	+	Bilban and Jakopin 2005
Човек (лимфоцити периферних крвних судова)	Генске мутације (HPRT)	-	Cole et al. 1996, Albering et al. 1992, Cole et al. 1996
Човек (крв)	Генске мутације (гликофорин А)	+	Shanahan et al. 1996
Човек (лимфоцити)	ДНК поправка	+	Tuschl et al. 1980
Пацов (трахијалне епителне ћелије)	Хромозомске аберације	+	Brooks et al. 1992
Зећ (соматске ћелије)	Хромозомске аберације	-	Leonard et al. 1981
Миш (коштане срж)	Хромозомске аберације	+	Abo-Elmagd et al. 2008
Сиријски хрчак (плућни фибробласти)	Микронуклеус	+	Khan et al. 1995

Табела 3.2. Генотоксичност радона и његових потомака in vitro

Врста	Крајњи исход	Резултати	Референца
Сисари			
Човек (лимфоцити)	Хромозомске аберације	+	Wolff et al. 1991
Човек (лимфоцити)	Хромозомске аберације	+	Hamza and Mohankumar 2009
Човек (фибробласти)	Хромозомске аберације	+	Loucas and Geard 1994
Кинески хрчак (јајна ћелија AA8)	Хромозомске аберације	+	Schwartz et al. 1990
Кинески хрчак (јајна ћелија EM9)	Хромозомске аберације	+	Schwartz et al. 1990
Кинески хрчак (јајна ћелија K-1)	Хромозомске аберације	+	Schwartz et al. 1990
Кинески хрчак (јајна ћелија XRS-5)	Хромозомске аберације	-	Shadley et al. 1991
Кинески хрчак (јајна ћелија K-1)	Генске мутације	+	Shadley et al. 1991
Кинески хрчак (јајна ћелија XRS-5)	Генске мутације	+	Shadley et al. 1991
Кинески хрчак (јајна ћелија AA8)	Генске мутације	+	Shadley et al. 1991
Кинески хрчак (јајна ћелија EM9)	Генске мутације	+	Schwartz et al. 1990
Кинески хрчак (јајна ћелија CM18)	Генске мутације	+	Schwartz et al. 1990
Миш (L5178Y ћелије)	Генске мутације	+	Jostes et al. 1994

Редослед догађаја који доводе до појаве малигнитета подразумевају јонизацију која узрокује оштећења ћелија, у која спадају: ДНК ломљење, тачна или нетачна поправка, апоптоза, мутације гена хромозома, промене и генетске нестабилности [89]. Слика 3.2. приказује општи концептуални биолошки модел који води од алфа зрачења радона и његових потомака до развоја тумора. Процес обухвата низ манифестација којима зрачења индукују молекуларне промене и утичу на нормалне функције регулаторних гена, што доводи до нестабилности генома, губитка нормалних ћелија и хомеостазектива и развој малигнитета.

Повећање броја хромозомских аберација пронађено је и међу особљем и становништвом у области Бадгастеин, Аустрија, који су хронично изложени радону и његовим потомцима [90].

Пораст броја хромозомских аберација у лимфоцитима забележен је и међу осамнаесторо људи различитог узраста у Финској, хронично изложених радону у домаћинству путем воде у концентрацијама од $2,9 \times 10^4$ - $1,2 \times 10^6$ pCi⁻¹ ($1,1 \times 10^3$ - $4,4 \times 10^4$ Bq^l-¹), у поређењу са људима који нису имали историју изложености високим концентрацијама радона[65]. Ова студија је такође указала да су фреквенције хромозомских аберација и хромозомски прекиди чешћи код старијих него код млађих људи изложених радону. Иако је радон у домаћинству био у води, вероватно је да је испаравао и да се могао унети у организам и путем дисања. Према томе, овај пут излагања укључује ингестионе и инхалационе путеве.

Доступни *in vivo* подаци који су спроведени на животињама подржавају и доступне податке о људима. Значајно повећана учесталост микронуклеуса примећена је у фибробластима плућа код Вистар пацова, сиријских и кинеских хрчака који су удисали радон и његове потомке при кумулативној изложености од 115-323 WLM за пацове, 126-278 WLM за сиријске хрчке и 496 WLM за кинеске хрчке [77].

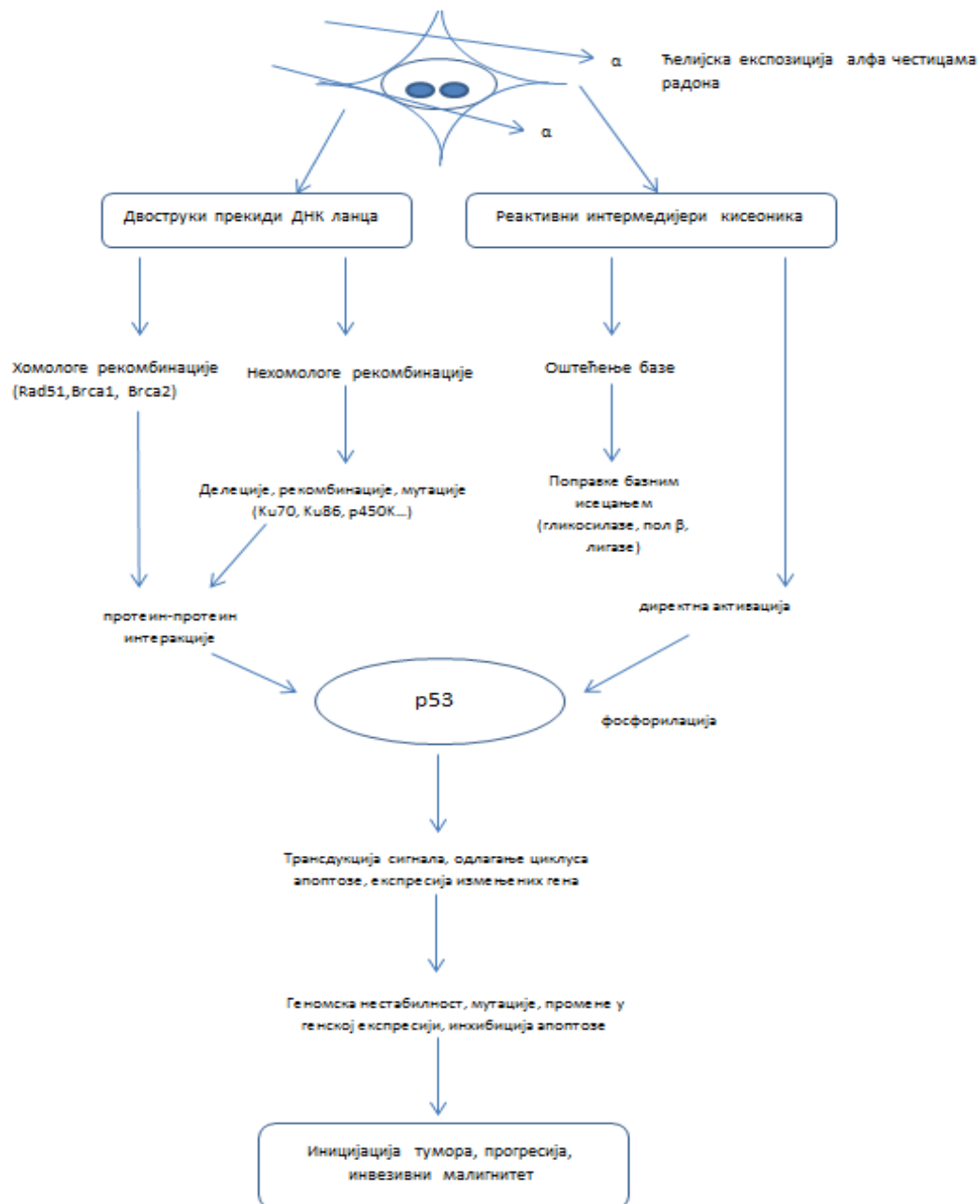
Значајно повећана учесталост хромозомских аберација пронађена је у трахеалним епителним ћелијама F-344/N пацова који су удисали потомке радона при кумулативној изложености од 900 или 1.000 WLM[77]. Изложеност албино мишева радону из урановог праха за 5-25 недеља резултира акумулираном дозом радона у опсегу од 13.01-65.05 WLM и повећаном броју структуралних хромозомских аберација, те смањењем митотског индекса у ћелијама коштане сржи и повећањем микронуклеуса у црвеним крвним зрнцима[76].

3.1.5. Механизам генотоксичности

Једна путања која доводи до формирања тумора започиње индукцијом ДНК оштећења озрачених ћелија (Слика 3.2.). Алфа честица на свом путу кроз сферично ћелијско једро може да прође кроз много појединачних нити ДНК, таложећи енергију у облику јонских кластера и производећи одговарајући број прекида у ланцу ДНК, познатих и као вишеструко локално оштећених места (*MLDSs*) [94]. Дволанчани прекиди су најистакнутији облик оштећења ДНК у ћелијама озраченим алфа честицама радона. Дволанчани прекиди ДНК представљају озбиљну претњу геномској стабилности ћелије, као и њеном преживљавању. Ова

врста прекида представља већи проблем за ћелију од једноланчаних, јер комплементарни ланац није доступан као матрица да би се оштећење поправило.

Након настанка дволанчаног прекида и његове детекције, укључују се сигнални путеви заустављања ћелијског циклуса и активирања протеина укључених у њихову поправку. Непоправљање или погрешно поправљање дволанчаних прекида, уколико не доведе до смрти ћелија, може да доведе до веома различитих геномских промена, као што су веће или мање делеције, транслокације, фузије хромозома, губитак хетерозиготности, као и губитак целог хромозома. Све ове промене повећавају нестабилност генома и карактеристичне су за ћелије канцера. При хомологој поправци, спајајући протеини попут Rad51 и слични модулари протеини формирају ДНК нит са нетакнутим ДНК хомологом.



Слика 3.2. Концептуални биолошки модел који приказује утицај алфа зрачења на развој малигнитета

Главни сигнални протеин (p53) који регулише контролни ћелијски циклус, апоптозу, и транскрипцију преосталих гена, може интераговати са Rad51 и инхибирати Rad 51 зависно упаривање. Ипак, хомолога поправка ДНК је углавном прецизна због тога што се за поправку покиданог ланца користи секвенце информација од нетакнуте хроматиде.

Нехомолога рекомбинација укључује спајање крајева покиданих ланаца ДНК уз помоћ протеина Ku70, Ku86, p450 киназе и ДНК лигазе IV. Крајњи резултат поправке покиданог ланца може садржати изванредан степен делеција, инсерција или реорганизацију генетског материјала, који се може одразити на много генерација ћелија.

Јонизујуће зрачење које директно не оштећује ДНК може да произведе реактивне кисеоничне посреднике који директно утичу на стабилност p53, што проузрокује домино ефекат на ћелијску регулацију и активира мобилне системе осетљиве на ћелијски редокс потенцијал. Реактивни интермедијери кисеоника такође могу да произведу оксидативна оштећења појединих база у ДНК и тачкасте мутације током репликације ДНК.

Протеин p53 игра кључну улогу у регулисању механизма одзива изазваних у оштећеним ћелијама, конкретно заустављања ћелијског циклуса и апоптозе. Протеин p53 такође интерагује са осталим регулационим протеинима и протеинима задуженим за поправку. У присуству ћелијског оштећења које је изазвано директним оштећењем ДНК или путем реактивних интермедијера, животни век p53 се повећава, што може резултовати одлагањем ћелијских циклуса и апоптозе. Преживеле ћелије могу садржати делеције гена, рекомбинације, амплификације и геномске нестабилности. Све ово може резултовати мутацијама у онкогенима, губитком функције у супресорима тумора, као и губитак хетерозиготности, што опет доводи до иницијације тумора, као и његове даље прогресије и инвазивног малигнитета.

3.1.2. Терапијско деловање радона

Поред тога што је узрочник многих болести, радиоактивни гас радон може и позитивно деловати на организам. Огромна енергија коју радон поседује условљава бржи опоравак организма, јер директно утиче на ћелијски метаболизам. Лечење радоном је једна од најстаријих терапија којом се људи користе. Постоји неколико етапа у развоју ове терапије, укључујући и време када је ова терапија била индиректно позната по својим позитивним ефектима, све до првих деценија научног истраживања

његових особина и нивоа концентрације у различитим минералним водама непосредно након његовог открића, па до његовог коришћења у старим и новим терапијским установама[92,93]. Терапија радоном је посебно била развијена и изучавана у бившем Совјетском Савезу и Јапану, где је годишње било и преко милион третмана. Први третмани радономским водама изведени су још 1906. године, водом велике концентрације која истиче из рудника. У модерним радономским бањама Европе пацијенти остају и до три недеље где, поред лековите воде, имају нормалну и здравију средину, те приступ стручној медицинској помоћи. Све ово утиче на боље здравље пацијената.

Спектар индикација које указују на лечење које може бити мање или више успешно укључује: срчане проблеме и проблеме са циркулацијом (хипертонија), плућне проблеме, болести скелета, болести нервног система, стерилитет и гинеколошке проблеме, проблеме са кожом, гастритис и сл.

Најбољи резултати остварени су у лечењу реуматских, гинеколошких, кожных болести и хипертоније. Лечење радоном обухвата и инхалацију из природних извора или купање у води богатој радоном, испирање носа и уста, те ваздушно излагање тела, док је све мање коришћен начин ингестије воде богате радоном [93,94].

Годишња ефективна доза за пацијенте (укључујући једну секвенцу третмана радоном) је од 0,1 до 3mSv. У зависности од стања пацијента, радон се може користити и у комбинацији са другим гасовима. Према истраживањима вршеним у Русији, радон у води за купање продире у кожу и апсорбује се у ткиву, а потомци у бубрезима. Органска доза за 15 минута купања у води, концентрације $15 \times 10^5 \text{Bq/m}^3$ износи 0,09mSv за кожу и 0,03mSv за бубрег. Два сата након купања само 10% унетог радона остаје у телу. Његови краткоживећи потомци доприносе око 70% укупној апсорбованој дози. Медицинско особље (доктори, сестре) као и друга стручна лица, могу примити дозу од око 100 mSv.

3.2. Дозиметрија радона

Активност која представља једну од основних карактеристика радиоактивних извора не може да карактерише промене у простору под дејством јонизујућег зрачења. Ради тога се дефинишу величине у области

детекције и дозиметрије радиоактивног зрачења: доза зрачења, јачина дозе зрачења, интензитет зрачења, густина протока јонизујућих честица и гама кваната и степен радиоактивне контаминације.

Преко дозе зрачења и јачине дозе зрачења карактерише се јонизујуће зрачење са становишта његовог узајамног дејства са материјом.

Доза зрачења карактерише штетно дејство спољњег зрачења на организам човека после излагања зрачењу током одређеног времена. Доза зрачења се увек посматра у току одређеног времена излагања зрачењу (дан, месец, година итд.).

Јачина дозе зрачења карактерише опасност од јонизујућег зрачења на неком месту. Јачина дозе зрачења се увек посматра у јединици времена, обично часовима.

Пролаз јонизујућег зрачења кроз материју праћен је јонизацијом и побуђивањем атома материје. Приликом јонизације и побуђивања атома зрачење губи део своје енергије и апсорбује се у материји. Количина апсорбоване енергије зрачења и степен јонизације материје користе се као мера узајамног дејства и зрачења са материјом.

Након распада радона, његови потомци, који се тада налазе у облику голих атома, веома брзо реагују са парама и гасовима и формирају кластер нанометарског реда величине, који се другачије зове и припојена фракција. Ови кластери се веома брзо везују за честице аеросола (за највише сто секунди) и формирају радиоактивни аеросол потомка радона [95,96].

Концентрације радона и његових потомака, било у слободном или везаном облику, нису у прелазној равнотежи. Живи организми који удишу овакву мешавину аеросола у великој мери издахну ^{222}Rn , али задржавају велики број потомака у својим плућима.

За успостављање веза између излагања људи и других живих организама радону, неопходно је извршити карактеризацију контаминације атмосфере радоном и његовим потомцима, и овде је потребно знање о следећем:

- трансфер од ваздуха до организма; с обзиром на то да се ради о гасу, механизам је инхалација, а главна променљива је запремински проток респирације,
- дозиметрија респираторног тракта - како израчунати дозу коју приме осетљива ткива плућа (зидови трахеобронхијалног стабла), а затим и цело тело.

Информације о горенаведеним ставкама се користе како би се израчунала доза за цело тело. Овде су уводи појам дозе по јединици концентрације, DPUC (*Dose rate Per Unit of Concentration*, израженог у μGy по $\text{Bq}^{-1}\text{h}^{-1}\text{m}^{-3}$). Посебну пажњу треба посветити организмима попут биљака и инсеката, који не дишу у правом смислу те речи, па ће се за њих користити поједностављен модел.

3.2.1. Величине и јединице које карактеришу контаминацију атмосфере радоном

Процена генерације аеросола потомака радона који се налазе у делимичној равнотежи захтева употребу специјалних јединица у величинама дозиметрије радона. Главне променљиве су: запреминска активност радона (C), концентрација потенцијалне α енергије (PAEC), радни ниво (WL- *Working Level*), еквивалент равнотеже радона EER (Equilibrium Equivalent Radon) [15].

Запреминска активност радона (C) преставља активност радона у јединици запремине. Јединица је $[\text{Bq}\text{m}^{-3}]$.

Потенцијална α -енергија ^{222}Rn је укупна α енергија која ће на крају бити емитована од стране распадања радона на потомке. Израчунато је да је то око 19.2 MeV по атому, па ће, самим тим, $1 \text{ Bq } ^{222}\text{Rn}$ (и његових потомака) преко свог ланца распада генерисати око $9.15 \times 10^6 \text{ MeV}$.

Из ове дефиниције произилази јединица за радни ниво (WL). То је, заправо, потенцијал α енергије радонових потомака који су у равнотежи са концентрацијом радона од $3700 \text{ Bq}\text{m}^{-3}$ [15].

Један WL је једнак $3.70 \times 10^3 \text{ Bq}\text{m}^{-3}$ EER. У случају да је ^{222}Rn у равнотежи са својим краткоживећим потомцима, концентрација радона при којој је PAEC=1 WL износи $3.7 \text{ kBq}\text{m}^{-3}$. Ова вредност концентрације је доста

висока: средња вредност концентрације радона у затвореном простору је 37 Bqm^{-3} , док је на отвореном нижа пет до десет пута. [97].

Изложеност појединаца добијамо множењем радног нивоа са бројем периода (радних месеци) од 170 h, при том приказујући излагање појединца радону као WLM (Work Level Month).

Један WLM је једнак $6.3 \times 10^5 \text{ Bqm}^{-3} \text{ EER}$.

Равнотежна еквивалентна концентрација радона (Equilibrium Equivalent Radon, EER) има скраћену ознаку C_e . Односи се на неравнотежну смешу краткоживећих радонових потомака у ваздуху. Представља концентрацију радона који је у радиоактивној равнотежи са потомцима, а који има исти РАЕС као и неравнотежна смеша на коју се EER односи. Средња вредност EER у затвореним просторијама износи 15 Bqm^{-3} .

Фактор равнотеже радона и краткоживећих потомака (F) дефинише се изразом:

$$F = \frac{C_e}{C_0} \quad (3.1.)$$

где је:

C_e – равнотежна еквивалентна концентрација радона [Bqm^{-3}]

C_0 – стварна концентрација радона у ваздуху.

Средња вредност F у затвореним просторијама је око 0.4[98].

Слободна (неприпојена) фракција (Free, Unattached Fraction, f) представља део потенцијалне алфа енергије која је у виду слободних атома. Под слободним (невезаним) атомима подразумевају се радонови потомци који нису везани за честице аеросола атмосфере.

Вредности за f се у затвореним просторијама крећу између $0.05 \mu\text{m}$ и $0.15 \mu\text{m}$ [99].

Припојена фракција (Attached Fraction) се односи на радонове потомке везане за честице аеросола.

Активност медијана дијаметра аеросола (Activity Median Aerosol Diameter, AMAD) представља ону вредност дијаметара радиоактивних аеросола који

се налазе у атмосфери контаминираној радоном, у односу на коју се половина расподеле аеросола налази испод ње, а половина расподеле изнад ње. У затвореним просторијама вредности се крећу између 0.15 μm (без дима цигарета) и 0.25 μm (са продуктима пушења)[100]. Типична вредност износи 0.17 μm .

Евидентан радијациони ризик који постоји услед инхалације радона и његових краткоживећих потомака квантитативно је повезан са временом и условима излагања. Величина која повезује излагање појединца и радијациони ризик појаве плућног канцера јесте DCF (Dose Conversion Factor), изражен у јединицама [mSv/WLM]. Задатак било ког дозиметријског модела респираторног тракта јесте да трансформише излагање радоновим потомцима у DCF.

3.2.2. Главни принципи код дозиметрије радона

Код дозиметрије радона треба водити рачуна о средњој или еквивалентној дози за осетљиве ћелије трахеобронхијалног (ТБ) и пулмонарног (Р) региона плућа, респективно[101].

Када је у питању човек, дозе се углавном обрачунавају коришћењем дв амодела: JE (Jacobi-Eisfeld) и JB (James-Birchall).

Дозу умногоме одређује дисање.

Ради поређења и референци, вреди изложити неколико корисних података [102]:

1. Средње дозе бронхијано-базалних ћелија код одраслих износе 3-9 mGy/WLM (0.9-2.5 Gy/Jh⁻¹m⁻³)
2. Пулмонарне дозе су знатно ниже: 0.3-1.2 mGy/WLM (0.08-0.3 Gy/Jh⁻¹m⁻³)
3. Препоручени референтни коефицијент конверзије за средњу бронхијалну дозу је 4mGy/WLM
4. Препоручени референтни коефицијент конверзије за пулмонарну дозу је 0.5 mGy/WLM.

3.2.3. Репрезентативне дозе по јединици концентрације код људи

Џејмс (James) је 1988. године ефикасно установио дозу од $1200 \mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$ за људе у Великој Британији. Уз просечан ниво радона од $20 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ добијају се пондерисане вредности DPUC од $60 \mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1} \text{Bq}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$. Ако претпоставимо да је релевантни тежински фактор (R_{WF}) 20 за α -честице, непондерисани DPUC износи $2 \mu\text{Gy}/\text{Jh}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$ или $2.28 \times 10^{-4} \mu\text{Gy}/\text{Jh}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$. Из овога следи да је доза пропорционална самој концентрацији [103].

Из овог односа који је установио Џејмс може се развити следећи модел:

$$\frac{\dot{D}}{\int C_{Rn} dt} = F[f_p(D_U - D_A) + D_A]f_T \quad (3.2.)$$

$$\frac{\dot{H}}{\int C_{Rn} dt} = QW_B F[f_p(D_U - D_A) + D_A]f_T \quad (3.3.)$$

Где је:

F - равнотежни фактор, $F = \frac{C_{EER}}{C_{Rn}}$

f_p - концентрација припојене фракције радонових потомака

D_U - доза по јединици експозиције $\int C_{EER} dt$ за неприпојене радонове потомке, што износи: $1.23 \times 10^{-3} \text{GyBq}^{-1}$ (EER) у m^{-3}

D_A - доза по јединици експозиције $\int C_{EER} dt$ за припојене радонове потомке, што износи: $7.89 \times 10^{-5} \text{GyBq}^{-1}$ (EER) у m^{-3}

Q - фактор квалитета радијације за α честице = 20

W_b - ткивни тежински фактор за канцер плућа = 0.06

f_t - дужина експозиције (у годинама)

D, H - стопа дозе и стопа ефективне дозе.

Конверзија концентрације од $20 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ у приближно $1 \text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$ извршена је користећи $f_p \approx 0.1$, $F \approx 0.35$ и $f_t \approx 0.65$ (типичан однос времена проведеног у затвореном простору у периоду од годину дана).

3.3. Алометријско скалирање релевантних параметара за плућа

Извођења DPUC-а за различите врсте захтева израчунавање дозе на једноставан начин, уз коришћење формула које се односе на димензије самог организма за који се доза рачуна.

Алометријско скалирање је неопходна метода којом се, заправо, траже пропорције између димензија и стопе респирације код живих организама. Ова метода подразумева поређење датог структуралног или функционалног параметра (Y) у функцији телесне тежине (BW) за организме различитих врста.

Функционални параметар (Y) се може исказати односом: $Y = AxBW^B$, где су A и B основа и експонент функције, респективно. Логаритамски облик ове функције $Y = \log A + Bx \log BW$ може бити веома користан ако имамо у виду да Y расте директно пропорционално у односу на фактор A, када B тежи јединици.

У случају да су експоненти већи или мањи од 1, променљива се мења више или мање диспропортивно са порастом телесне масе, респективно.

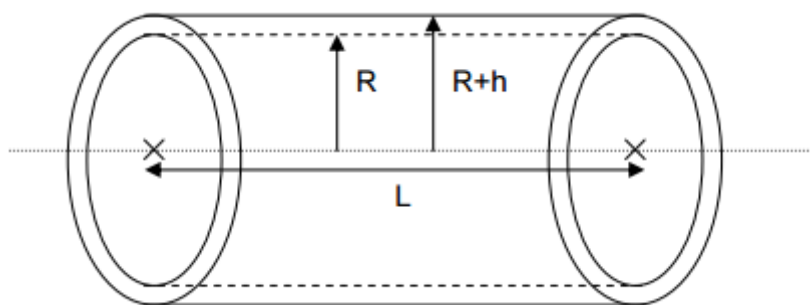
3.3.1. Величина и маса трахеобронхијалног епитела

Ткиво трахеобронхијалног епитела је нарочито подложно алометријском скалирању. У упрошћеном случају, ово ткиво се може представити као два преклапајућа цилиндра пречника R и R+h, респективно, и дужине L (слика 3.1.). Из овога следи да је запремина циљаног подручја:

$$V = \pi(R + h)^2 L - \pi R^2 L = 2\pi RLh \left(1 + \frac{h}{2R}\right) \approx 2\pi RLh \quad (3.4)$$

Сада се може применити алометријско скалирање, тако да димензије бронхија R и L скалирамо пропорционално на 1/3 капацитета плућа. Такође ће се користити правило да је величина плућа у линеарном односу према маси тела. Из овога следи:

$$S_t = 2\pi hRL = KM^{2/3} \quad (3.5)$$



Слика 3.1. Концептуални приказ озраченог респираторног ткива

За гранање трахеобронхијалног стабла може се калибрисати формула која за референцу има човека⁵, где је: $S_T = S_T^{RM} = 2.69 \times 10^{-1} m^2$ и $M = M_{RM} = 70$ kg, па отуда следи да је $k = 2.69 \times 10^{-1} \times 70^{2/3} = 1.58 \times 10^{-2}$ и $S_T = S_T^{RM} \left(\frac{M}{M_{RM}} \right)^{2/3} = 1.58 \times 10^{-2} M^{2/3}$; за ткиво које има густину воде ($\rho_t = 10^3$ kgm⁻³):

$$M_{TB} = 15.8 h_T M^{2/3} \quad (3.6).$$

За површину бронхијалног епитела плућа, фактор би износио 9.25, што је један ред величине испод фактора за бронхије, који износи $k = 1.71 \times 10^{-3}$:

$$M_B = 1.71 h_T M^{2/3} \quad (3.7).$$

3.3.2. Запремина и маса плућа

Запремина плућа је линеарно зависна у односу на телесну масу [18], па је стога и тидални волумен (запремина ваздуха унета у плућа једним удисајем – зависи од узраста, пола и врсте физичке активности) у корелацији са запремином плућа, и то: $V_t = k_1 M$. Према референтним вредностима за човека од 70 kg $k_1 = 1.25 \times 10^{-3} m^3 kg^{-1}$, па једноставним рачуном долазимо до вредности тидалног волумена $V_T = 1.79 \times 10^{-5} M$. Компромис којим би се покрили организми од мањих сисара до човека јесте усредњавање основе и експонента функције, па тако имамо: $V_T = (1.28 \pm 0.72) \times 10^{-5} M^{1.02 \pm 0.03}$, где би маса плућа била једнака дисајном капацитету помноженом са густином ткива (процењеном на 10^3 kgm⁻³), па из тога следи да је :

⁵ Ова референца је дефинисана за човека од 20-30 година, тежине 70kg, висине 170 cm, који живи у умереном климатском подручју.

$$V_T = (1.28 \pm 0.72) \times 10^{-2} M^{1.02 \pm 0.03} \quad (3.8).$$

Ова формула је практично идентична формули МекДоналда и Равенрока (MacDonalld & Lovenrock, 1998) а која је преузета од Питерса [104]: $M_I = 1.13 \times 10^{-2} M^{0.986}$.

3.3.3. Запремински проток дисања

Фреквенција респирације v_R (s^{-1}) за сисаре је у корелацији са телесном масом M (kg), и износи $v_R = 0.84 M^{-0.26}$ и која за $M_{RM} = 70$ kg прилично тачно одређује фреквенцију дисања за човека [105]. Код птица, v_R се скалира приближно на $M^{-1/4}$ [106]. Из овога се чини потпуно разумним претпоставка да је $v_R = k_2 M^{-1/4}$ па се с тога може закључити да је запремински проток дисања за живе организме $R_B = V_T v_R = k_1 k_2 M^{3/4}$. Ово је пропорционално $M^{3/4}$ за кичмењаке.

Калибрисањем ове формуле за човека са $R_B = R_B^{RM} = 3.33 \times 10^{-4} m^3 s^{-1}$ и $M = M_{RM} = 70$ kg [107,102], добијамо $R_B = 1.38 \times 10^{-5} M^{0.75}$. Ово скалирање је пропорционално степену од $3/4$ масе код сисара и потврђено је USDOE (2002), где запремински проток дисања износи $R_B = 5.57 \times 10^{-6} M^{0.76}$ за сисаре и копнене животиње, и код Петерса, где запремински проток дисања износи $R_B = 6.84 \times 10^{-6} M^{0.78}$ [104].

Из горенаведеног се чини како формула намењена људима може бити неодговарајућа за мање животиње. Разумни компромис је усредњавање базе и експонената приказаних једначина како би се добило:

$$R_B = (8.7 \pm 4.4) \times 10^{-6} M^{0.76 \pm 0.02} \quad (3.9)$$

У табели 3.1. дата су нека поређења стопе дисања за човека од 70 kg, пацова од 300 g и пољског миша од 75 g.

Табела 3.1. Компарација стопе дисања применом различитих алометријских формула

Организам	Измерена стопа дисања (m^3s^{-1})	Човек као референтно тело (m^3s^{-1})	Предвиђена стопа дисања			Референца
			USDOE (1992)	Peters (1983)	Једначина 3.8	
Човек	3.34E-04	3.33E-04	1.41E-04	1.88E-04	2.20E-04	Човек
Пацов	3.90E-06	5.58E-06	2.23E-06	2.76E-06	3.49E-06	Hoffman et al. (2006)
Пољски миш	6.67E-07	1.97E-06	7.78E-07	9.07E-07	1.22E-06	Drew&Eisenbud (1966)

3.3.3.1. Референтне стопе дисања код људи коришћене у процени дозе

За процену уноса радона и његових потомака код људи, жена, деце и одојчади при различитим физичким активностима узимају се у обзир физиолошки и анатомски фактори. Физиолошки фактори представљају стање респираторног система (здрав или оштећен неком болешћу), начин дисања, као и навике посматраног субјекта (пре свега: пушење). Навике дисања, на нос или на уста, зависе од врсте телесне активности. Тако се узима да при слабој до умереној физичкој активности, просечна особа дише на нос, док се приликом тежих напора делимично дише и на уста. Фракција F_n ваздуха, који се при једном удисају удахне искључиво кроз нос, опредељује неку особу да ли превасходно дише на нос или на уста. Вредности F_n за типичне врсте физичке активности дате су у табели 3.2.

Табела 3.2. Фракција ваздуха удахнутог кроз нос, F_n , при једном удисају [110]

Врста физичке активности	F_n	
	Носно дисање	Усно дисање
Спавање	1.0	0.7
Одмор	1.0	0.7
Лаке вежбе	1.0	0.4
Тешке вежбе	0.5	0.3

Вредности за F_n у табели 3.2. показују колики се део ваздуха удахне кроз нос, како код носног, тако и код дисања на уста. Тако износ 1.0 показује да се сав ваздух удише кроз нос, док вредност од 0.4 (за усно дисање) значи да се тада 40 % удише на нос, док се остатак удише на уста.

Како на физиолошке параметре битно утичу пол, узраст, као и врста физичке активности датог субјекта, у ICRP66 су спецификоване вредности ових параметара за шест старосних група опште популације, као и четири врсте физичких активности.

Старосне групе представљене су преко четири доба узраста деце: од 3 месеца, 1 године, 5 година и 10 година, и два доба одраслог узраста, за које се посебно наводе подаци за женски и мушки пол: узраст од 15 година, и одрасле особе. Ваља нагласити да се специфицирани подаци не односе стриктно само на ту животну доб, већ представљају средњу вредност између најмањих и највећих вредности датог параметра. Параметри су квантификовани на основу вишедеценијског праћења спирометријских вредности, добијени статистичко мобрадом, како за здраву популацију, тако и за особе оптерећене респираторним болестима.

Поред тидалног волумена V_T , запреминског протока дисања R_V , фреквенције дисања ν_R , у физиолошке факторе спадају и FRC (функционални резидуални капацитет - запремина ваздуха који остане у плућима после издаха) и вредност вентилације R_R , која се рачуна на следећи начин:

$$R_R = \frac{V_T \times \nu_R \times 60}{1000} \quad (3.10.).$$

Табела 3.2. Вредности анатомских и физиолошких параметара код плућне вентилације[110]

Р.Бр.	Животно доба	Пол	Физичка активност	V_T (m ³)	ν_R (min ⁻¹)	R_V (m ³ s ⁻¹)	FRC* (m ³)
1.	0-5	оба	Спавање	1,7 E ⁻²	23	1.33 E ⁻³	0,767
2.	0-5	оба	Седење	2.13E ⁻²	25	1.78 E ⁻³	0,767
3.	0-5	оба	Лаке вежбе	2.44 E ⁻²	39	3.17 E ⁻³	1.484
4.	5-10	оба	Спавање	3.04 E ⁻²	17	1.72 E ⁻³	1.484
5.	5-10	оба	Седење	3.33 E ⁻²	19	2.11 E ⁻³	1.484
6.	5-10	оба	Лаке вежбе	5.83 E ⁻²	32	6.22 E ⁻³	2.677
7.	10-15	М	Спавање	5 E ⁻²	14	2.33 E ⁻³	2.677
8.	10-15	М	Седење	5.33 E ⁻²	15	2.67 E ⁻³	2.677
9.	10-15	М	Лаке вежбе	10 E ⁻²	23	7.67 E ⁻³	2.677
10.	10-15	М	Тешке вежбе	13.52 E ⁻² ₂	36	16.22 E ⁻³ ₃	2.325
11.	10-15	Ж	Спавање	4.17 E ⁻²	14	1.94 E ⁻³	2.325
12.	10-15	Ж	Седење	4.17 E ⁻²	16	2.22 E ⁻³	2.325
13.	10-15	Ж	Лаке вежбе	9.03	24	7.22 E ⁻³	2.325
14.	10-15	Ж	Тешке вежбе	11.27 E ⁻² ₂	38	14.28 E ⁻³ ₃	3.301
15.	15-64	М	Седење+спав ање	7.5 E ⁻²	12	3 E ⁻³	3.301
16.	15-64	М	Лаке вежбе	12.50 E ⁻² ₂	20	8.33 E ⁻³	3.301

17.	15-64	М	Тешке вежбе	19.2 E ⁻²	26	16.70 E ⁻³	2.681
18.	15-64	Ж	Седење+спав ање	4.64 E ⁻²	14	2.17 E ⁻³	2.681
19.	15-64	Ж	Лаке вежбе	9.92 E ⁻²	21	6.94 E ⁻³	2.681
20.	15-64	Ж	Тешке вежбе	13.64 E ⁻²	33	15 E ⁻³	3.301
21.	>65	М	Спавање	6.25 E ⁻²	12	2.5 E ⁻³	3.301
22.	>65	М	Седење	7.5 E ⁻²	12	3 E ⁻³	3.301
23.	>65	М	Лаке вежбе	12.5 E ⁻²	20	8.33 E ⁻³	2.681
24.	>65	Ж	Спавање	4.44 E ⁻²	12	1.78 E ⁻³	2.681
25.	>65	Ж	Седење	4.64 E ⁻²	14	2.17 E ⁻³	2.681
26.	>65	Ж	Лаке вежбе	9.92 E ⁻²	21	6.94 E ⁻³	2.681

*

3.4. Алометријска метода у процени доза за општу популацију

3.4.1. Формулација проблема

На слици 3.2. је приказан константан унос ваздуха у плућа; под претпоставком да постоји равнотежа (равнотежни фактор F=1), I₀ⁱ улазни ток је константан и може се представити као:

$$I_0^i = \frac{B_R A_i}{\lambda_i} \quad (3.11.),$$

где је:

i - индекс радионуклида који иде од 1 до 5 за ²²²Rn, ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi и ²¹⁴Po, респективно

A_i - активност радионуклида i [Bqm⁻³]=A₁ (претпоставка секуларне равнотеже)

B_R - стопа дисања [m³s⁻¹] (тидални волумен x фреквенција дисања)

λ_i - константа распада радионуклида i [s⁻¹].

Из овога следи диференцијална једначина целог система:

$$\frac{dN_i}{dt} = I_0^i - \lambda_i N_i = \frac{B_R A_i}{\lambda_i} - \lambda_i N_i \quad (3.12.).$$

Интеграљењем ове диференцијалне једначине добија се следећи израз:

$$-\lambda_t = \int_0^t \frac{dN_i}{N_i - \frac{B_R A_i}{\lambda_i^2}} \Rightarrow N_i(t) = \frac{B_R A_i}{\lambda_i^2} (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (3.13.)$$

Следеће што треба урадити јесте израчунавање количине енергије деповане у плућима за сваки радоновог потомак i ($i=2-5$):

$$\dot{D}_i = \frac{N_i(t) \lambda_i E_i^\alpha}{M_T} \quad (3.14.)$$

Где је:

i - индекс радионуклида

\dot{D}_i - апсорбована доза [Gys^{-1}]

$N_i(t) \lambda_i - N_i$ (A_i у једначини 3.10)

M_T - маса осетљивог ткива = $\rho_T \times S_T \times h_T$ [m^3];

E_i^α - укупна емитована енергија потомака $^{210}Pb = \sum_{j=i}^5 \varepsilon_j^\alpha$ [J]

ε_j^α - енергија α распада радионуклида

Комбиновањем једначина: 3.7, 3.12. и 3.13. добија се следећи израз:

$$D_i = \frac{B_R A_i E_i^\alpha}{\lambda_i \rho_T S_T h_T} (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (3.14)$$

Где је:

B_R - стопа дисања [$m^3 s^{-1}$]

A_i - активност радионуклида i [$Bq m^{-3}$]

ρ_T - густина ткива = $10^3 kg m^{-3}$

S_T - површина трахеобронхијалне површине [m^2]; интерес овог рада су дозе примљене у трахеобронхијалном стаблу без трахее, која није нарочито осетљива на радиоактивну експозицију. Овде се сабира бронхијална површина (од прве до осме генерације) и бронхиоларна површина (од девете до петнаесте генерације) = $2.9 \times 10^{-2} + 2.4 \times 10^{-2} m^2 = 2.69 \times 10^{-1} m^2$ за људе.

h_T - активна дубина осетљивог ткива ; висина (m) људског бронхијалног епитела (без цилија) је $5.5 \times 10^{-5} m$, док је за бронхиоле $1.5 \times 10^{-5} m$ [111].

Укупна доза се, дакле, рачуна као збир доза свих потомака:

$$\dot{D} = \sum_{i=2}^5 \dot{D}_i = \frac{B_R}{\rho_T S_T h_T} \sum_{i=2}^5 \frac{A_i E_i^\alpha}{\lambda_i} (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (3.15.)$$

Пошто ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , и ^{214}Po имају кратка времена полураспада, константе распада имају велике вредности, па и $\lambda_i t$ има велику вредност; у

почетку, и овде је потребно применити одговарајући израз, под условом да је систем у прелазној равнотежи : $1 - e^{-\lambda_i t} \approx 1$ и $A_1 = A_i = 2-5$.

$$\dot{D}_i = \frac{B_R}{\rho_T S_T h_T} \sum_{i=2}^5 \frac{A_i E_i^\alpha}{\lambda_i} = \frac{B_R A_1}{\rho_T S_T h_T} \sum_{j=2}^5 \frac{1}{\lambda_j} \sum_{i=1}^5 \varepsilon_i^\alpha = \frac{B_R A_1 D_P^\alpha}{\rho_T S_T h_T} = \frac{F B_R E E_{Rn} D_P^\alpha}{\rho_T S_T h_T} \quad (3.16.),$$

где је сума $\dot{D}_P^\alpha = \sum_{j=2}^5 \frac{1}{\lambda_j} \sum_{i=1}^5 \varepsilon_i^\alpha$ потенцијал α енергије краткоживећих радонових потомака у прелазној равнотежи, и где је A_1 активност гаса радона = $F \times EER$. Потенцијална α енергија се рачуна из следеће табеле:

Табела 3.3. Рачунање потенцијалне α енергије по Bq за потомке радона

i	Изотоп	λ_i (s ⁻¹)	ε_i (J)	$\sum_{j=1}^5 \varepsilon_j^\alpha$ (J)	$\frac{1}{\lambda_i} \sum_{j=1}^5 \varepsilon_j^\alpha$ (JBq ⁻¹)
1	²²² Rn	2.10E-06	8.78E-13	3.07E-12	1.46E-06
2	²¹⁸ Po	3.73E-03	9.60E-13	2.19E-12	5.87E-10
3	²¹⁴ Pb	4.31E-04	0.00E+00	1.23E-12	2.85E-09
4	²¹⁴ Bi	5.86E-04	0.00E+00	1.23E-12	2.10E-09
5	²¹⁴ Po	4.23E+03	1.23E-12	1.23E-12	2.91E-16
$\sum_{j=2}^5 \frac{1}{\lambda_j} \sum_{i=1}^5 \varepsilon_i^\alpha = 5.54E-09$					

DPUC се добија када горњу једначину поделимо са активношћу ²²²Rn:

$$DPUC = \frac{\dot{D}}{A_{Rn}} = \frac{B_R D_P^\alpha}{M_T} = 5.54 \times 10^{-9} \frac{B_R}{M_T} \quad (3.17.).$$

Ако је потребно рачунати еквивалентне дозе, једначину треба помножити са жељеним тежинским фактором за α - енергију (R_{WF}^α , подразумевано = 20).

Тотална апсорбована доза би онда приближно била $D = DPUC \times A_{Rn} \times T$.

3.4.1. Примена алометријске методологије за рачунање доза

Комбинацијом једначине 3.17. са једначинама 3.5-3.9 добиће се следећи изрази:

$$\begin{aligned}
 DPUC_B &= F_U R_{WF}^\alpha \left(\frac{D_P^\alpha A_{BR}}{\rho_T h_T S_B^{RM}} M_{RM}^{2/3} \right) M^{B_{BR} - \frac{2}{3}} \\
 DPUC_{TB} &= F_U R_{WF}^\alpha \left(\frac{D_P^\alpha A_{BR}}{\rho_T h_T S_{TB}^{RM}} M_{RM}^{2/3} \right) M^{B_{BR} - \frac{2}{3}} \\
 DPUC_L &= F_U R_{WF}^\alpha \left(\frac{D_P^\alpha A_{BR}}{A_{LM}} M_{RM}^{2/3} \right) M^{B_{BR} - B_{LM}} \\
 DPUC_{WB} &= F_U R_{WF}^\alpha (D_P^\alpha A_{BR}) M^{B_{BR} - 1} \quad (3.17. a-d),
 \end{aligned}$$

где је:

F_U - фактор конверзије јединица ($3.6 \times 10^9 \mu\text{Gy h}^{-1}$ по Gy s^{-1});

BR - бронхијални епител

TB - цео трахеобронијални епител

L - цела плућа

WB - цело тело

$A_{BR}(A_{LM})$ - (такође и $V_{RB}(V_{LM})$) - база и експонент алометријске формуле за стопу дисања и масу плућа у једначинама 3.8, 3.7. респективно.

S_{TB}^{RM}, S_B^{RM} - површина трахеобронхијалног стабла или бронхијалног епитела

R_{WF}^α - радијациони тежински фактор за α енергију (подразумевано = 20).

3.4.2. Одређивање дозе код биљака

Према Хиглију и Бајтверку, стопа потрошње хранљивих материја код биљака је, као и код животиња, сразмерна у односу на њихову масу. Међутим, ово је оповргнуто радovima који су засновани на подацима добијеним из око 500 лабораторија и биљкама са терена. Испитивано је 43 врсте и предложен је модел у коме су стопе дисања приближно изометричне са укупном масом биљке [111-114].

Користећи податке из Табеле 3.1. могу се израчунати односи за стопу респирације код биљака. Најпре је потребна информација о стопи респирације (мерено је као нето CO_2 ефлукаса и nmol CO_2 и s^{-1}) као функцији суве масе (g). Одавде се добија просечна основа (1.19) и

експонент (1.02) функције. Цео сет података који покрива разноврсне биљке је искористићен за добијање читавог спектра зависности за израчунавање једначине \log_{10} (укупна стопа респирације у $\text{nmol CO}_2\text{s}^{-1}$) = експонент $\times \log_{10}$ (сува маса, g) + \log_{10} (база). Следеће што треба урадити јесте конвертовање у одговарајуће јединице користећи: (а) конверзиони фактор од $2.5 \times 10^3 \text{ mol}$ -а ваздуха по молу CO_2 , (б) генерички однос влажне и суве масе у односу од пет; (в) моларна запремина од 22.4 l. Из овога следи формула укупне стопе респирације биљке:

$$BR_{\text{биљке}} (m^3 s^{-1}) = 1.95 \times 10^{-4} M (kg)^{1.02} = A_{PL} M^{B_{PL}} \quad (3.18.).$$

Код биљака нема смисла посматрати епител бронхија као циљно ткиво, с обзиром на то да оне немају такву структуру. Уместо тога, може се претпоставити да је површина целе биљке систем који је задужен за размену гасова са атмосфером. Фрактални биолошки модели предвиђају да је спољна површина листова сразмерна $3/4$ укупне површине биљке [115,116].

Са становишта методологије зрачења и дозиметрије, биљке (као што су лишајеви, маховина, дрвеће, трава, клијало семе и гљиве) су веома издужена елипсоидна тела, апстрахована репрезентација "еквивалентних цилиндара" која радије репрезентује сегмент корена него целе биљке. Доза од стране радионуклида у земљишту испоручује се путем трансфера кроз ћелијске зидове корена. Овакав вид репрезентације је неподобан за радионуклиде у гасном стању, али се, уз одређене апроксимације, дозе за биљке могу рачунати, под претпоставком да домет алфа честица одређује дубину озраченог ткива у зидовима корена.

Референтни организам се може посматрати као издужени елипсоид са главном осом L и идентичним мањим осама a=b. Запремина оваквог елипсоида је:

$$V_{\text{elipsoid}} = \frac{1}{6} \pi L a^2 = \text{запремина "еквивалентног цилиндра"} V_{\text{цилиндра}} = \pi R^2 L ;$$

па је пречник еквивалентног цилиндра $R = \frac{a}{\sqrt{6}}$. Циљно ткиво се може моделовати као запремина између два преклапајућа цилиндра полупречника r и r+h_t респективно и дужине L. Користећи једначину 3.3., маса критичног ткива mt се може изразити као функција укупне масе организма M:

$$m_T \approx \sqrt{\frac{2}{3}} \pi \rho a L h_t = 2\sqrt{6} \frac{h_t}{a} M \quad (3.19)$$

Заменом једначина 3.18. и 3.19. у једначини 3.1. добија се крајњи израз за DPUC биљака.

$$DPUC_{\text{ткливо биљке}} = F_U R_{WF}^\alpha = \frac{A_{PL} a M^{B_{PL}-1}}{2\sqrt{6} h_t} D_P^\alpha = 1.44 \times 10^1 a \quad (3.20.),$$

где је:

D_P^α - фактор потенцијалне α - енергије $5.54 \times 10^{-9} \text{ J Bq}^{-1}$

A_{PL} - алометричка база за стопу респирације код биљака, $1.95 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

a - мања оса елипсоида у метрима (ако су две мање осе диспропорционалне, узима се њихова аритметичка средина)

h_T - дубина осетљивог ткива $= 5.5 \times 10^{-5} \text{ m}$

F_U - конверзиони фактор ($3.6 \times 10^9 \text{ } \mu\text{Gy h}^{-1}$ по Gys^{-1})

R_{WF}^α - дозни тежински фактор за α зрачење (подразумевано = 20).

Ако се претпостави да је цела биљка заправо површина која врши измену гасова са спољном средином, онда се може предвидети и DPUC за целу биљку у μGy по Bqsm^{-3} са извесним апроксимацијама, под условом да је маса константна.

$$DPUC = F_U R_{RW}^\alpha \frac{B_R D_P^\alpha}{M} = 1.99 \times 10^1 R_{WF}^\alpha A_{PL} M^{B_{PL}-1} \approx 3.88 \times 10^{-3} R_{WF}^\alpha \quad (3.21.).$$

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

4. Материјали и методе

Постоји широк спектар разних уређаја, мерних комплета, инструмената и др. за мерење радона и његових краткоживећих потомака. Већина мерних метода за радон и његове потомке заснива се на детекцији α -честица, као и мерењу γ -зрачења, док се мерење β -зрачења мало користи.

Методе се разликују по начину и трајању узорковања, па се може говорити о тренутном и дуговременском узорковању.

Код тренутног узорковања вредност концентрације се добија за одређени тренутак.

Код дуговременских мерних техника добија се средња вредност концентрације радона у једном дужем временском интервалу, и ове технике су погодније за процену радијационог здравственог ризика.

Уколико се користе уређаји који користе извор напајања струјом, говори се о активним мерним техникама.

Уколико се при оваквом мерењу не користе активне електричне компоненте, онда су то пасивне мерне технике.

У оквиру ове тезе мерења активности радона и потомака у ваздуху вршена су активно краткорочно и дугорочно помоћу Safety Siren Pro 3 детектора, и пасивно дугорочно, чврстим CR-39 траг детекторима.

4.1. Активне мерне технике

4.1.1. Safety Siren мерни уређај

Постоји више врста електронских детектора за континуално мерење концентрације радона, као што су: Alphaguard (Saphymo GmbH), Rad7

(Durridge Co.), RTM-2100 (Sarad GmbH) i Safety Siren (Family Safety Products Inc.).

Прва три детектора су врхунски уређаји који користе софистицирани софтвер за обраду података, док је Safety Siren јефтинија варијанта без икаквог софтвера .

Safety siren за детекцију радона користи пулсну јонизациону комору као и врхунски Alphaguard.

Уређај користи силиконску јонизациону комору (алфа спектроскопија) за континуално мерење радона, и погодан је за мониторинг концентрација до 9999 Bq m^{-3} [117]. Изглед уређаја приказан је на слици 4.1., а његове техничке спецификације у табели 4.1.



Слика 4.1.Safety Siren Pro детектор радона

Табела 4.1. Техничке карактеристике Safety Siren Pro детектора

Радно напајање	120V, 60Hz, 6.5. W
Улаз за детектор гаса	18VDC, 200 mA
Волтажа сенора	250 VDC
Тип сензора	Јонизациона комора
Опсег читавања	0-999 Bq m^{-3}
Услови радне средине	0-40°C
Фреквенција читавања	сат времена
Краткорочно мерење	7 дана
Дугорочно мерење	Подаци остају у меморији до 5 година
Тачност	$\pm 20\%$, $\pm 37 \text{ Bq m}^{-3}$

4.1.2. Одређивање екshalације радона методом затворене посуде

Одређивање ескхалације радона заснива се махом на затварању или покривању узорка. Постоји велики варијатет сличних метода, а за потребе овог истраживања коришћена је метода затворене посуде.

Концентрација радона унутар посуде може се приказати следећом једначином масеног трансфера:

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda C - \lambda_v C - \lambda_b C + \frac{E_0 A}{V} + \lambda_v C_0 \quad (4.1.).$$

Лева страна једначине представља стопу промене концентрације радона у посуду. Прве три величине са десне стране представљају губитак радона услед природног распада, цурења из посуде и стопе повратне дифузије. Последња два члана представљају стопу ослобађања радона из извора, као и доток радона из спољашње средине у посуду.

Решење горње једначине је:

$$C = \frac{E_0 \frac{A}{V} + \lambda_v C_0}{\lambda + \lambda_v + \lambda_b} [1 - e^{-(\lambda + \lambda_v + \lambda_b)t}] \quad (4.2.),$$

док је једначина равнотежне концентрације радона:

$$C_\infty = \frac{E_0 \frac{A}{V} + \lambda_v C_0}{\lambda + \lambda_v + \lambda_b} \quad (4.3.)$$

4.1.2.1. Стопа цурења радона из посуде λ_v

Стопа или коефицијент цурења може се описати као одређен степен вентилације посуде λ_v [h^{-1}], односно слободна размена гасова са спољном средином услед пукотина или процепа на посуду. Коефицијент цурења превасходно зависи од начина израде посуде: што је заптивеност боља, коефицијент ће бити мањи.

Понашање распада радона C_L (укључујући и цурење) може се приказати као:

$$\frac{dC_L}{dt} = -(\lambda - \lambda_v)C + \lambda_v C_0 \quad (4.4.).$$

Решење једначине по C_L је :

$$C_L = \left[C_b - \frac{\lambda_v C_0}{\lambda + \lambda_v} \right] e^{-(\lambda + \lambda_v + \lambda_b)t} + \frac{\lambda_v C_0}{V(\lambda + \lambda_v)} \quad (4.5.),$$

где је C_b иницијална концентрација радона у посуди.

Иницијални нагиб криве распада радона (са цурењем) је [118]:

$$M_L = \frac{dC_L}{dt_{t \rightarrow 0}} = -(\lambda + \lambda_v) \left[C_b - \frac{\lambda_v C_0}{\lambda + \lambda_v} \right]$$

$$M_L = -C_b \lambda - \lambda_v (C_b - C_0) \quad (4.6.).$$

Идеална крива распада радона у посуди не укључује коефицијент цурења и представља се следећом једначином:

$$C_I = C_b e^{-\lambda t} \quad (4.7.).$$

Иницијални нагиб за идеалну криву M_I одређује се из следеће релације:

$$M_I = \frac{dC_I}{dt_{t \rightarrow 0}} = -C_b \lambda \quad (4.8.).$$

Из једначина 4.7. и 4.8. стопа цурења је једнака:

$$\lambda_v = \frac{M_I - M_L}{C_b - C_0} \quad (4.9.).$$

4.1.2.2. Стопа повратне дифузије λ_v

Повратна дифузија је феномен који се јавља на самом почетку експеримента. Одмах након затварања посуде, велика је вероватноћа да се радон који се у том тренутку ослобађа из материјала дифундује назад у узорак [119].

Нагомилавање радона је описано једначином 4.2. Диференцирањем једначине 4.2., када време тежи нули, добија се једначина која описује иницијални нагиб нагомилавања радона у посуди, M_e :

$$M_e = \frac{dC}{dt_{t \rightarrow 0}} = E_0 \frac{A}{V} + \lambda_v C_0 \quad (4.10.).$$

Једначина 4.3. се другачије може писати и као:

$$E_0 \frac{A}{V} + \lambda_v C_0 = C_\infty (\lambda + \lambda_v + \lambda_b) \quad (4.11.)$$

Из једначина 4.10. и 4.11. добија се:

$$M_e = C_\infty (\lambda + \lambda_v + \lambda_b) \quad (4.12.).$$

Када се једначина 4.12. реши по λ_b , добија се:

$$\lambda_b = \frac{M_e}{C_\infty} - (\lambda + \lambda_v) \quad (4.13.).$$

Једначина 4.13. илуструје зависност степена повратне дифузије од односа запремина узорка и запремине посуде.

4.1.2.3. Стопа ексхалације Е

Стопа ексхалације E_0 дефинисана је као количина активности радона ослобођена са одређене површине материјала по јединици времена [$Bq\,m^{-2}h^{-1}$]

Из једначине 4.3., стопа ексхалације се директно изражава као

$$E_0 = (C_\infty (\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} \quad (4.14.),$$

где се равнотежна концентрација радона одређује директно коришћењем коефицијената λ_v и λ_b .

Након израчунавања ексхалације из материјала, могуће је израчунати и масену ексхалацију применом формуле

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} \quad (4.15.),$$

као и ефективни садржај радијума у узорку, применом формуле

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} \quad (4.16.).$$

4.1.2.4. Испитивани материјали

За потребе овог истраживања мерена је ексхалација из разних материјала који су представљени у табели 4.2., заједно са карактеристикама релевантним за израчунавање њихове ексхалације.

Гранит је дубинска магматска стена која настаје хлађењем и учвршћењем ужарене магме у унутрашњости Земље; самим тим, широко је распрострањена у земљиној кори. С обзиром на то да је један од најтврђих и најотпорнијих материјала, често се користи у грађевинарству. Најстарије гранитне стене налазе се у Шведској, Британији и Аризони. Поред ових налазишта, комерцијално вредни каменоломи гранита налазе се још и у Финској, Бразилу, Индији, Италији и Јужној Америци.

Гранити који су испитивани у овој дисертацији су комерцијално доступни у Србији, и као такви се користе за израду подова, радних површина, кухињских елемената и сл. у резиденцијалним објектима.

Поред гранита, испитиване су и неке од магматских, седиментних и метаморфних стена са подручја планина Јастребац и Копаоник.

Јастребац се налази јужно од Крушевца и западно од Ниша. То је родопска планина источно од динарског Копаоника. Јастребачки хорст је упореднички издужен 45 km и чине га Велики и Мали Јастребац, изграђени од шкриљаца. То је планина средње величине, како по висини (највиши врх Велика Ђулица висок је 1491 m), тако и по простору који заузима. Јастребац је врло стара планина, постојао је још у терцијару и издигао се из терцијарног мора као велико острво. У време настајања Алпа, Карпата и Динарида догодиле су се велике промене на њему: издигао се средишњи део, а северни и јужни су се спустили. Геолошки састав је разноврстан: преовлађују ниско метаморфисани шкриљци, магматски грандиорити и кластичне седиментне стене.

Копаоник је највећа планина централне Србије. Дуг је око 80 км, ширине до 10 км, са правцем пружања север-југ. На југу се пружа од Косовске

Митровице и иде на север до Јошањичке реке. Његова западна граница је дубоко усечена долина Ибра, а на истоку је омеђен долинама Расине и Тошлице. Копаоник је сложене геолошке грађе, разноликог минералошко-литолошког састава, са интензивном вулканском активношћу и тектонским кретањима. Према савременим схватањима базираним на теорији о тектоници плоча, основи за интерперетацију геолошких процеса, Копаоник припада сложеном терену вардарске зоне и захвата подручје између краљевачког терцијарног басена на северу, долине Ибра на западу, потеза Врњачка Бања-Брзеће на истоку, са исклињавањем на југу северно од Приштине. Најстарије стене копаоничког блока су карбонски седименти метаморфисани у фацији зелених шкриљаца, а преко њих трансгресивно леже тријаски седименти. Знатан део Копаоника чине серпентинисане ултрабазичне, које су дошле из најдубљих делова Земље, океанске литосфере и горњег омотача. Тектонски најсложеније су стене офиолитског меланжа, везане за затварање вардарског океана тј. субдукционе зоне. Преко њих трансгресивно леже кредни флишни седименти [120]. Интензиван магматизам на овим просторима дешавао се у току олигоцене [121]. Интродовани су гранодиорити, а на површини су изливени дацити и андезити, богати минерализацијама Pb и Zn.

Табела 4.2. Испитивани материјали са релевантним карактеристикама

р.Бр.	Назив материјала	Порекло, налазиште	Површина материјала	Маса материјала
Врста: Гранити и магматске стене				
1.	Неро Асолуто	Индија	0.9	0.867
2.	Африка црвени	Африка	0.9	1.345
3.	Копаонички гранит	Копаоник, Србија	0.9	0.73
4.	Импала	Јужна Африка	0.9	0.821
5.	Јабланички гранит	Јабланица, Србија	0.9	0.95
6.	Зимбабве	Африка	0.9	0.623
7.	Бенгал	Индија	0.9	0.92
8.	Балктички браон	Финска	0.8	0.82
9.	Белфаст црни	Јужна Африка	0.8	0.92
10.	Белфаст светли	Јужна Африка	0.75	1.212
11.	Белфаст медиум	Јужна Африка	0.5	0.78
12.	Белфаст рефлектор	Јужна Африка	0.8	0.64
13.	Сантјаго браон	Сједињене Америчке Државе	0.9	0.87
14.	Росабета	Сардинија, Италија	0.9	0.64
15.	Рособалморал	Финска	0.9	1.23
16.	Кинава класико	Бразил	0.8	0.95
17.	Парадисо класико	Индија	0.7	0.967
18.	Империал црвени	Индија	0.65	0.874
19.	Бианко сардо	Италија	0.9	1.132
20.	Јупарана африка	Африка	0.7	0.984
21.	Парадисо пинк	Индија	0.8	0.845
22.	Парадисо	Бразил	0.8	0.765

	колибри			
23.	Росо сантиаго	Украјна	0.7	0.621
24.	Тропикал гуарана	Индија	0.65	0.8
25.	Росасардо	Италија	0.7	0.86
26.	Гранодиорит	Јастребац	0.9	0.5
27.	Гранодиорит	Копаоник	0.9	0.42
28.	Гранитоидне стене	Копаоник	0.9	1.3
29.	Гранитоидне стене	Јастребац	0.9	1.421
30.	Биотитски гранит планпаралелне структуре	Јастребац	0.9	0.862
Врста: Метаморфне и седиментне стене				
31.	Доломитски мермер	Копаоник	0.9	0.962
32.	Пешчар	Јастребац	0.9	0.6
33.	Филит	Јастребац	0.9	0.7
Врста: Чести грађевински материјали				
34.	Бетон	Локације 1,2,3 и 4.	0.9	0.6
35.	Подне плочице(више произвођача)	Комерцијално добављене	0.7	0.65
36.	Сипорекс блок (више произвођача)	Комерцијално добављен	0.9	0.54
37.	Печена цигла пуна (више произвођача)	Комерцијално добављена	0.9	0.962
38.	Глинени блок (више произвођача)	Комерцијално добављен	0.9	0.654
39.	Глинени преп (више произвођача)	Комерцијално добављен	0.9	0.623
40.	Гипс (више произвођача)	Комерцијално добављен	0.9	0.3

4.1.3. Краткорочно мерење концентрације радона у резиденцијанним објектима

4.1.3.1. Зависност концентрације радона од степена вентилације

Већина зграда у Србији које су изграђене од 1950. до 1980. године имају склоништа од масивног чврстог бетона и челичних врата.

Склоништа могу служити за заштиту од атомских експлозија или хемијског оружја. У мирнодопским условима и данашњици, нека од њих се користе као продавнице намештаја, теретане, клубови и сл. Стандардно склониште може садржати масу од око 35 тона бетона, са типичним активношћу ^{226}Ra од 40 Bqkg^{-1} [122,123].

Ова маса бетона може повећати концентрацију радона у склоништу због ексхалације од грађевинског материјала. Објављене вредности ексхалације из бетона у САД и Европи варирају од 0,5 (- 30) $\text{Bq}^{-2}\text{h}^{-1}$ [124,125].

Врше се два активна краткорочна мерења у атомским склоништима која се налазе у саставу стамбене зграде у Крушевцу, у улици Драгомира Гајића 12 и 10.

Склоништа су испод нивоа улице и састоје се од четири собе са челичним вратима, која су била широко отворена најмање 20 година, и која су остала отворена током прве фазе експеримента.

Врата се могу херметички затворити, и тада вентилација тежи нули. Након успостављања устаљених вредности (48-72 часа), нивои радона се прате активно, краткорочно током 7 дана.

Након добијања података, сва врата се херметички затварају и обавља се још једно мерење у трајању од 14 дана, те утврђује да ли долази до повећања концентрације радона у просторији када је вентилација у потпуности елиминисана.

Оба склоништа имају идентичан распоред просторија и идентичну архитектуру.



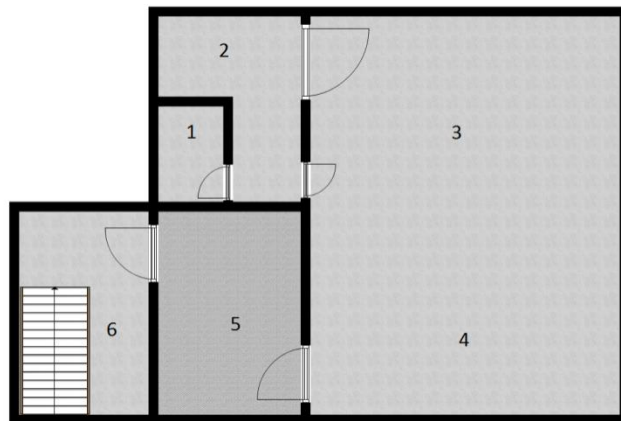
Слика 4.2. Локације склоништа

4.1.3.2. Просторно мапирање радона у резиденцијалном објекту

Мерење се обавља дугорочно, активно.

У сваку од просторија поставља се по један или више детектора.

Након успостављања устаљених вредности (48-72 часа), нивои радона се прате активно, континуирано током 30 дана.



Слика 4.3. Приказ просторија склоништа као и распоред активних детектора

1. WC (једина размена ваздуха са околином се одиграва кроз врата, која су затворена током већег дела дана)
2. Помоћна просторија (константан проток ваздуха између просторије 3 и 4)
- 3 и 4. Главна соба (детектор 4 се поставља ближе вратима како би се утврдило да ли је и колико концентрација радона нижа од дела 3)
5. Предсобље (несметан проток ваздуха са 6 и 4)
6. Улаз у склониште (велика размена ваздуха са спољном средином)

4.1.3.3. Вертикална дистрибуција радона у просторијама

Мерење се обавља дугорочно, активно.

Детектори се постављају на следећим висинама: 0.5 m, 1.5 m, 1.9m.

Након успостављања устаљених вредности (48-72 часа), нивои радона се прате активно, континуирано током 30 дана.

4.1.3.4. Сезонске варијације концентрације радона

Због изражених сезонских варијација нивоа концентрације радона у затвореном простору, неопходно је измерити концентрације током годишњих доба како би се правилно одредиле дозе.

Мерење се обавља дугорочно, активним техникама.

Детектор се поставља на висину од 1.5 m.

Након успостављања устаљених вредности (48-72 часа), нивои радона се прате активно, континуирано током 30 дана.

Промене концентрације радона се прате читаве године.

4.2. Пасивне мерне технике

Поред активних мерних техника, постоје и пасивне мерне технике, које су погодније за естимацију примљених радијационих доза у резиденцијалном објекту или радном месту.

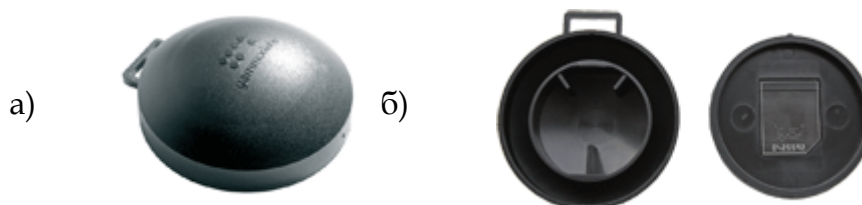
Када се говори о пасивним дугорочним техникама, подразумева се праћење концентрација радона у дужем временском периоду (два месеца и дуже).

Када се говори о пасивним краткорочним техникама, подразумева се праћење концентрација радона у краћем временском периоду (до месец дана).

4.2.1. Landauer alpha track детектор

Постоји мноштво алфа детектора различитих произвођача за пасивно мерење концентрације радона, као што су: *Alpha Track AT-100 (AccuStar)*, *Alpha-track Radon Detector (RSSI's)*, *Neutrack (Landauer)* и други.

За потребе овог експеримента изабран је Landauer детектор. Изглед овог детектора приказан је на слици 4.4., док су његове карактеристике приказане у табели 4.3.



Слика 4.4. Изглед *Landauer* алфа траг детектора - а) затворен детектор, б) отворен детектор

Пречник детектора износи 58 mm (63 mm са носачем), док дебљина износи 20 mm (33 mm са штитаљком).

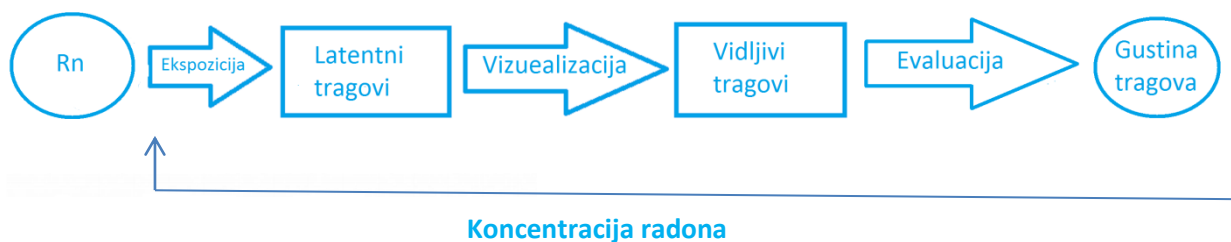
Табела 4.3. Техничке спецификације *Landauer* алфа траг детектора

Употреба детектора	Стамбени/радни објекти као дозиметар
Опсег мерења ($Bq m^{-3}$)	20-25 000 на 3 месеца
Мерни опсег ($kBq h m^{-3}$)	0-25 000
Нормална дужина експозиције (дани)	7-30
Непоузданост мерења(%)	6% на $400 kBq h m^{-3}$ (3 месеца на $200 Bq m^{-3}$)
Основа непоузданости	1 sd
Тип држача	Затворен, са филтером
Дизајн држача	NRPB/SSI (црни)
Антистатичке мере	Проводник електрицитета
Материјал детектора	CR-39/PADC
Осетљивост детектора (трагова по $cm^{-2} kBq^{-1} h^{-1} m^{-3}$)	2,4
Уобичајено позадинско зрачење ($kBq h m^{-3}$)	5
Стандардна девијација при позадинском зрачењу ($kBq h m^{-3}$)	8

Чврсти траг-детектори α -честица из распада радона користе се за мерење концентрације радона током дужег временског периода. Траг детектор је пластични материјал у коме α -честице настале распадом остављају траг. Пут који α -честица емитована са неког нуклида у ваздуху прелази и доспева до детектора је домет честице, R. Најчешће се као детектор користи полимер CR-39 (polyallyl diglycal carbonate), који осетљивом структуром омогућава да се региструју честице у широком енергетском интервалу. Детектор се налази на крају дозиметарске коморе чија величина одговара домету, и на тај начин омогућава максималну детекцију створених α -честица у што краћем временском року.

Принцип рада овог детектора приказан је на слици 4.5., где се уочавају следеће фазе [126]:

1. Детектор се експонира зрачењу које потиче од радона-Rn
2. Услед дејства тог зрачења на детектор добијају се латентни трагови
3. Хемијским нагризањем ти трагови се фиксирају и постају видљиви
4. Бројањем видљивих трагова одређује се њихова густина и најзад, као повратна информација, добија се концентрација активности радона.



Слика 4.5. Принцип рада траг детектора CR-39

4.2.2. Механизми формирања трагова, методологија читавања трагова

Нагрижени трагови посматрани су на мноштву материјала. Ови материјали су углавном полимери, минерални кристали и слаби полупроводници. Заједничко и најбитније својство свих ових материјала је да су они изразито диелектрични.

Слободни електрони у металима уништавају латентне трагове који су формиран од стране инцидентних јона у процесу рекомбинације са јонским празнинама материјала пре процеса хемијског нагризања. Гранични отпор испод кога нема сврхе гледати трагове је емпиријски одређен и износи 2000 Ωcm . Остали критеријуми и теоријски модели за механизме формирања трагова ближи су физичкој реалности и засновани су на интеракцијама честица под набојем и материјала.

Губици енергије проузроковани од стране инцидентних јона су резултат интеракција са електронима и језгрима самог материјала. За јоне са енергијама већим од 1 MeV нуклеарни губици су мали у поређењу са електричним губицима. С друге стране, тешки јони углавном губе енергију кроз Куломбове (Coulomb) интеракције са орбиталним електронима циљаних атома. Ове интеракције су описане у Bethe-Block формули [127]:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right) = \frac{C_1 Z^{*2}}{\beta^2} \left[\ln \left(\frac{W_{max}^2}{I^2} \right) - 2\beta^2 - \delta - U \right] \quad (4.17).$$

где је:

$C_1=2\pi n_e e^4$, при чему је:

n_e - концентрација електрона,

m - маса електрона,

W_{max} - максимум трансфера енергије,

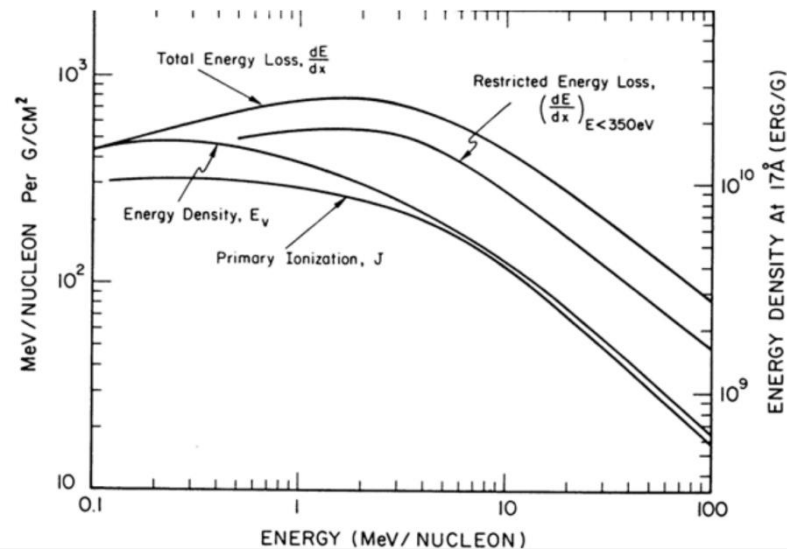
$\beta=v/c$ - брзина јона,

I - средњи потенцијал јонизације,

δ - корекција поларизационог ефекта на медијум за релативну брзину,

U - корекција за мале брзине.

Првобитно објашњење формирања трагова је било да њихово формирање зависи од количине енергије депоноване по јединици дужине. Укупни губици енергије (dE/dx) у интеракцији са електронима су у функцији енергије јона и имају карактеристичан облик (слика 4.6.).



Слика 4.6. Различити критеријуми формирања трагова у функцији енергије тешких јона

Овај облик је у директној вези са емпиријски посматраном критичном вредношћу (dE/dx)с. Када (dE/dx) премаши ову критичну вредност, трагови се формирају. Овај приступ није било могуће одбранити у областима високе енергије, где се формира велики број високоенергетских δ електрона. Ови електрони одузимају узимају већи део примљене

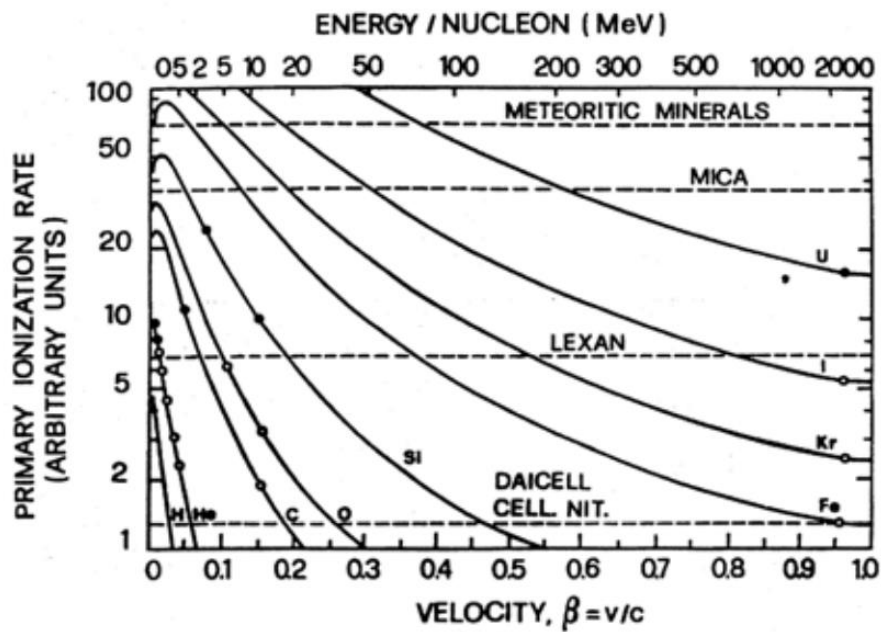
енергије из области трагова, који се због тога и губе при процесу хемијског нагризања.

Из ових разлога, разни аутори су предложили моделе у којима би формирање трагова зависило од разних параметара.

Један од ових параметара је и број примарних јонизација направљених у путањи кретања јона. Релација за примарну јонизацију J , заснована је на Bethe-Bloch формули:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right) = \frac{C_1 Z^{*2}}{I_0 \beta^2} \left[\ln \left(\frac{W_{max}^2}{I_0} \right) - \beta^2 - \delta - U \right] \quad (4.18.)$$

На слици 4.7. приказана је примарна јонизација J за различите јоне и енергије јона као и праг детекције за одређене детекторе.



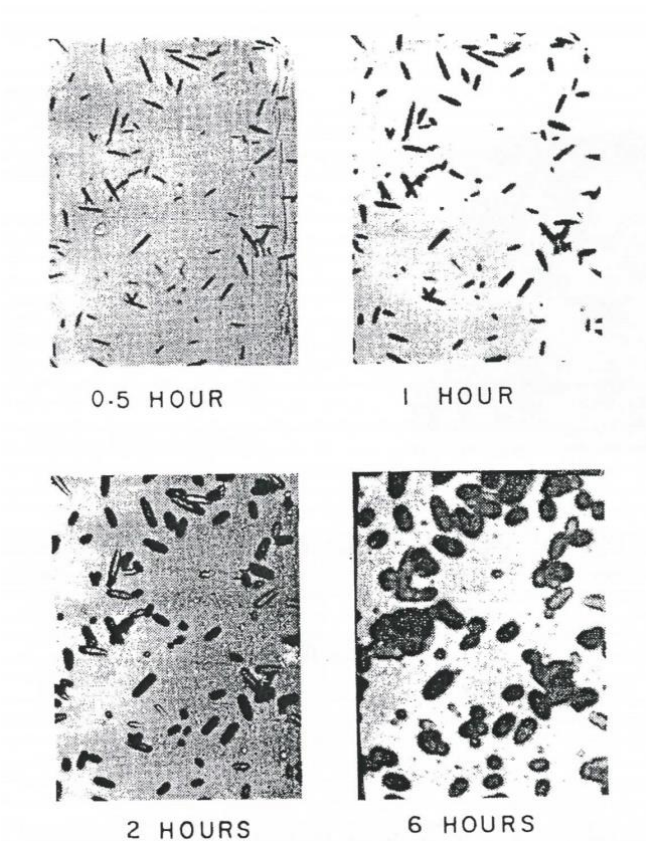
Слика 4.7. Примарна јонизациона енергија (брзина) у функцији брзине тешких јона

Трагови формирано од стране тешких јона су веома мали (десети део nm у пречнику). Ови латентни трагови се једино могу видети под електронским (ТЕМ, SEM, itd.) микроскопом.

Количина оштећења, а самим тим и величина трагова, зависи од брзине линеарног енергетског трансфера (LET) наелектрисане честице дуж

трајекторије. Облик и дијаметар нагрижености зависе од два параметра: нагризајућих карактеристика пластичне средине означених као њихова брзина нагризања (V_B) и брзине нагризања трагова (V_T) за дати нагривач, коришћен под одговарајућим условима: тип, моларност и температура нагривача, и представља одговарајућу карактеристику интеракције наелектрисаних честица са средином, дуж путање. Однос ове две брзине је дат изразом: $V=V_T/V_B$, и представља битан фактор за одређивање карактеристика нагризања.

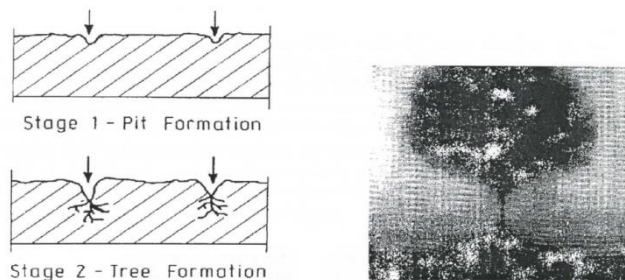
Величина и облик трагова зависе од времена трајања нагризања (слика 4.7.) [128].



Слика 4.7. Изглед трагова после пола часа, једног, два и шест часова експозиције нагризајућим хемикалијама

4.2.3. Поступак нагризања и методологија

Поступак нагризања зависи од начина бројања трагова: оптичким микроскопом (ручно или аутоматски/полуаутоматски), и немикроскопски методи, као што су бројање варница и метод помоћу сцинтилатора који испуњава нагрижене шупљине. Најчешће методе нагризања су хемијско и електрохемијско нагризање (Слика 4.8. а и б) [128].



- а) Фаза 1- у облику јаме - хемијско нагризање
- б) Фаза 2- у облику дрвета - електрохемијско нагризање
- в) електрохемијски нагрижен трагу облику дрвета

Слика 4.8. Најчешће методе нагризања детектора

4.2.3.1. Хемијско нагризање

Хемијско нагризање (СЕ) се обично спроводи у термостатираном купатилу на температурама у опсегу од 40°C до 70°C (у неким случајевима и до 90°C), уз коришћење воденог раствора NaOH (или KOH) моларности од 2 до 6 М (нпр. за 6 М NaOH, $6 \times 40 = 240$ g NaOH у 1 l воденог раствора (дестилована вода)).

Типично време нагризања је од 2 до 6 h. Повећање моларности, времена трајања нагризања и температуре утиче на величину нагризене шупљине. У неким случајевима, раствору се додаје етил алкохол у одређеној пропорцији (нпр. PEW раствор од KOH, етил алкохола и воде), јер алкохол повећава осетљивост регистровања у неким врстама пластике (поликарбонатима), док у осталим смањује (CR-39).

Детекторске фолије су раздвојене жичаним опругама или се налазе у вертикалним оквирима на фиксираним растојањима. Детектори су

уроњени у раствор нагривача са или без мешања/ротирања, унутар затворених епрувета, које су смештене у водено купатило на константној температури. Након завршеног поступка, детектори се уклањају и перу у дестилованој води и остављају неколико минута у малом ултрасоничном купатилу или дестилованој води да би се одстранили остаци нагривања. Након сушења, детектори су спремни за бројање под оптичким микроскопом.

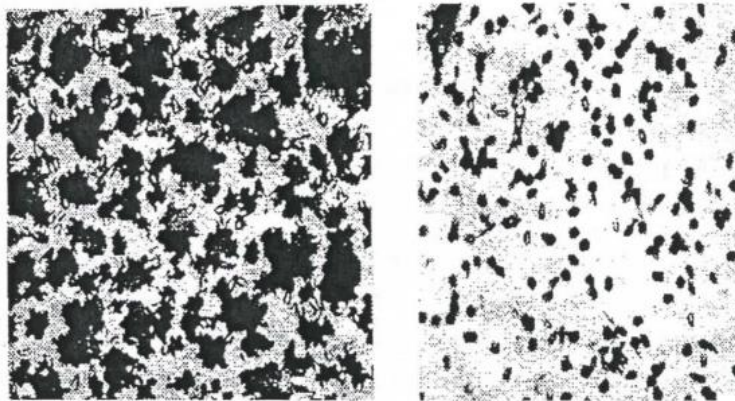
Дијаметар нагриваних трагова је у просеку неколико μm (сл. 4.5. десно); међутим, може да се увећа до 50 μm или више након продуженог нагривања.

4.2.3.2. Електрохемијско нагривање

Електрохемијско нагривање (ECE) служи за припрему код бројања микрофис читачем, слајд пројектором или слабо увеличавајућим микроскопом (10x).

Основни механизам је примена високофреквентног електричног поља за раздвајање супротно наелектрисаних јона у пољу. Типично електрично поље је 50 kVcm^{-1} на 2 kHz фреквенције. За пластичне детекторе дебљине 200 μm , применом напона од 1000 V добија се поље од 50 kVcm^{-1} . Такво поље доводи до електричног пробоја и варничења на крајевима нагриваних трагова у диелектричној средини, односно у пластици.

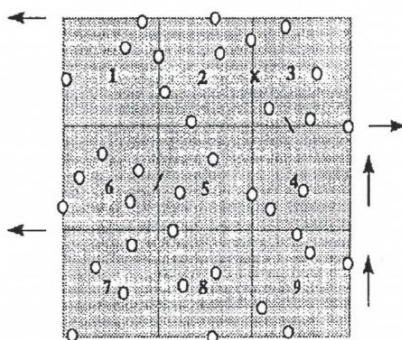
Финална величина ECE нагриваних мрља може бити од 100 – 200 μm . Трагови настали на овај начин су видљиви голим оком, па се увеличавају за фактор 10^2 .



Слика 4.9. Изглед трагова добијен рефлексивним оптичким микроскопом
 а) лево - електрохемијски нагрижени трагови б) десно - хемијски нагрижени трагови

4.2.4. Бројање трагова

Постоји више уређаја на тржишту који аутоматски обављају послове бројања трагова и статистичке обраде података, као што су нпр.: Quantimet 900; Magiscan 2; ELBESK, ITRACK итд. Да би се разумео метод рада ових уређаја, описан је поступак бројања код "ручне" или полуаутоматске методе. На слици 4.10. приказано је видно поље оптичког микроскопа које је подељено на 9 пиксела обележених бројевима. Да би се олакшао процес бројања, фокус микроскопа се помера с лева на десно (правац стрелица на слици 4.6.) у једном нивоу дуж X осе, и затим се помера по пикселима дуж Y осе да би се прешло на други ниво.



Слика 4.10. Видно поље оптичког микроскопа и начин бројања трагова

Постављањем плочице под микроскоп са јаким увећањем, може се мануелно израчунати густина трагова, ρ по Поасоновој статистици [126]:

$$\rho = \frac{N \pm \sqrt{N}}{A} \quad (4.19.)$$

где N одговара броју уочених трагова, а A је величина видљивог поља реда 10^{-7}m^2 . Густина трагова у детектору пропорционална је зрачењу гаса радона. Концентрација активности радона одређује се према формули [129]:

$$A = \frac{\rho - \rho_0}{K \cdot \tau} \quad (4.20.)$$

где је ρ густина трагова честица из распада радона (број трагова на 10^{-4}m^2 површине детектора), ρ_0 фон детектора (број трагова на 10^{-4}m^2 површине пре експонирања), K одзив детектора (калибрациони коефицијент) и τ време експонирања детектора.

Калибрациони коефицијент за детектор CR-39 је [126]:

$$K_o = \frac{1}{4} R_o \cos^2 \theta_c = 3,2 \text{tragsm}^{-2} / \text{kBqm}^{-3} \text{h} = 0,88 \text{cm}, \text{ за CR-39, } (\theta_c \approx 20^\circ) \quad (4.21.)$$

Грешка при мерењу концентрације активности радона рачуна се према формули:

$$\sigma = A \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_k^2 + \sigma_t^2} \quad (4.22.)$$

где је A концентрација активности радона, $\sigma_p = 1/N^{1/2} + 0,004$, а N је број трагова α -честица у детектору, σ_k грешка калибрационог коефицијента (0,18) и σ_t грешка због транспорта дозиметра, и дефинише се као однос између времена трајања транспорта и времена трајања експозиције.

5. Резултати експерименталних истраживања

5.1. Одређивање екshalације радона из материјала

5.1.1. Стопа цурења радона из посуде λ_v

За прву фазу експеримената коришћена је посебно конструисана апаратура, приказана на слици 5.1.



Слика 5.1. Изглед конструисане апаратуре за одређивање екshalације

На почетку експеримента апаратура је отворена и измерене су вредности концентрација радона у посуди и у лабораторији где се спроводи експеримент.

Након извршеног мерења концентрација, у посуду су стављени детектори и апаратура је, након укључивања детектора, херметички затворена.

Измерене концентрације пре почетка експеримента су: $C_0=16\text{Bqm}^{-3}$ и $C_b=12\text{Bqm}^{-3}$.

Промене концентрације радона унутар посуде су праћене континуално током периода од 72 h.

На графику 5.1. приказане су измерене експерименталне вредности, као и теоријске вредности за исту почетну концентрацију.

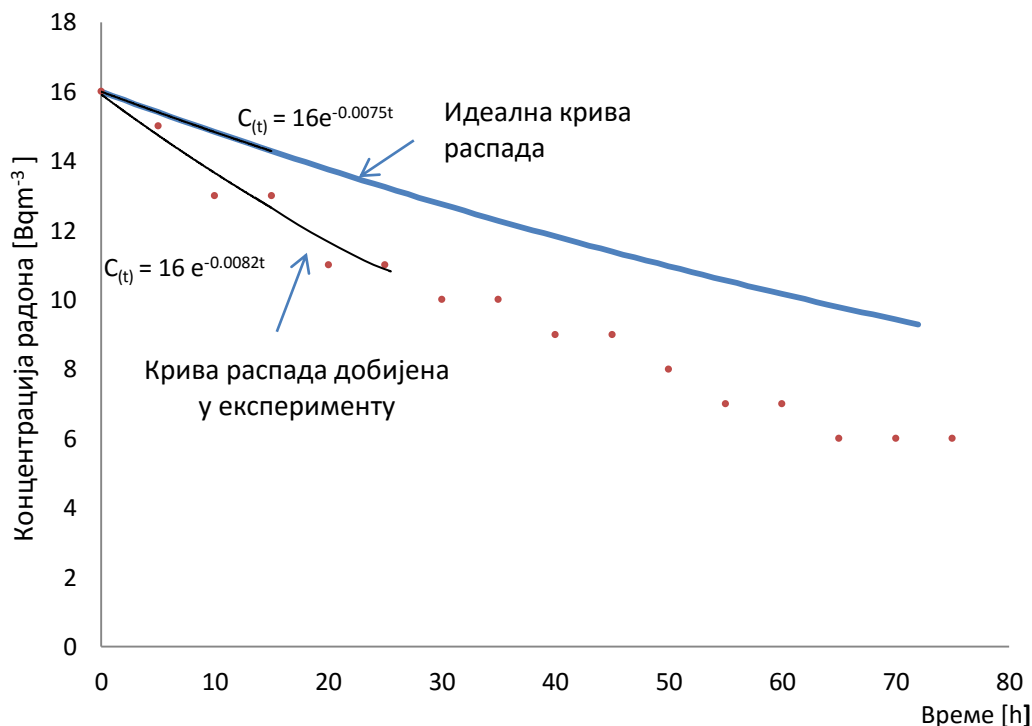


График 5.1. Криве распада радона (идеална и експериментална)

У табели 5.1. приказане су добијене експерименталне вредности, као и теоријске вредности радиоактивног распада радона.

Табела 5.1. Експерименталне и теоријске вредности радиоактивног распада радона

Време [s]	$C_{\text{теоријско}}[\text{Bqm}^{-3}]$	$C_{\text{експериментално}}[\text{Bqm}^{-3}]$
0	16	16
3600	15.87965	16
7200	15.76021	16
10800	15.64167	15
14400	15.52402	15
18000	15.40726	15
21600	15.29137	15
25200	15.17636	15

28800	15.06221	14
32400	14.94892	13
36000	14.83648	13
39600	14.72488	13
43200	14.61413	13
46800	14.50421	13
50400	14.39511	13
54000	14.28684	13
57600	14.17938	12
61200	14.07273	12
64800	13.96688	12
68400	13.86183	12
72000	13.75756	11
75600	13.65408	11
79200	13.55138	11
82800	13.44946	11
86400	13.3483	11
90000	13.2479	11
93600	13.14825	11
97200	13.04936	11
100800	12.9512	10
104400	12.85379	10
108000	12.75711	10
111600	12.66116	10
115200	12.56592	10
118800	12.47141	10
122400	12.3776	10
126000	12.28451	10
129600	12.19211	10
133200	12.1004	10
136800	12.00939	9
140400	11.91906	9
144000	11.82941	9
147600	11.74043	9
151200	11.65213	9
154800	11.56448	9
158400	11.4775	9
162000	11.39117	9
165600	11.30549	9
169200	11.22046	9
172800	11.13606	9
176400	11.0523	8
180000	10.96917	8
183600	10.88667	8
187200	10.80478	8
190800	10.72351	8
194400	10.64285	8

198000	10.5628	7
201600	10.48335	7
205200	10.4045	7
208800	10.32625	7
212400	10.24858	7
216000	10.17149	7
219600	10.09498	7
223200	10.01905	7
226800	9.943695	7
230400	9.868903	6
234000	9.794674	6
237600	9.721002	6
241200	9.647885	6
244800	9.575318	6
248400	9.503296	6
252000	9.431817	6
255600	9.360875	6
259200	9.290466	6

С обзиром на то да се радон у идеалним условима распада експоненцијално, нагиб идеалне криве је израчунат директно: $M_I = -C_b \lambda = -0.121 \text{ Bqm}^{-3}\text{h}^{-1}$.

За израчунавање нагиба криве распада на основу добијених експерименталних вредности, коришћена је "LINEST" функција "EXCEL" програма за обраду података.

Нагиб експерименталне криве износи $M_L = -0.132 \text{ Bqm}^{-3}\text{h}^{-1}$.

Заменом вредности M_I и M_L у једначини 4.15. израчунат је коефицијент стопе цурења и износи: $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$.

5.1.2. Стопа повратне дифузије - λ_b

Пре почетка експеримента измерена је почетна позадинска концентрација радона у лабораторији и у посуди без узорка.

Узорци су стављени у посуду, која је одмах потом затворена и праћене су промене концентрације радона унутар посуде у периоду од 72 h како би се установило да ли постоји нагли скок концентрација радона унутар посуде у првих неколико сати експеримента.

У табели 5.2. приказане су измерене концентрације радона добијене у експерименту испитивања стопе повратне дифузије.

Табела 5.2. Експерименталне вредности испитивања коефицијента повратне дифузије радона

Време (h)	Промена концентрације за узорак 1 [Bqm ⁻³]	Промена концентрације за узорак 2 [Bqm ⁻³]	Промена концентрације за узорак 3 [Bqm ⁻³]
0	25	28	38
1	25	28	38
2	25	31	38
3	26	34	38
4	26	36	39
5	27	36	39
6	27	39	40
7	27	40	41
8	27	40	42
9	27	42	42
10	27	46	43
11	28	49	44
12	28	49	45
13	28	53	45
14	28	55	46
15	29	55	46
16	29	58	47
17	30	60	47
18	30	60	47
19	30	61	47
20	31	67	48
21	31	69	48
22	31	68	49
23	32	72	50
24	32	74	50
25	32	76	51
26	32	78	51
27	32	78	52
28	32	84	54
29	33	86	54
30	33	90	56
31	33	90	59
32	34	94	60
33	35	98	61
34	35	98	62
35	35	98	64
36	35	101	68

37	35	101	68
38	36	101	69
39	36	101	72
40	36	103	73
41	36	103	74
42	36	103	76
43	36	103	78
44	36	103	80
45	37	103	84
46	37	103	85
47	37	103	88
48	38	103	89
49	38	103	90
50	38	103	91
51	38	103	91
52	38	103	92
53	38	103	92
54	38	103	93
55	38	103	94
56	38	103	94
57	38	103	96
58	38	103	96
59	38	103	99
60	38	103	99
61	38	103	101
62	38	103	101
63	38	103	101
64	38	103	101
65	38	103	101
66	38	103	101
67	38	103	101
68	38	103	101
69	38	103	101
70	38	103	101
71	38	103	101
72	38	103	101

На графику 5.2. су приказане добијене експерименталне вредности пораста концентрације радона за узорке 1, 2 и 3.

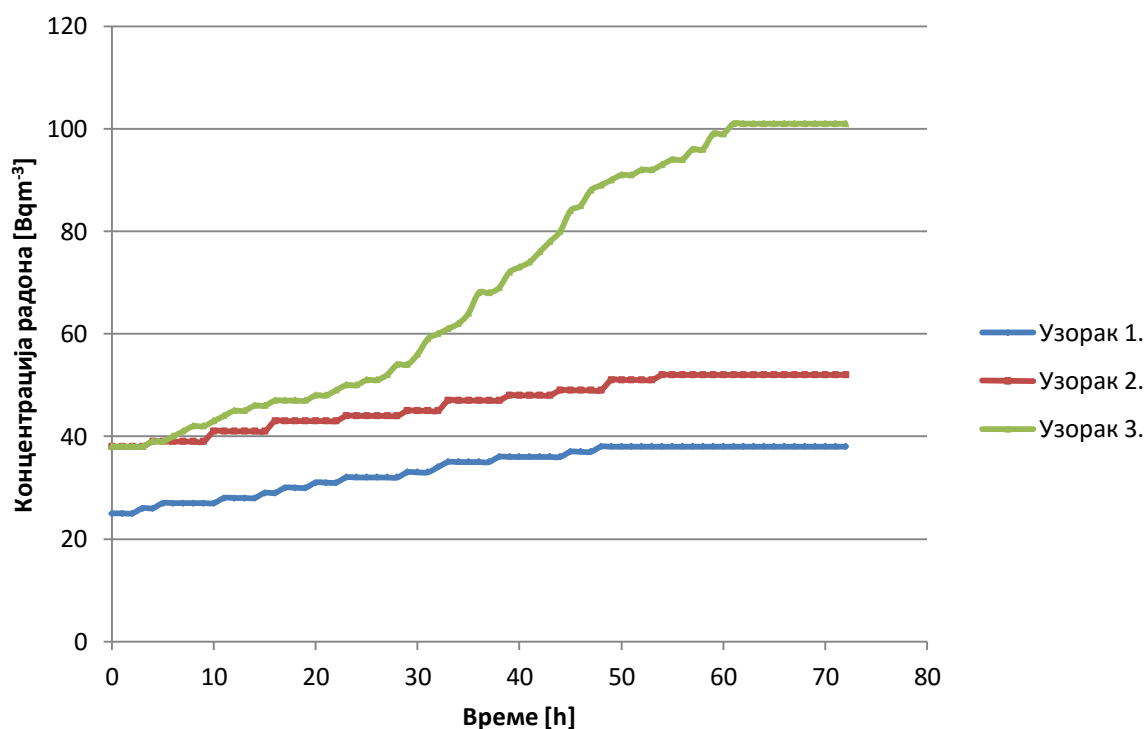


График 5.2. Праћење промена концентрација радона у посуди

На графику 5.2. види се да је пораст концентрације радона у посуди равномерно и да не постоји нагли скок концентрација у првим сатима експеримента.

Из овога следи да се коефицијент повратне дифузије може занемарити при прорачуну стопе ексхалације материјала.

5.1.3. Одређивање стопе ексхалације радона из грађевинских материјала

За потребе овог истраживања мерена је ексхалација из разних материјала, који су представљени у табели 4.2.

На почетку експеримента измерено је позадинско зрачење радона у лабораторији.

Узорци су осушени у пећници на 120°C како би се елиминисала влага, с обзиром на то да се у присуству влаге могу јавити веће концентрације радона, и потом су узорци охлађени до собне температуре.

Након мерења масе и еманирајуће површине, узорци су стављени у посуду у серијама од по три, посуда је херметички затворена и праћена је концентрација радона до сатурационог времена.

5.1.3.1. Прорачун на основу измерених експерименталних вредности

Неро Асолуто гранит:

$C_0 = 25 \text{ Bq m}^{-3}$, $C_\infty = 38 \text{ Bq m}^{-3}$, $m = 0.867 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (38 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 25) \frac{0.45}{0.9} = 0.16165 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.16165 \frac{0.9}{0.867} = 0.167 \text{ Bq kg h}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.167}{0.01036} = 12.42 \text{ Bq kg}^{-1}$$

Африка ред гранит:

$C_0 = 36 \text{ Bq m}^{-3}$, $C_\infty = 58 \text{ Bq m}^{-3}$, $m = 1,345 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (58 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 36) \frac{0.45}{0.9} = 0.24975 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.24975 \frac{0.9}{1.345} = 0.16711 \text{ Bq kg h}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.167}{0.01036} = 12.37 \text{ Bq kg}^{-1}$$

Копаонички гранит:

$C_0 = 38 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 52 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.73 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (52 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 38) \frac{0.45}{0.9} = 0.2159 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.2159 \frac{0.9}{0.73} = 0.266 \text{ Bqkg h}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.266}{0.01036} = 19.71 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Импала гранит:

$C_0 = 26 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 49 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.821 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (49 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 26) \frac{0.45}{0.9} = 0.2171 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.2171 \frac{0.9}{0.821} = 0.238 \text{ Bqkg h}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.238}{0.01036} = 17.63 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Јабланички гранит:

$C_0 = 28 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 103 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.95 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (103 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 28) \frac{0.45}{0.9} = 0.493 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.493 \frac{0.9}{0.95} = 0.467 \text{Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.467}{0.01036} = 34.65 \text{Bqkg}^{-1}$$

Зимбабве гранит:

$C_0 = 38 \text{Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 101 \text{Bqm}^{-3}$, $m = 0.623 \text{kg}$, $A = 0.9 \text{m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1} = 0.00756 \text{h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty (\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (101 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 38) \frac{0.45}{0.9} = 0.469 \text{Bqm}^{-2} \text{h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.469 \frac{0.9}{0.623} = 0.678 \text{Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.678}{0.01036} = 50.23 \text{Bqkg}^{-1}$$

Бенгал:

$C_0 = 28 \text{Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 119 \text{Bqm}^{-3}$, $m = 0.92 \text{kg}$, $A = 0.9 \text{m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1} = 0.00756 \text{h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty (\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (119 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 28) \frac{0.45}{0.9} = 0.576 \text{Bqm}^{-2} \text{h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.576 \frac{0.9}{0.92} = 0.564 \text{Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.564}{0.01036} = 41.78 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Балктички браон гранит:

$C_0 = 26 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 72 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.82 \text{ kg}$, $A = 0.8 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (72 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 26) \frac{0.45}{0.8} = 0.3362 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.336 \frac{0.8}{0.82} = 0.328 \text{ Bqkgh}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.328}{0.01036} = 24.96 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Белфаст црни гранит:

$C_0 = 36 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 96 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.92 \text{ kg}$, $A = 0.8 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (96 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 36) \frac{0.45}{0.8} = 0.3362 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.336 \frac{0.8}{0.92} = 0.328 \text{ Bqkgh}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.328}{0.01036} = 24.96 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Белфаст светли гранит:

$C_0 = 24 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 69 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 1.212 \text{ kg}$, $A = 0.75 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (69 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 24) \frac{0.45}{0.75} = 0.323 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.323 \frac{0.75}{1.212} = 0.200 \text{ Bq kg h}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.200}{0.01036} = 14.82 \text{ Bq kg}^{-1}$$

Белфаст медиум гранит:

$C_0 = 28 \text{ Bq m}^{-3}$, $C_\infty = 74 \text{ Bq m}^{-3}$, $m = 0.78 \text{ kg}$, $A = 0.5 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (74 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 28) \frac{0.45}{0.5} = 0.343 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.343 \frac{0.55}{0.78} = 0.220 \text{ Bq kg h}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.220}{0.01036} = 16.32 \text{ Bq kg}^{-1}$$

Белфаст рефлектор гранит:

$C_0 = 36 \text{ Bq m}^{-3}$, $C_\infty = 79 \text{ Bq m}^{-3}$, $m = 0.64 \text{ kg}$, $A = 0.8 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (79 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 36) \frac{0.45}{0.8} = 0.358 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.358 \frac{0.8}{0.64} = 0.448 \text{Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.448}{0.01036} = 33.18 \text{Bqkg}^{-1}$$

Санџаго браон гранит:

$C_0 = 34 \text{Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 92 \text{Bqm}^{-3}$, $m = 0.87 \text{kg}$, $A = 0.9 \text{m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1} = 0.00756 \text{h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty (\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (92 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 34) \frac{0.45}{0.9} = 0.4285 \text{Bqm}^{-2} \text{h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.428 \frac{0.9}{0.87} = 0.443 \text{Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.443}{0.01036} = 32.83 \text{Bqkg}^{-1}$$

Роса бета гранит:

$C_0 = 32 \text{Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 89 \text{Bqm}^{-3}$, $m = 0.64 \text{kg}$, $A = 0.9 \text{m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1} = 0.00756 \text{h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty (\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (89 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 32) \frac{0.45}{0.9} = 0.4677 \text{Bqm}^{-2} \text{h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.4677 \frac{0.9}{0.64} = 0.657 \text{Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.657}{0.01036} = 48.72 \text{Bqkg}^{-1}$$

Росо балморал гранит:

$C_0 = 34 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 87 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 1.23 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (87 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 34) \frac{0.45}{0.9} = 0.452 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.452 \frac{0.9}{1.23} = 0.331 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.331}{0.01036} = 24.55 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Кинава класико гранит:

$C_0 = 31 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 93 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.95 \text{ kg}$, $A = 0.8 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (93 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 31) \frac{0.45}{0.8} = 0.525 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.525 \frac{0.8}{0.95} = 0.442 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.442}{0.01036} = 32.77 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Парадисо класико гранит:

$C_0 = 34 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 94 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.967 \text{ kg}$, $A = 0.7 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (94 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 34) \frac{0.45}{0.7} = 0.789 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.789 \frac{0.7}{0.967} = 0.571 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.571}{0.01036} = 42.35 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Империјал црвени:

$C_0 = 36 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 98 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.874 \text{ kg}$, $A = 0.65 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (98 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 36) \frac{0.45}{0.65} = 0.513 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.513 \frac{0.65}{0.874} = 0.382 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.382}{0.01036} = 28.30 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Бианко сардо гранит:

$C_0 = 38 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 65 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 1.132 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (65 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 38) \frac{0.45}{0.9} = 0.283 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.283 \frac{0.9}{1.132} = 0.225 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.225}{0.01036} = 16.67 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Јупарана африка гранит:

$C_0 = 24 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 75 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.984 \text{ kg}$, $A = 0.7 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (75 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 24) \frac{0.45}{0.7} = 0.354 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.354 \frac{0.7}{0.984} = 0.252 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.252}{0.01036} = 18.68 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Парадисо пинк гранит:

$C_0 = 23 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 64 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.845 \text{ kg}$, $A = 0.8 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (64 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 23) \frac{0.45}{0.8} = 0.299 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.299 \frac{0.8}{0.845} = 0.283 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.283}{0.01036} = 20.96 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Парадисо колибри гранит:

$C_0 = 22 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 68 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.765 \text{ kg}$, $A = 0.8 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (68 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 22) \frac{0.45}{0.8} = 0.361 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.361 \frac{0.8}{0.765} = 0.377 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.377}{0.01036} = 27.98 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Росо сантиаго гранит:

$C_0 = 24 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 67 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.621 \text{ kg}$, $A = 0.7 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (67 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 24) \frac{0.45}{0.7} = 0.402 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.402 \frac{0.7}{0.621} = 0.453 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.453}{0.01036} = 33.61 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Тропикал гуарана гранит:

$C_0 = 29 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 92 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.8 \text{ kg}$, $A = 0.65 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (92 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 29) \frac{0.45}{0.65} = 0.603 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.603 \frac{0.65}{0.8} = 0.489 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.489}{0.01036} = 36.29 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Роса сардо гранит:

$C_0 = 32 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 89 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.86 \text{ kg}$, $A = 0.7 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (89 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 32) \frac{0.45}{0.7} = 0.415 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.415 \frac{0.7}{0.786} = 0.338 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.338}{0.01036} = 25.06 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Гранодиорит са Јастребца:

$C_0 = 36 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 82 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.5 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (82 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 36) \frac{0.45}{0.9} = 0.480 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.480 \frac{0.9}{0.5} = 0.865 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.865}{0.01036} = 64.105 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Гранодиорит са Копаоника:

$C_0 = 34 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 79 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.42 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (79 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 34) \frac{0.45}{0.9} = 0.406 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.406 \frac{0.9}{0.42} = 0.87 \text{ Bqkgh}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.87}{0.01036} = 65.50 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Гранитоидне стене са Копаоника:

$C_0 = 28 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 110 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 1.3 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (110 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 28) \frac{0.45}{0.9} = 0.596 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.596 \frac{0.9}{1.3} = 0.412 \text{ Bqkgh}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.412}{0.01036} = 30.57 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Гранитоидне стене са Јастребца:

$C_0 = 29 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 98 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 1.421 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (98 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 29) \frac{0.45}{0.9} = 0.379 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.379 \frac{0.9}{1.421} = 0.379 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.379}{0.01036} = 28.14 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Биотитски гранит планпаралелне структуре:

$C_0 = 28 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 65 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.862 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (65 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 28) \frac{0.45}{0.9} = 0.411 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.411 \frac{0.9}{0.862} = 0.429 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.429}{0.01036} = 31.82 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Доломитски мермер:

$C_0 = 32 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 65 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.962 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (65 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 32) \frac{0.45}{0.9} = 0.3674 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.367 \frac{0.9}{0.962} = 0.350 \text{ Bqkgh}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.350}{0.01036} = 25.97 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Јастребачки пешчар:

$C_0 = 18 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 62 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.6 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (62 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 18) \frac{0.45}{0.9} = 0.295 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.295 \frac{0.9}{0.765} = 0.443 \text{ Bqkgh}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.443}{0.01036} = 32.85 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Филит са Јастребца:

$C_0 = 20 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 72 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.7 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (72 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 20) \frac{0.45}{0.9} = 0.344 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.344 \frac{0.9}{0.765} = 0.443 \text{ Bqkgh}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.443}{0.01036} = 32.81 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Бетон:

$C_0 = 16 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 45 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.6 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty (\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (45 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 16) \frac{0.45}{0.9} = 0.210 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.210 \frac{0.9}{0.6} = 0.315 \text{ Bqkgh}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.315}{0.01036} = 23.38 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Подне плочице:

$C_0 = 12 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 32 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.65 \text{ kg}$, $A = 0.7 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty (\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (32 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 12) \frac{0.45}{0.7} = 0.1448 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.144 \frac{0.7}{0.65} = 0.16 \text{ Bqkgh}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.16}{0.01036} = 11.87 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Сипорекс блок:

$C_0 = 18 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 46 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.54 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (46 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 18) \frac{0.45}{0.9} = 0.212 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.212 \frac{0.9}{0.54} = 0.354 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.354}{0.01036} = 26.27 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Печена цигла:

$C_0 = 17 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 46 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.962 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (46 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 17) \frac{0.45}{0.9} = 0.214 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.214 \frac{0.9}{0.962} = 0.200 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.2}{0.01036} = 14.84 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Глинени блок:

$C_0 = 18 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 52 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.654 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$,
 $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (52 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 18) \frac{0.45}{0.9} = 0.3243 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.3243 \frac{0.9}{0.654} = 0.335 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.335}{0.01036} = 24.86 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Глинени цреп:

$C_0 = 17 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 45 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.623 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (45 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 17) \frac{0.45}{0.9} = 0.209 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.209 \frac{0.9}{0.623} = 0.302 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.302}{0.01036} = 22.37 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Гипс:

$C_0 = 17 \text{ Bqm}^{-3}$, $C_\infty = 23 \text{ Bqm}^{-3}$, $m = 0.3 \text{ kg}$, $A = 0.9 \text{ m}^2$; $\lambda = 2.1 * 10^{-6} \text{ s}^{-1} = 0.00756 \text{ h}^{-1}$, $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$ $V = 0.45 \text{ m}^3$, $\lambda^* = 0.01036 \text{ h}^{-1}$;

Ексхалација:

$$E_0 = (C_\infty(\lambda + \lambda_b + \lambda_v) - \lambda_v C_0) \frac{V}{A} = (23 * (0.00756 + 0 + 0.0028) - 0.0028 * 17) \frac{0.45}{0.9} = 0.095 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Масена ексхалација:

$$E_m = E_0 \frac{A}{m} = 0.095 \frac{0.9}{0.3} = 0.28 \text{ Bqkg}^{-1}$$

Ефективни садржај Ra:

$$Ra_{eff} = \frac{E_m}{\lambda^*} = \frac{0.28}{0.01036} = 21.16 \text{Bqkg}^{-1}$$

У табели 5.3. представљене су вредности ексхалације, масене ексхалације, као и ефективни садржаји радијума израчунати на основу експериментално добијених података.

Табела 5.3. Стопе ексхалација испитиваних материјала

Извор радона	Маса [kg]	Стопа ексхалације [Bqm ⁻² h ⁻¹]	Стопа масене ексхалације [Bqkgh ⁻¹]	Ефективни садржај радијума [Bqkg ⁻¹]
Неро Асолуто	0.867	0.161±0.024	0.17±0.03	12.43±1.86
Африка црвени	1.345	0.249±0.037	0.17±0.03	12.38±1.86
Копаонички гранит	0.73	0.215±0.032	0.27±0.04	19.72±2.96
Импала	0.821	0.217±0.032	0.24±0.04	17.63±2.65
Јабланички гранит	0.95	0.493±0.074	0.47±0.07	34.65±5.20
Зимбабве	0.623	0.469±0.070	0.68±0.10	50.24±7.54
Бенгал	0.92	0.576±0.086	0.56±0.08	41.78±6.27
Балктички браон	0.82	0.336±0.050	0.33±0.05	24.30±3.64
Белфаст црни	0.92	0.446±0.066	0.39±0.06	28.75±4.31
Белфаст светли	1.212	0.323±0.048	0.20±0.03	14.83±2.22
Белфаст медиум	0.78	0.343±0.051	0.22±0.03	16.32±2.45
Белфаст рефлектор	0.64	0.358±0.053	0.45±0.07	33.19±4.98
Сангиаго браон	0.87	0.428±0.064	0.44±0.07	32.84±4.93
Росабета	0.64	0.467±0.07	0.66±0.10	48.72±7.31
Рособалморал	1.23	0.452±0.067	0.33±0.05	24.55±3.68
Кинава класико	0.95	0.525±0.078	0.44±0.07	32.78±4.92
Парадисо класико	0.967	0.789±0.11	0.57±0.09	42.36±6.35
Имperiал црвени	0.874	0.513±0.07	0.38±0.06	28.31±4.25
Бианко сардо	1.132	0.283±0.04	0.23±0.03	16.68±2.50
Јупарана африка	0.984	0.354±0.05	0.25±0.04	18.68±2.80
Парадисо пинк	0.845	0.299±0.04	0.28±0.04	20.97±3.15
Парадисо колибри	0.765	0.361±0.05	0.38±0.06	27.98±4.20
Росо сангиаго	0.621	0.402±0.06	0.45±0.07	33.62±5.04
Тропикал гуарана	0.8	0.603±0.09	0.49±0.07	36.29±5.44
Росасардо	0.86	0.415±0.06	0.34±0.05	25.07±3.76

Гранодиорит	0.5	0.480±0.07	0.87±0.13	64.11±9.62
Гранодиорит	0.42	0.406±0.06	0.87±0.13	64.50±9.68
Гранитоидне стене	1.3	0.596±0.08	0.41±0.06	30.58±4.59
Гранитоидне стене	1.421	0.599±0.08	0.38±0.06	28.14±4.22
Биотитски гранит планпаралелне структуре	0.862	0.411±0.06	0.43±0.06	31.82±4.77
Доломитски мермер	0.962	0.374±0.05	0.35±0.05	25.98±3.90
Пешчар	0.6	0.295±0.04	0.44±0.07	32.85±4.93
Филит	0.7	0.344±0.05	0.44±0.07	32.82±4.92
Бетон	0.6	0.210±0.03	0.32±0.05	23.39±3.51
Подне плочице(више произвођача)	0.65	0.148±0.02	0.16±0.02	11.87±1.78
Сипорекс блок (више произвођача)	0.54	0.212±0.03	0.35±0.05	26.28±3.94
Печена цигла пуна (више произвођача)	0.962	0.214±0.03	0.20±0.03	14.85±2.23
Глинени блок (више произвођача)	0.654	0.243±0.03	0.34±0.05	24.86±3.73
Глинени цреп (више произвођача)	0.623	0.209±0.03	0.30±0.05	22.37±3.36
Гипс (више произвођача)	0.3	0.095±0.01	0.29±0.04	21.16±3.17

На графику 5.3. упоредно су приказане стопе ексхалације грађевинског материјала израчунате на основу експерименталних података.

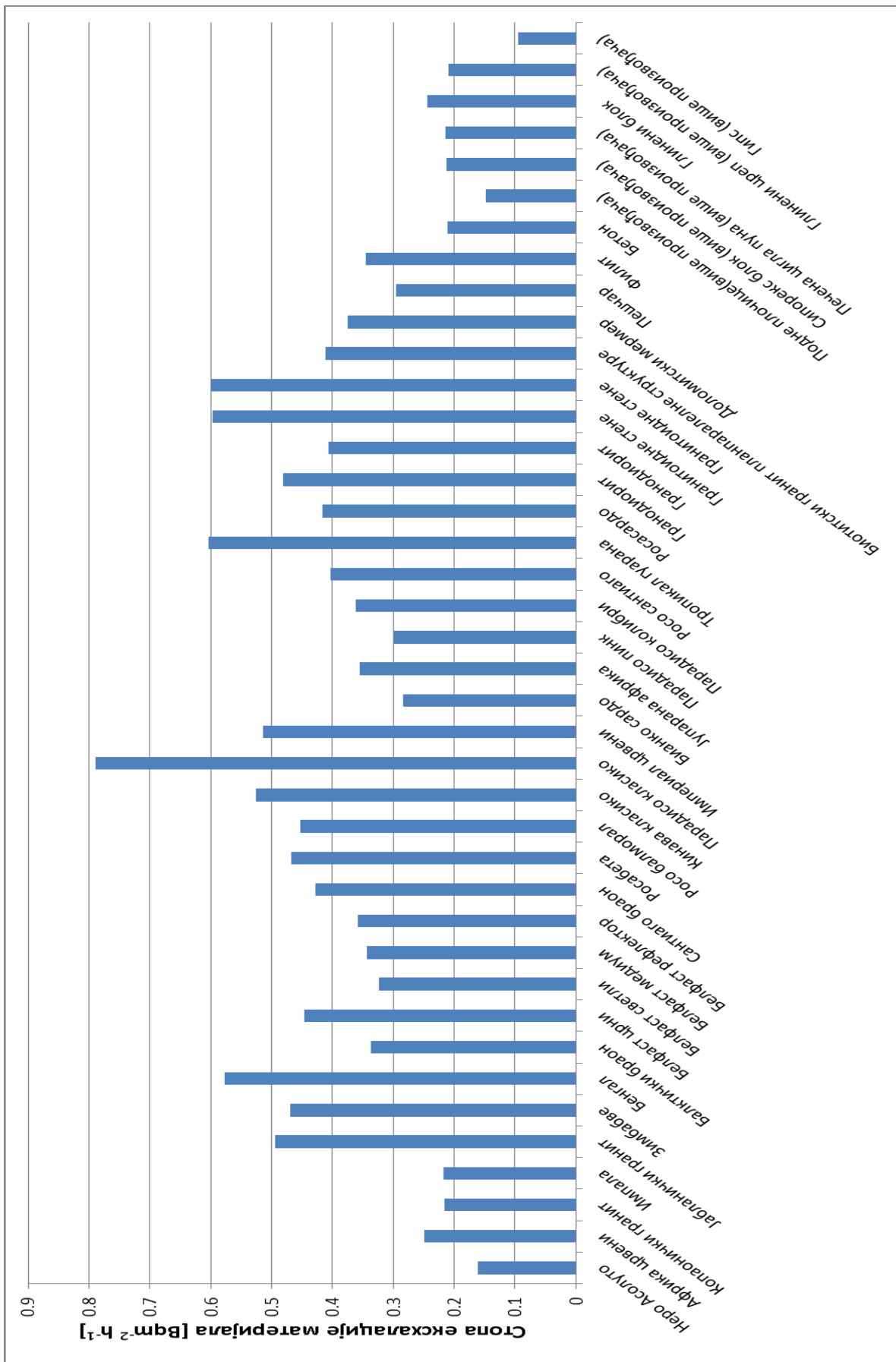


График 5.3. Упоредни приказ стопа екскалације грађевинског материјала

На графику 5.4. упоредно су приказане масене ексхалације грађевинских материјала, које су израчунате на основу експерименталних података.

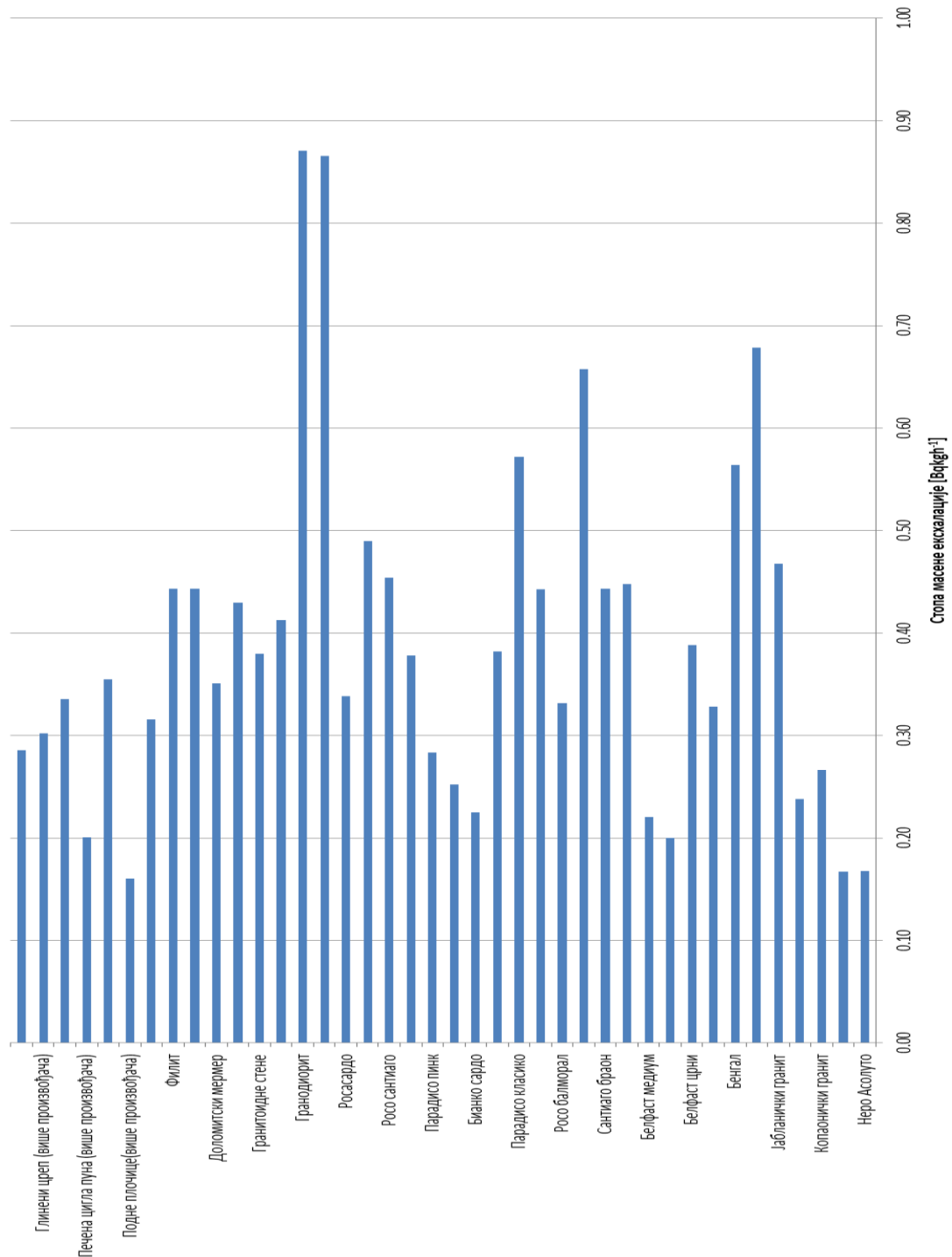


График 5.4. Упоредни приказ масених ексхалација материјала израчунатих на основу експерименталних података

На графику 5.5. приказани су ефективни садржаји радијума у узорцима, који су израчунати на основу експерименталних података.

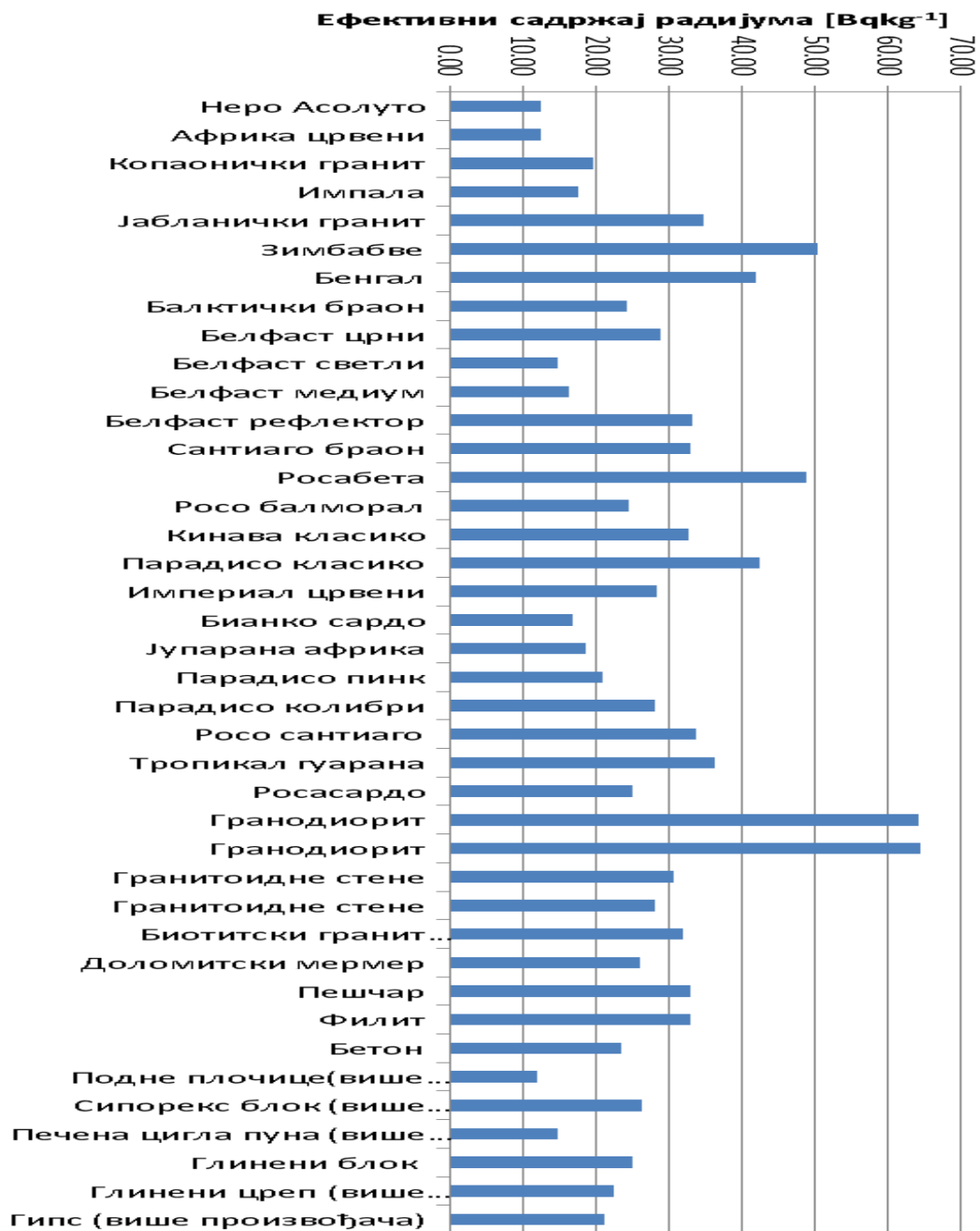


График 5.5. Ефективни садржаји радијума у узорцима добијени у експерименту

5.1.4. Зависност концентрације радона у затвореним просторијама од вентилације

Извршена су два активна краткорочна мерења у атомским склоништима која се налазе у саставу стамбене зграде у Крушевцу, у улици Драгомира Гајића 12 и 10.

Склоништа су испод нивоа улице, и састоје се од четири собе са челичним вратима, која су била широко отворена најмање 20 година, и која су остала отворена током прве фазе експеримента.

Након успостављања устаљених вредности (48 до 72 часа), нивои радона су праћени активно, краткорочно током 7 дана.

Након добијања података, сва врата су херметички затворена, и обављено је још једно мерење у трајању од 14 дана како би се утврдило да ли долази до повећања концентрације радона у просторији када је вентилација у потпуности елиминисана.

Оба склоништа имају идентичан распоред просторија и идентичну архитектуру.

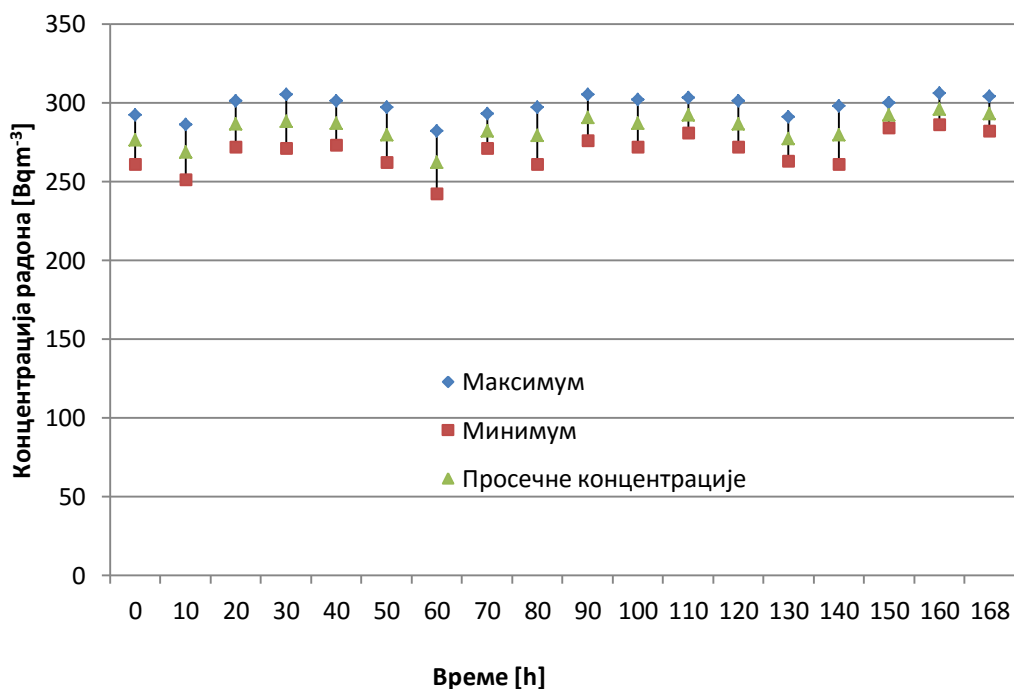


График 5.3а. Праћење концентрације радона у склоништу 1.

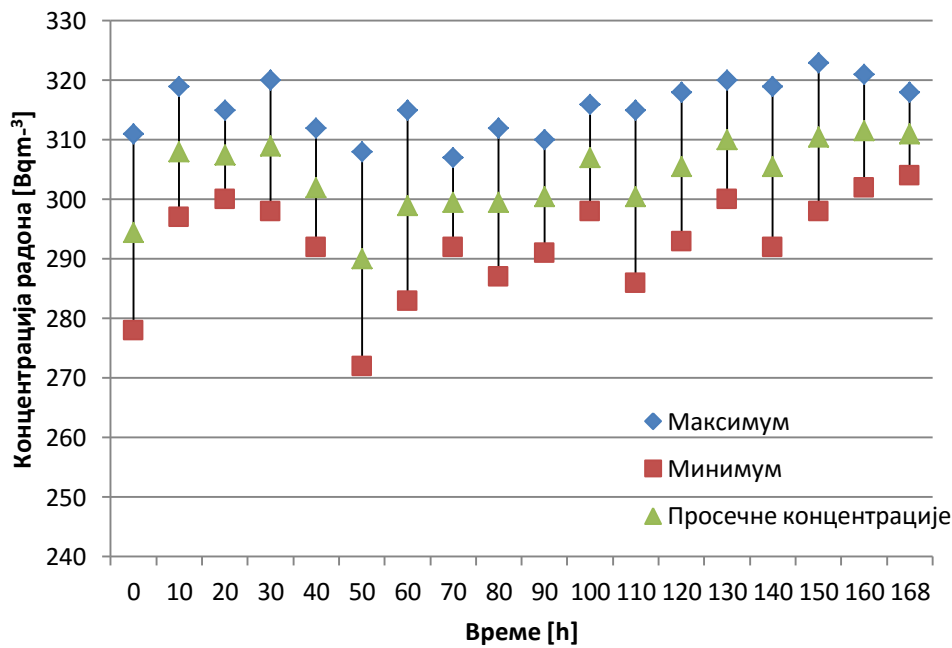


График 5.3б. Праћење концентрације радона у склоништу 2.

На графицима 5.3а. и 5.3б. приказане су концентрације радона које су праћене у периоду од 7 дана при нормалној вентилацији просторија. Са графика се види да су концентрације радона устаљене, и крећу се у опсегу од 261 до 311 Вqтм⁻³.

Након завршеног мерења од 7 дана, врата склоништа су затворена и мерење је настављено наредних 14 дана под истим условима.

Резултати експерименталног мерења приказани су на графицима 5.4а. и 5.4б.

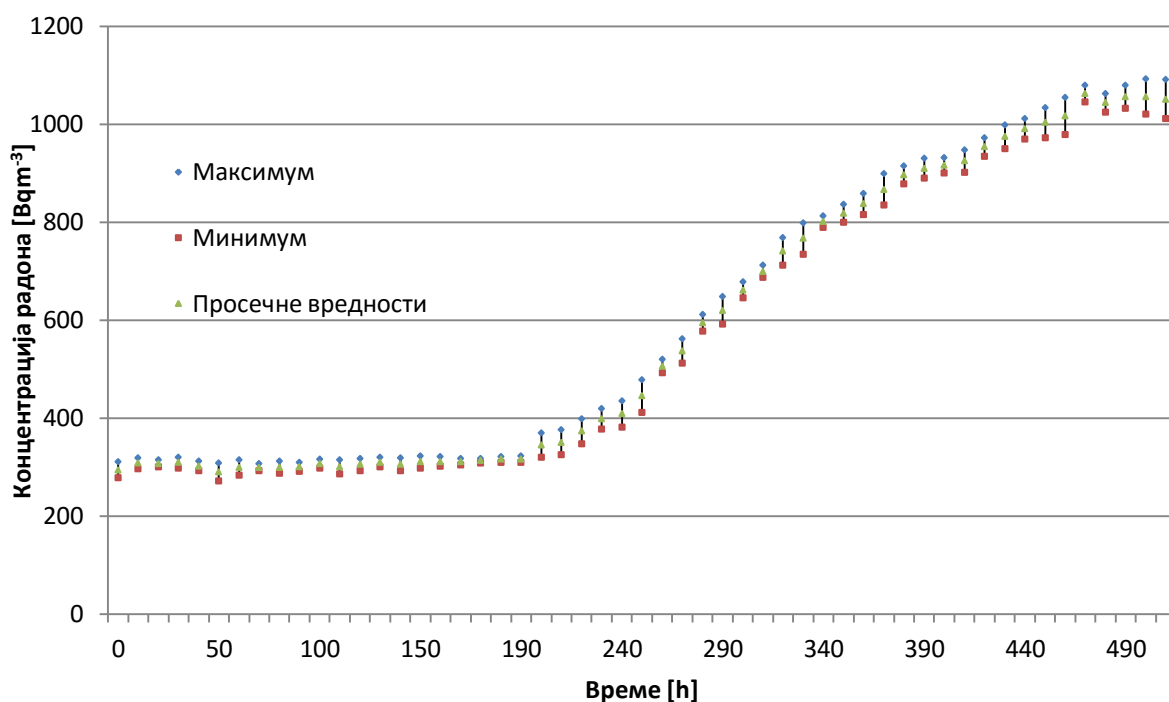


График 5.4а. Измерене концентрације радона у склоништу 1 при одсуству вентилације

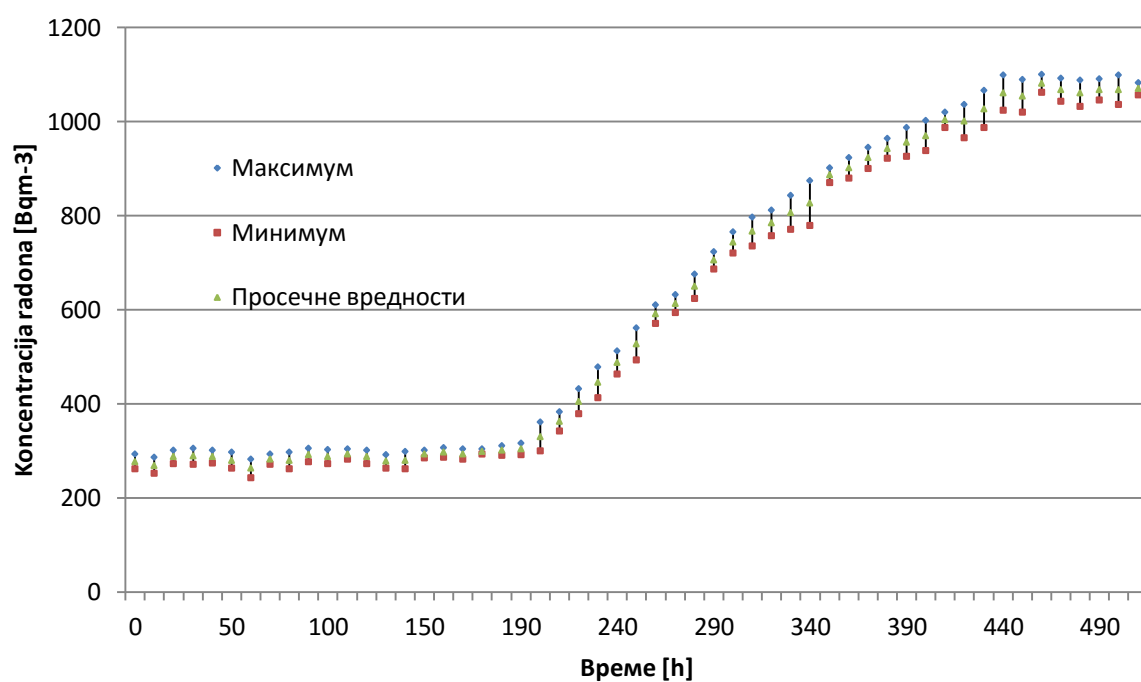


График 5.4б. Измерене концентрације радона у склоништу 2 при одсуству вентилације

Са графика 5.4а. и 5.4б. се види да концентрација радона расте до времена засићења након прекида вентилације.

На графику 5.5. упоредо су приказане измерене концентрације радона при одсуству вентилације у склоништима.

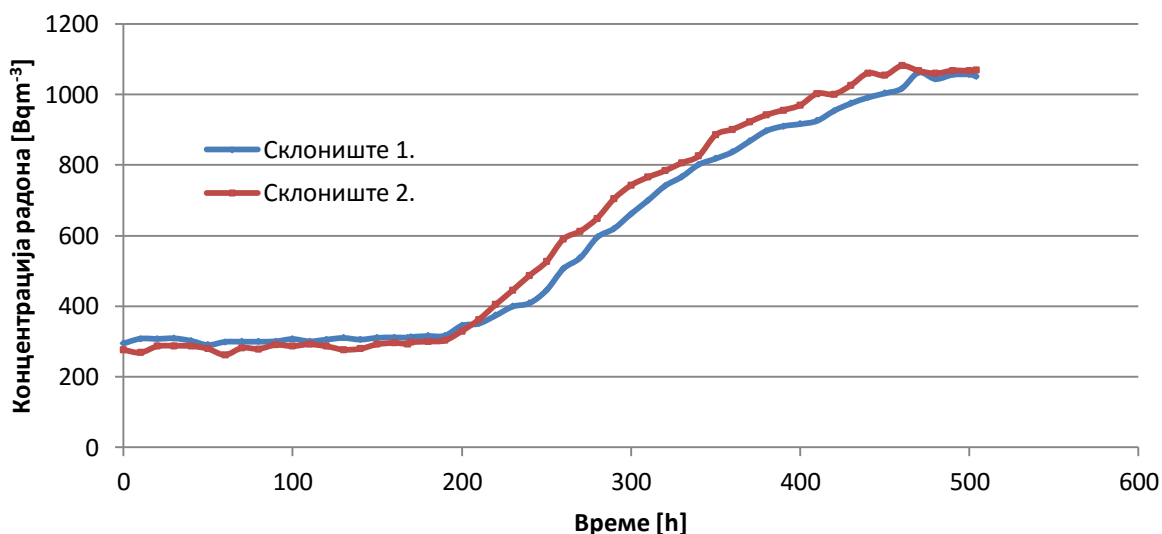


График 5.5. Упоредни приказ измерених концентрација у склоништима 1 и 2 при одсуству вентилације.

Након херметичког затварања просторија у периоду од 14 дана, концентрација радона се увећала два пута.

Пре затварања склоништа измерене су следеће просечне концентрације радона: **склониште 1=303.04±45.45 Bq m⁻³**, **склониште 2=283.47±42.52 Bq m⁻³**. Након херметичког затварања склоништа измерене су следеће просечне концентрације радона: **склониште 1=585.67±88.15 Bq m⁻³**, **склониште 2=606.91±91.03 Bq m⁻³**.

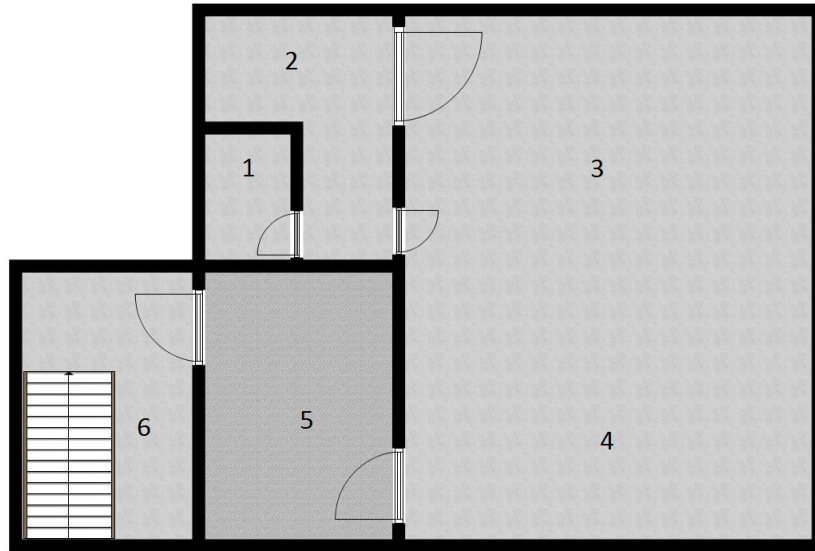
5.1.5. Просторна дистрибуција радона у резиденцијалном објекту

У циљу одређивања просторне дистрибуције радона у резиденцијалним објектима извршено је једно дугорочно мерење у атомском склоништу које се налази у саставу стамбене зграде у Крушевцу, улица Драгомира Гајића 12.

Склониште се налази испод нивоа улице и састоји се од 4 собе са челичним вратима, која су била широко отворена најмање 20 година, и која су остала отворена током експеримента.

Након успостављања устаљених вредности (48-72 часа), нивои радона су праћени активно, дугорочно током 30 дана.

На слици 5.1. приказана је шема са локацијама детектора у атомском склоништу где је вршен експеримент.



Слика 5.1. Приказ просторија склоништа, као и распоред активних детектора

1. WC (једина размена ваздуха са околином се одиграва кроз врата, која су затворена током већег дела дана)
2. Помоћна просторија (константан проток ваздуха између просторије 3 и 4)
- 3 и 4. Главна соба (детектор 4 се поставља ближе вратима како би се утврдило да ли је и колико концентрација радона нижа од дела 3.)
5. Предсобље (несметан проток ваздуха са 6 и 4)
6. Улаз у склониште (велика размена ваздуха са спољашњом средином)

Детектори су постављени на висини од 1.5 m од земље у средини сваке од просторија.

Експериментални резултати мерења приказани су у табели 5. 3.

Табела 5.3. Измерене концентрације и просторна дистрибуција радона по просторијама склоништа

Време [h]	C_{Rn} просторија 1 [Bqm ⁻³]±15%	C_{Rn} просторија2 [Bqm ⁻³] ±15%	C_{Rn} просторија3 [Bqm ⁻³] ±15%	C_{Rn} просторија4 [Bqm ⁻³] ±15%	C_{Rn} просторија5 [Bqm ⁻³] ±15%	C_{Rn} просторија6 [Bqm ⁻³] ±15%
0	741	420	365	220	170	70
24	751	412	358	212	168	62
48	749	396	361	218	164	61
72	760	398	354	214	163	29
96	762	372	360	219	170	64
120	759	386	361	224	172	62
144	690	389	378	226	176	69
168	720	399	364	215	168	67
192	726	409	368	209	164	68
216	731	401	359	214	165	62
240	729	412	359	207	167	65
264	718	415	362	209	162	59
288	719	398	367	216	172	59
312	721	398	376	217	174	52
336	723	415	378	216	169	61
360	742	419	374	218	164	57
384	731	432	368	217	165	63
408	736	429	369	216	162	52
432	740	418	364	214	163	57
456	736	417	368	219	169	58
480	739	426	376	226	174	56
504	728	432	378	221	173	60
528	718	428	362	227	168	61
552	714	417	368	224	164	61
576	726	425	364	220	163	59
600	723	419	360	216	169	58
624	730	416	352	224	172	64
648	734	421	359	226	173	71
672	731	418	360	220	178	72
696	726	413	364	221	176	69
720	736	424	368	219	174	68

На графику 5.6. приказана је просторна дистрибуција радона по просторијама добијена на основу експерименталних података.

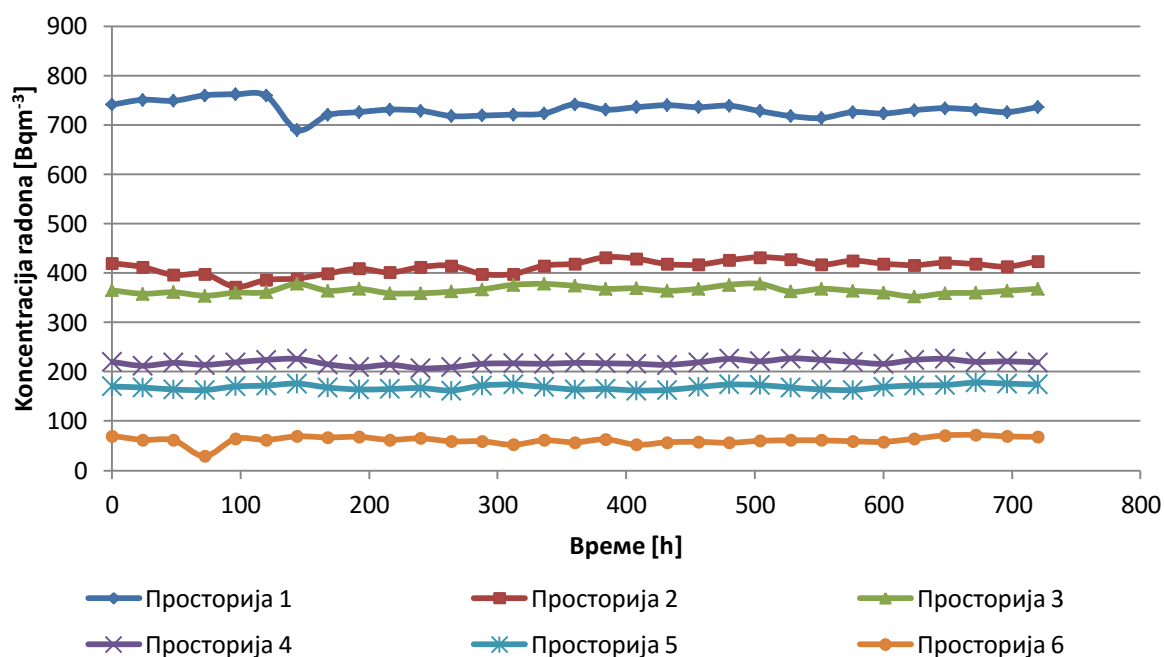


График 5.6. Просторна дистрибуција експериментално измерених концентрација радона у склоништу

Са графика се уочава да је највећа концентрација измерена у просторији број 1, која је запремински најмања и има најслабију вентилацију.

У просторијама 2 и 3 измерене су нешто ниже концентрације, које су чак и приближних вредности услед добре размене ваздуха између њих.

У просторији 4 и 5 измерене су прихватљиве вредности услед близине излаза, односно вентилације.

Просторија 6 је заправо веза склоништа са спољашњом средином, карактерише је веома добра вентилација, те је отуд и измерена доста нижа концентрација од претходних просторија.

5.1.6. Вертикална дистрибуција радона у просторијама

Ради добијања релевантних података вертикалне дистрибуције радона у просторијама, извршена су три активна краткорочна мерења у атомском склоништу које се налази у саставу стамбене зграде у Крушевцу, у улици Драгомира Гајића 12 и 10.

На почетку експеримента детектори су постављени на следећим висинама: 0.5 m, 1.5 m, 1.9 m.

Након успостављања устаљених вредности (48-72 часа), нивои радона су праћени активно, континуирано током 30 дана.

У табели 5.4. приказане су експериментално измерене вредности за вертикалну дистрибуцију радона у атомском склоништу.

Табела 5.4. Експериментално измерене вредности вертикалне дистрибуције радона у атомском склоништу

Време [h]	Концентрација радона на одређеним висинама [$Bq\ m^{-3}$]		
	h=0.5 m	h=1.5m	h=1.9m
0	451	428	578
24	438	424	784
48	442	426	869
72	450	425	918
96	430	418	1236
120	415	421	1190
144	428	442	1206
168	430	450	1278
192	426	442	1195
216	418	450	1018
240	430	448	1024
264	424	430	1018
288	418	442	1022
312	418	438	1029
336	415	432	1023
360	420	451	1015
384	423	441	1105
408	430	438	1078
432	435	432	1045
456	428	452	1062
480	419	440	1041
504	426	438	1028
528	422	426	1013
552	425	463	1005
576	418	431	998
600	412	427	1012
624	428	419	1028
648	419	426	1017
672	412	419	1013
696	419	417	992
720	451	428	998

На графику 5.7. приказана је вертикална дистрибуција радона измерена у склоништу.

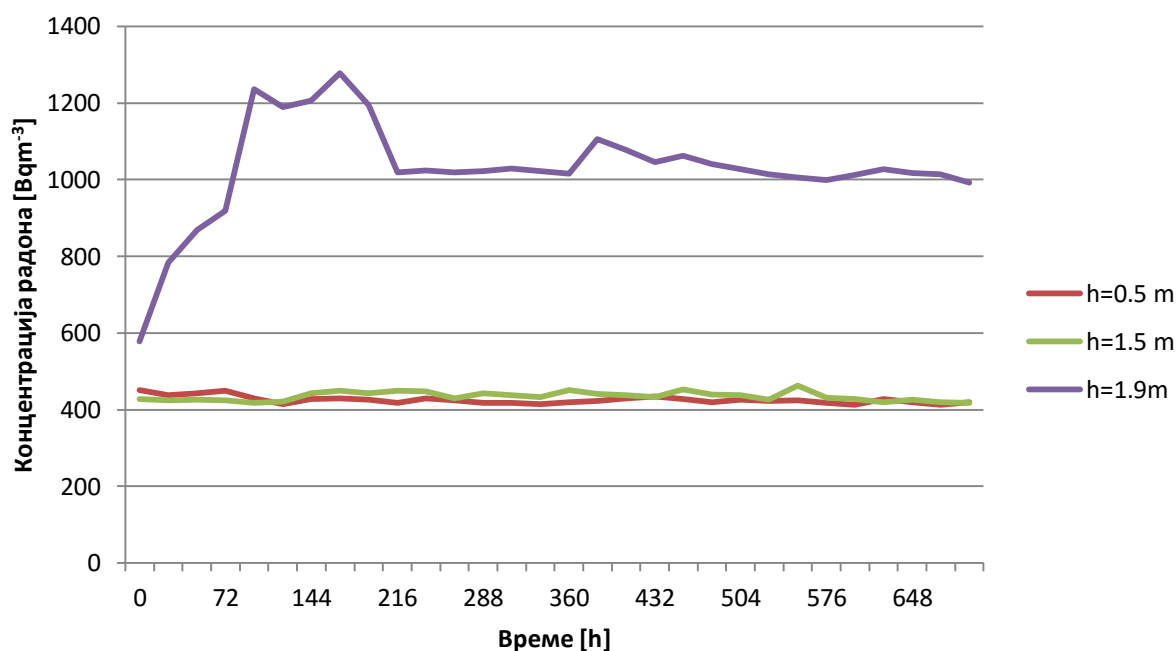


График 5.7. Измерене експерименталне вредности вертикалне дистрибуције радона у атомском склоништу

Са графика 5.7. се види да су измерене вредности на $h=0.5\text{ m}$ и $h=1.5\text{ m}$ у сличном опсегу концентрација и налазе се у извесној врсти равнотеже.

На висини од 1.9 m измерене су готово дупло више вредности и уочава се пораст концентрација, а након тога постиже се стање равнотеже и концентрације радона остају у опсегу $C = 1000 \pm 100\text{ Bq m}^{-3}$.

5.2. Пасивне дугорочне мерне технике

5.2.1. Експериментално мерење *LANDAUER ALPHA TRACK* детекторима

У циљу одређивања концентрација радона за дужи временски период спроведена су пасивна дугорочна мерења у периоду од 3 месеца на четири

локације у Крушевцу, и то у атомским склоништима која се налазе у оквиру стамбених зграда.

Детектори су постављени 15. априла 2015. године и експонирани су радону до 15. јула 2015. године.

На почетку експеримента детектори се ваде из заштитних фолија и постављају на висини од 1.5 m од тла у средини изабране просторије.

На слици 5.2. представљене су локације склоништа у којима су се вршили експерименти.



Слика 5.2. Локације на којима су се вршила пасивна дугорочна мерења

Архитектура склоништа 1 и 2 је већ описана, а склоништа 3 и 4 имају нешто другачију архитектуру, која се тиче вентилације. У склоништима 1 и 2, сем улазних врата, не постоји никакав други вид размене ваздуха са околином. Склоништа 3 и 4, поред улазних врата, имају још један отвор, који служи за убацавање угља. Код склоништа бр. 3 овај отвор је константно отворен, док је код склоништа бр. 4 овај отвор покривен лимом на коме постоји изванредан зазор који омогућава природни „цуг“ ваздуха између улазних врата склоништа и спољашње средине. На слици 5.3. приказана су ова склоништа, заједно са карактеристикама.



Слика 5.3. Фотографије склоништа где су вршена експериментална дугорочна пасивна мерења.

По истеку 3 месеца од дана постављања, детектори су демонтирани, упаковани у алуминијумску фолију и послати у Landauer лабораторију у Шведској, где је вршено бројање трагова. Резултати експерименталних истраживања дати су у табели 5.5.

Табела 5.5. Резултати пасивног експерименталног мерења

Серијски број детектора	Локација	Почетак мерења	Крај мерења	Доза [KBqhm ⁻³]	Грешка мерења [KBqhm ⁻³]	C _{Rn} [Bqm ⁻³]
624762-1	43.578670, 21.334103	2015-04-15	2015-07-14	164	38	75
624849-6	43.578576, 21.335560	2015-04-15	2015-07-14	1683	208	779
626244-8	43.578696, 21.335022	2015-04-15	2015-07-14	1085	138	502
624934-6	43.578244, 21.335583	2015-04-15	2015-07-14	1120	142	518

5.3. Процена доза на основу експерименталних података

У овом делу су приказане процене доза које су рачунате на основу добијених експерименталних вредности.

5.3.1. Процена доза на основу ексхалације материјала

Експериментални подаци о ексхалацији гранита употребљени су како би се израчунала доза изложености радону.

Поред примене познатих једначина за израчунавање доза, конструисани су разни резиденцијални сценарији како би израчунате дозе биле најприближније реалним условима.

Сценарио 1.

Гранитна плоча димензија 3x2 m се налази у кухињи запремине 20 m³ и служи као радна површина. Под претпоставком да особа проведе 75% времена у затвореном простору, може се поставити дозиметријска једначина која би прорачунала дозе.

Најпре се рачуна концентрација радона на основу података добијених у експерименту помоћу једначине 4.23., а потом се применом једначине 4.24. рачуна примљена доза за овакав сценарио.

Концентрација радона је израчуната из једначине [130]:

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} \quad (4.23),$$

где је:

C_{Rn} – концентрација радона

E_a – стопа ексхалације материјала

A – површина материјала

V – запремина просторије

λ_v – степен вентилације.

Примљена доза је потом рачуната применом дозиметријске једначине [130]:

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF \quad (4.24.)$$

где је:

\dot{H}_I - унутрашња експозиција радона

C_i - концентрација радона

F_i - равнотежни фактор (0.4 за радон)

O - време експозиције на годишњем нивоу

DCF - дозни конверзиони фактор ($9 \text{ nSvBq}^{-1}\text{EERh}^{-1}\text{m}^{-3}$).

Применом ових једначина, дозе које особа прими од гранита су:

Неро Асолуто гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.161 * 6}{20 * 0.1} = 0.48 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.48 * 0.4 * 6570 * 9 = 11352.96 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.161 * 6}{20 * 0.3} = 0.161 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.161 * 0.4 * 6570 * 9 = 3807.97 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.161 * 6}{20 * 0.5} = 0.0966 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.0966 * 0.4 * 6570 * 9 = 2284.7832 \text{ nSvy}^{-1}$$

Африка ред гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0,249 * 6}{20 * 0.1} = 0.75 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.75 * 0.4 * 6570 * 9 = 17739 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.249 * 6}{20 * 0.3} = 0.249 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.249 * 0.4 * 6570 * 9 = 5889.348 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.249 * 6}{20 * 0.5} = 0.149 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.149 * 0.4 * 6570 * 9 = 3533.60 \text{ nSvy}^{-1}$$

Копаннички гранит:

$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0,215 * 6}{20 * 0.1} = 0.65 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.65 * 0.4 * 6570 * 9 = 15373.8 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.215 * 6}{20 * 0.3} = 0.215 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.215 * 0.4 * 6570 * 9 = 5085.18 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.215 * 6}{20 * 0.5} = 0.129 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.129 * 0.4 * 6570 * 9 = 3051.108 \text{ nSvy}^{-1}$$

Импала гранит:

$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0,217 * 6}{20 * 0.1} = 0.65 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.65 * 0.4 * 6570 * 9 = 15373.8 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.217 * 6}{20 * 0.3} = 0.217 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.217 * 0.4 * 6570 * 9 = 5132.84 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.217 * 6}{20 * 0.5} = 0.1302 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.1302 * 0.4 * 6570 * 9 = 3079.494 \text{ nSvy}^{-1}$$

Јабланички гранит:

$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.493 * 6}{20 * 0.1} = 1.48 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.48 * 0.4 * 6570 * 9 = 35004.09 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.493 * 6}{20 * 0.3} = 0.493 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.492 * 0.4 * 6570 * 9 = 11660.436 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.493 * 6}{20 * 0.5} = 0.2958 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.2958 * 0.4 * 6570 * 9 = 6996.26 \text{ nSvy}^{-1}$$

Зимбабве гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.576 * 6}{20 * 0.1} = 1.41 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.41 * 0.4 * 6570 * 9 = 35004.96 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.576 * 6}{20 * 0.3} = 0.469 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.469 * 0.4 * 6570 * 9 = 11092.788 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.576 * 6}{20 * 0.5} = 0.2814 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.2814 * 0.4 * 6570 * 9 = 8174.13 \text{ nSvy}^{-1}$$

Бенгал:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.576 * 6}{20 * 0.1} = 1.73 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.73 * 0.4 * 6570 * 9 = 40917.96 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.576 * 6}{20 * 0.3} = 0.576 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.576 * 0.4 * 6570 * 9 = 13623.552 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.576 * 6}{20 * 0.5} = 0.3456 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.3456 * 0.4 * 6570 * 9 = 8174.13 \text{ nSvy}^{-1}$$

Балктички браон гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.336 * 6}{20 * 0.1} = 1.01 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.01 * 0.4 * 6570 * 9 = 23888.52 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.336 * 6}{20 * 0.3} = 0.336 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.336 * 0.4 * 6570 * 9 = 7947.072 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.336 * 6}{20 * 0.5} = 0.2016 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.2016 * 0.4 * 6570 * 9 = 4768.24 \text{ nSvy}^{-1}$$

Белфаст црни гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.446 * 6}{20 * 0.1} = 1.34 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.34 * 0.4 * 6570 * 9 = 31693.68 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.446 * 6}{20 * 0.3} = 0.446 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.446 * 0.4 * 6570 * 9 = 10548.79 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.446 * 6}{20 * 0.5} = 0.2676 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.2676 * 0.4 * 6570 * 9 = 6329.2752 \text{ nSvy}^{-1}$$

Белфаст светли гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.323 * 6}{20 * 0.1} = 0.97 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.97 * 0.4 * 6570 * 9 = 22942.44 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.323 * 6}{20 * 0.3} = 0.323 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.323 * 0.4 * 6570 * 9 = 7639.596 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.323 * 6}{20 * 0.5} = 0.1938 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.21938 * 0.4 * 6570 * 9 = 4583.75 \text{ nSvy}^{-1}$$

Белфаст медиум гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.343 * 6}{20 * 0.1} = 1.03 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.03 * 0.4 * 6570 * 9 = 24361.56 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.343 * 6}{20 * 0.3} = 0.323 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.323 * 0.4 * 6570 * 9 = 8112.636 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.343 * 6}{20 * 0.5} = 0.2058 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.2058 * 0.4 * 6570 * 9 = 4867.58 \text{ nSvy}^{-1}$$

Белфаст рефлехтор гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.358 * 6}{20 * 0.1} = 1.07 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.07 * 0.4 * 6570 * 9 = 25307.64 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.358 * 6}{20 * 0.3} = 0.358 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.358 * 0.4 * 6570 * 9 = 8467.4166 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.358 * 6}{20 * 0.5} = 0.2148 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.2058 * 0.4 * 6570 * 9 = 5080.44 \text{ nSvy}^{-1}$$

Сантьяго браон гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.428 * 6}{20 * 0.1} = 1.28 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.28 * 0.4 * 6570 * 9 = 30274.56 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.428 * 6}{20 * 0.3} = 0.428 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.428 * 0.4 * 6570 * 9 = 10123.056 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.428 * 6}{20 * 0.5} = 0.258 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.258 * 0.4 * 6570 * 9 = 6073.8336 \text{ nSvy}^{-1}$$

Роса бета гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.467 * 6}{20 * 0.1} = 1.4 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.4 * 0.4 * 6570 * 9 = 33112.8 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.467 * 6}{20 * 0.3} = 0.467 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.467 * 0.4 * 6570 * 9 = 11045.48 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.467 * 6}{20 * 0.5} = 0.2802 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.2802 * 0.4 * 6570 * 9 = 6627.29 \text{ nSvy}^{-1}$$

Росо балморал гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.452 * 6}{20 * 0.1} = 1.36 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.36 * 0.4 * 6570 * 9 = 32166.72 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.452 * 6}{20 * 0.3} = 0.452 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.452 * 0.4 * 6570 * 9 = 11045.48 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.452 * 6}{20 * 0.5} = 0.2712 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.2712 * 0.4 * 6570 * 9 = 6414.422 \text{ nSvy}^{-1}$$

Кинава класико гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.525 * 6}{20 * 0.1} = 1.58 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.58 * 0.4 * 6570 * 9 = 37370.16 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.525 * 6}{20 * 0.3} = 0.525 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.525 * 0.4 * 6570 * 9 = 12417.3 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.525 * 6}{20 * 0.5} = 0.315 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.315 * 0.4 * 6570 * 9 = 7450.38 \text{ nSvy}^{-1}$$

Парадизо класико гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.789 * 6}{20 * 0.1} = 2.37 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 2.37 * 0.4 * 6570 * 9 = 56055.24 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.789 * 6}{20 * 0.3} = 0.789 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.789 * 0.4 * 6570 * 9 = 18661.42 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.789 * 6}{20 * 0.5} = 0.47 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.47 * 0.4 * 6570 * 9 = 11196.85 \text{ nSvy}^{-1}$$

Империјал црвени:

$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.513 * 6}{20 * 0.1} = 1.54 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.54 * 0.4 * 6570 * 9 = 36424.08 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.513 * 6}{20 * 0.3} = 0.513 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.513 * 0.4 * 6570 * 9 = 12133.47 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.513 * 6}{20 * 0.5} = 0.30 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.30 * 0.4 * 6570 * 9 = 7280.08 \text{ nSvy}^{-1}$$

Бианко сардо гранит:

$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.283 * 6}{20 * 0.1} = 0.85 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.85 * 0.4 * 6570 * 9 = 20104.2 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.283 * 6}{20 * 0.3} = 0.513 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.513 * 0.4 * 6570 * 9 = 6693.516 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.283 * 6}{20 * 0.5} = 0.16 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.16 * 0.4 * 6570 * 9 = 4016.10 \text{ nSvy}^{-1}$$

Лупарана африка гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.354 * 6}{20 * 0.1} = 1.06 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.06 * 0.4 * 6570 * 9 = 25071.12 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.354 * 6}{20 * 0.3} = 0.513 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.513 * 0.4 * 6570 * 9 = 8372.80 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.354 * 6}{20 * 0.5} = 0.30 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.30 * 0.4 * 6570 * 9 = 5023.68 \text{ nSvy}^{-1}$$

Парадизо пинк гранит:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.299 * 6}{20 * 0.1} = 0.9 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.9 * 0.4 * 6570 * 9 = 21286.8 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.299 * 6}{20 * 0.3} = 0.299 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.299 * 0.4 * 6570 * 9 = 7071.948 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.299 * 6}{20 * 0.5} = 0.17 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.17 * 0.4 * 6570 * 9 = 4243.16 \text{ nSvy}^{-1}$$

Парадизо колибри гранит:

$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.361 * 6}{20 * 0.1} = 1.08 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.08 * 0.4 * 6570 * 9 = 25544.16 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.299 * 6}{20 * 0.3} = 0.299 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.299 * 0.4 * 6570 * 9 = 8538.37 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.299 * 6}{20 * 0.5} = 0.21 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.21 * 0.4 * 6570 * 9 = 5123.02 \text{ nSvy}^{-1}$$

Росо сантьяго гранит:

$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.402 * 6}{20 * 0.1} = 1.21 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.21 * 0.4 * 6570 * 9 = 28618.92 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.402 * 6}{20 * 0.3} = 0.402 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.402 * 0.4 * 6570 * 9 = 9508.1 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.402 * 6}{20 * 0.5} = 0.24 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.24 * 0.4 * 6570 * 9 = 5704.86 \text{ nSvy}^{-1}$$

Тропикал гуарана гранит:

$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.603 * 6}{20 * 0.1} = 1.81 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.81 * 0.4 * 6570 * 9 = 42810.12 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.603 * 6}{20 * 0.3} = 0.603 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.603 * 0.4 * 6570 * 9 = 14262.15 \text{ nSvy}^{-1}$$

$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.603 * 6}{20 * 0.5} = 0.36 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.36 * 0.4 * 6570 * 9 = 8557.29 \text{ nSvy}^{-1}$$

Роса сардо гранит:

$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.415 * 6}{20 * 0.1} = 1.25 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.25 * 0.4 * 6570 * 9 = 29565 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.415 * 6}{20 * 0.3} = 0.415 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.415 * 0.4 * 6570 * 9 = 9815.58 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.415 * 6}{20 * 0.5} = 0.249 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.36 * 0.4 * 6570 * 9 = 5889.348 \text{ nSvy}^{-1}$$

У табели 5.6. представљене су упоредне дозе на годишњем нивоу које особа прими од еманираног радона из гранита на основу сценарија 1, у зависности од вентилације просторије.

Табела 5.6. Упоредни приказ примљених доза на годишњем нивоу еманираног радона из гранита (у зависности од вентилације).

Р.Бр.	Гранит	$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$
		Примљена доза [nSvy ⁻¹]		
1	Неро Асолуто	11352.96	3807.97	2284.78
2	Африка црвени	17739.00	5889.35	3533.61
3	Копаонички гранит	15373.80	5085.18	3051.11
4	Импала	15373.80	5132.48	3079.49
5	Јабланички гранит	35004.96	11660.44	6996.26
6	Зимбабве	33349.32	11092.79	6655.67
7	Бенгал	40917.96	13623.55	8174.13
8	Балктички браон	23888.52	7947.07	4768.24
9	Белфаст црни	31693.68	10548.79	6329.28
10	Белфаст светли	22942.44	7639.60	4583.76
11	Белфаст медиум	24361.56	8112.64	4867.58
12	Белфаст рефлектор	25307.64	8467.42	5080.45
13	Сантјаго браон	30274.56	10123.06	6073.83
14	Росабета	33112.80	11045.48	6627.29
15	Росо балморал	32166.72	10690.70	6414.42
16	Кинава класико	37370.16	12417.30	7450.38
17	Парадисо класико	56055.24	18661.43	11196.86

18	Империаал црвени	36424.08	12133.48	7280.09
19	Бианко сардо	20104.20	6693.52	4016.11
20	Јупарана африка	25071.12	8372.81	5023.68
21	Парадисо пинк	21286.80	7071.95	4243.17
22	Парадисо колибри	25544.16	8538.37	5123.02
23	Росо сантиаго	28618.92	9508.10	5704.86
24	Тропикал гуарана	42810.12	14262.16	8557.29
25	Росасардо	29565.00	9815.58	5889.35

На графику 5.8. упоредно су приказане дозе на годишњем нивоу које особа прими од еманираног радона из гранита на основу сценарија 1, у зависности од вентилације просторије.

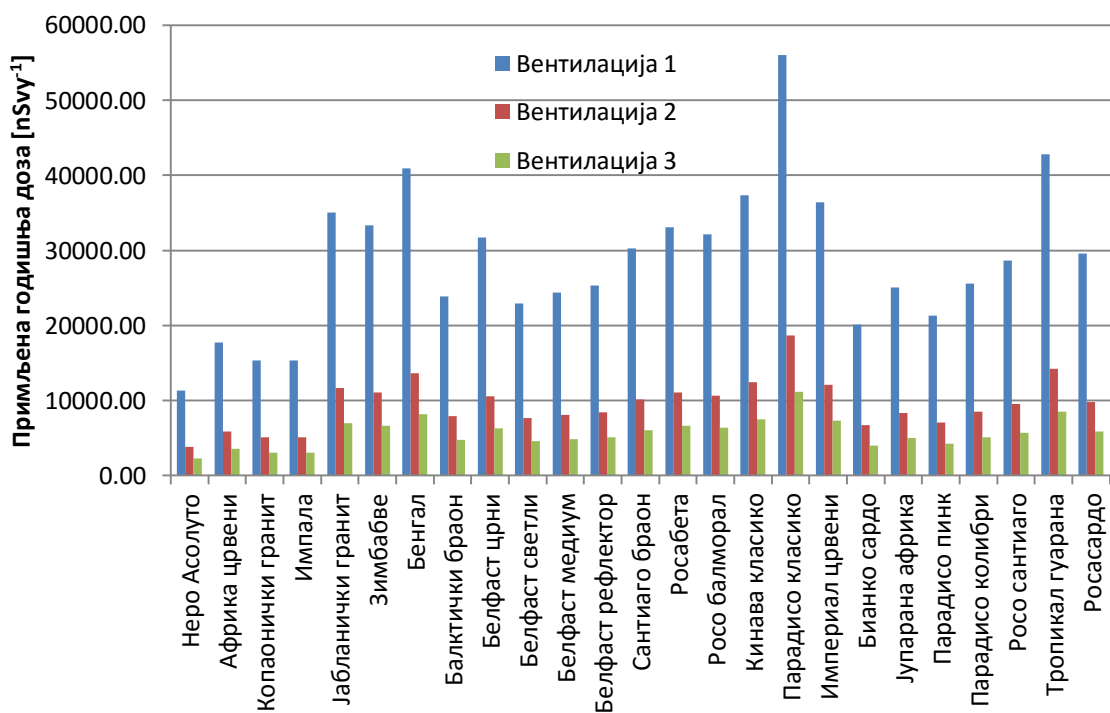


График 5.8. Упоредни приказ доза (у зависности од вентилације)

На графику 5.9. приказане су зависности концентрација емираног радона, у зависности од вентилације.

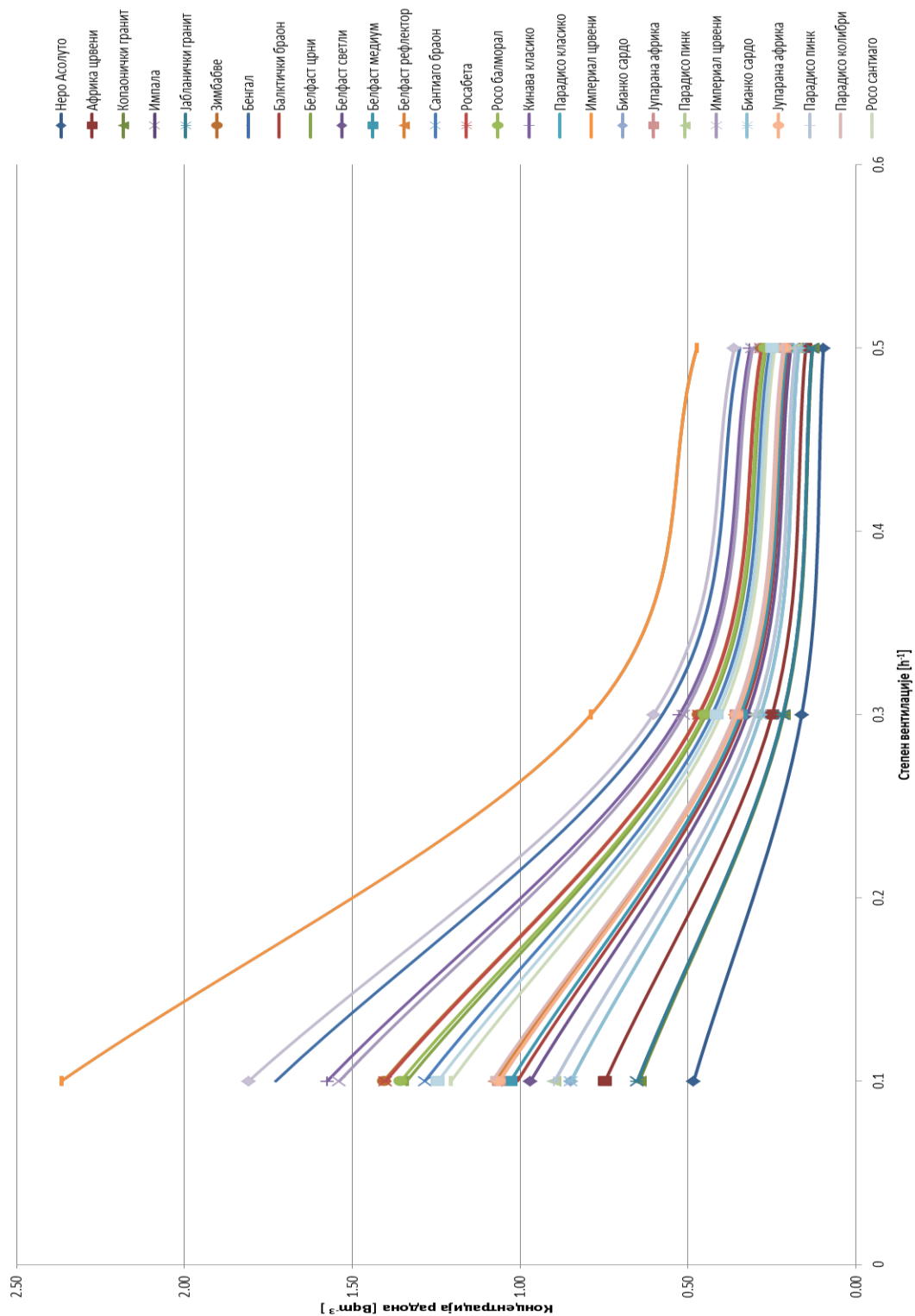


График 5.9. Зависност концентрација емираног радона од концентрације

На сценарио 1 може се надовезати сценарио 2, који претпоставља да особа станује у стану од сипорекса, печене цигле или блокова запремине 110 m^3 , укупне површине зидова 70 m^2 израђене од ових материјала, као и пода површине 64 m^2 , израђеног од бетона, и у њему проводи такође 75% времена. Зидови купатила су прекривени керамичким плочицама укупне површине 20 m^2 , док је запремина купатила 10 m^3 , у коме особа дневно проведе сат времена. Концентрације и дозе радона се рачунају на истоветан начин као и код гранита.

Бетон:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.21 * 64}{110 * 0.1} = 1.22 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.22 * 0.4 * 6570 * 9 = 28855.44 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.21 * 64}{110 * 0.3} = 0.40 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.40 * 0.4 * 6570 * 9 = 9632.81 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.21 * 64}{110 * 0.5} = 0.24 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.24 * 0.4 * 6570 * 9 = 5779.69 \text{ nSvy}^{-1}$$

Сипорекс:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.21 * 70}{110 * 0.1} = 1.35 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.35 * 0.4 * 6570 * 9 = 31930.20 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.21 * 70}{110 * 0.3} = 0.44 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.44 * 0.4 * 6570 * 9 = 10636.23 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.21 * 70}{110 * 0.5} = 0.26 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.26 * 0.4 * 6570 * 9 = 6381.74 \text{ nSvy}^{-1}$$

Печена цигла пуна:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.214 * 70}{110 * 0.1} = 1.36 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.36 * 0.4 * 6570 * 9 = 32166.72 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.214 * 70}{110 * 0.3} = 0.45 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.45 * 0.4 * 6570 * 9 = 10736.57 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.214 * 70}{110 * 0.5} = 0.27 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.27 * 0.4 * 6570 * 9 = 6441.94 \text{ nSvy}^{-1}$$

Глинени блок:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.243 * 70}{110 * 0.1} = 0.73 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.73 * 0.4 * 6570 * 9 = 17265.96 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.243 * 70}{110 * 0.3} = 0.243 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.243 * 0.4 * 6570 * 9 = 5747.44 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.243 * 70}{110 * 0.5} = 0.14 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.14 * 0.4 * 6570 * 9 = 3448.46 \text{ nSvy}^{-1}$$

Кермавичке плочице:

$$\lambda_v = 0.1 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.148 * 70}{110 * 0.1} = 3.7 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 3.7 * 0.4 * 365 * 9 = 4861.80 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.3 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.148 * 70}{110 * 0.3} = 1.23 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 1.23 * 0.4 * 365 * 9 = 1620.6 \text{ nSvy}^{-1}$$

$$\lambda_v = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$C_{Rn} = \frac{E_a A}{V \lambda_v} = \frac{0.148 * 70}{110 * 0.5} = 0.27 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$\dot{H}_I = C_i F_i O \times DCF = 0.27 * 0.4 * 365 * 9 = 972.36 \text{ nSvy}^{-1}$$

У табели 5.7. упоредо су приказане примљене дозе на годишњем нивоу у резиденцијалном објекту израђеном од разних грађевинским материјала, у зависности од вентилације.

Табела 5.7. Упоредни приказ примљених доза на годишњем нивоу еманираног радона из разних грађевинских материјала (у зависности од вентилације)

Р.Бр.	Гранит	$\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
		Примљена доза [nSvy^{-1}]		
1	Бетон	28855.44	9632.81	5779.69
2	Подне плочице(више произвођача)	4861.80	1620.60	972.36
3	Сипорекс блок	31930.20	10636.23	6381.74
4	Печена цигла пуна	32166.72	10736.57	6441.94
5.	Глинени блок	17265.96	5747.44	3448.46

На графику 5.10. упоредо су приказане годишње дозе која особа прими од разних грађевинских материјала, у зависности од вентилације у резиденцијалном објекту.

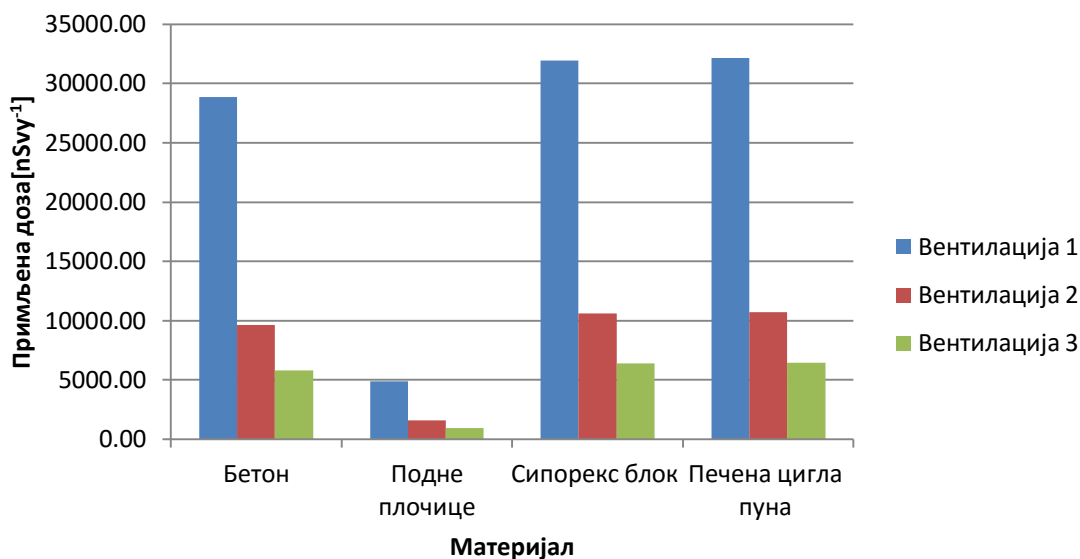


График 5.10. Упоредни приказ примљених годишњих доза од разних грађевинских материјала (у зависности од вентилације)

Сабирањем примљених доза из ових сценарија долази се до укупне примљене дозе у резиденцијалном објекту. У табели 5.8. приказане су укупне годишње дозе за разне режиме вентилације у стамбеном простору израђеном од сипорекса. Дозе примљене од гранитне плоче и зидних плочица се урачунавају за ма који грађевински материјал коришћен за изградњу објекта.

У табели 5.9. приказане су укупне примљене годишње дозе за разне режиме вентилације у стамбеном простору израђеном од пуне печене цигле. Дозе примљене од гранитне плоче и зидних плочица такође се урачунавају за одређени режим вентилације.

У табели 5.10. приказане су укупне примљене годишње дозе за разне режиме вентилације у стамбеном простору израђеном од глинених блокова. Дозе примљене од гранитне плоче и зидних плочица се се такође урачунавају за одређени режим вентилације.

На графику 5.11. приказане су зависности доза од материјала који је коришћен за изградњу стамбених објеката, заједно са гранитима који су коришћени за радне површине или декоративне елементе.

Табела 5.8. Укупне годишње примљене дозе у стану израђеном од сипорекс блокова (у зависности од вентилације)

Материјал од кога је израђен објекат	Гранит коришћен у стамбеном објекту	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
Сипорекс	Неро Асолуто	77000.4	25697.61	15418.57
	Африка црвени	83386.44	27778.99	16667.4
	Копаонички гранит	81021.24	26974.82	16184.9
	Импала	81021.24	27022.12	16213.28
	Јабланички гранит	100652.4	33550.08	20130.05
	Зимбабве	98996.76	32982.43	19789.46
	Бенгал	106565.4	35513.19	21307.92
	Балктички браон	89535.96	29836.71	17902.03
	Белфаст црни	97341.12	32438.43	19463.07
	Белфаст светли	88589.88	29529.24	17717.55
	Белфаст медиум	90009	30002.28	18001.37
	Белфаст рефлектор	90955.08	30357.06	18214.24
	Сантиаго браон	95922	32012.7	19207.62
	Росабета	98760.24	32935.12	19761.08
	Росо балморал	97814.16	32580.34	19548.21
	Кинава класико	103017.6	34306.94	20584.17
	Парадисо класико	121702.68	40551.07	24330.65
	Имperiал црвени	102071.52	34023.12	20413.88
	Бианко сардо	85751.64	28583.16	17149.9
	Јупарана африка	90718.56	30262.45	18157.47
	Парадисо пинк	86934.24	28961.59	17376.96
Парадисо колибри	91191.6	30428.01	18256.81	
Росо santiаго	94266.36	31397.74	18838.65	
Тропикал гуарана	103595.76	36151.8	8557.29	
Росасардо	90350.64	31705.22	5889.35	

Табела 5.9. Укупне годишње примљене дозе у стану израђеном од пуне печене цигле (у зависности од вентилације)

Материјал од кога је израђен објекат	Гранит коришћен у стамбеном објекту	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
Пуна печена цигла	Неро Асолуто	77236.2	25797.38	15477.83
	Африка црвени	83622.24	27878.76	16726.66
	Копаонички гранит	81257.04	27074.59	16244.16
	Импала	81257.04	27121.89	16272.54
	Јабланички гранит	100888.2	33649.85	20189.31
	Зимбабве	99232.56	33082.2	19848.72
	Бенгал	106801.2	35612.96	21367.18
	Балктички браон	89771.76	29936.48	17961.29
	Белфаст црни	97576.92	32538.2	19522.33
	Белфаст светли	88825.68	29629.01	17776.81
	Белфаст медиум	90244.8	30102.05	18060.63
	Белфаст рефлектор	91190.88	30456.83	18273.5
	Сантиаго браон	96157.8	32112.47	19266.88
	Росабета	98996.04	33034.89	19820.34
	Росо балморал	98049.96	32680.11	19607.47
	Кинава класико	103253.4	34406.71	20643.43
	Парадисо класико	121938.48	40650.84	24389.91
	Империл црвени	102307.32	34122.89	20473.14
	Бианко сардо	85987.44	28682.93	17209.16
	Јупарана африка	90954.36	30362.22	18216.73
Парадисо пинк	87170.04	29061.36	17436.22	
Парадисо колибри	91427.4	30527.78	18316.07	
Росо сантиаго	94502.16	31497.51	18897.91	
Тропикал гуарана	108693.36	36251.57	21750.34	
Росасардо	95448.24	31804.99	19082.4	

Табела 5.10. Укупне годишње примљене дозеу стану израђеном од пуне печене цигле (у зависности од вентилације)

Материјал од кога је израђен објекат	Гранит коришћен у стамбеном објекту	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
Глинени блок	Неро Асолуто	62336.16	20808.82	12485.29
	Африка црвени	68722.2	22890.2	13734.12
	Копаонички гранит	66357	22086.03	13251.62
	Импала	66357	22133.33	13280
	Јабланички гранит	85988.16	28661.29	17196.77
	Зимбабве	84332.52	28093.64	16856.18
	Бенгал	91901.16	30624.4	18374.64
	Балктички браон	74871.72	24947.92	14968.75
	Белфаст црни	82676.88	27549.64	16529.79
	Белфаст светли	73925.64	24640.45	14784.27
	Белфаст медиум	75344.76	25113.49	15068.09
	Белфаст рефлектор	76290.84	25468.27	15280.96
	Сантјаго браон	81257.76	27123.91	16274.34
	Росабета	84096	28046.33	16827.8
	Росо балморал	83149.92	27691.55	16614.93
	Кинава класико	88353.36	29418.15	17650.89
	Парадизо класико	107038.44	35662.28	21397.37
	Имperiал црвени	87407.28	29134.33	17480.6
	Бианко сардо	71087.4	23694.37	14216.62
	Јупарана африка	76054.32	25373.66	15224.19
Парадизо пинк	72270	24072.8	14443.68	
Парадизо колибри	76527.36	25539.22	15323.53	
Росо сантјаго	79602.12	26508.95	15905.37	
Тропикал гуарана	93793.32	31263.01	18757.8	
Росасардо	80548.2	26816.43	16089.86	

Сценарио 3.

Досад је извршена процена озрачења у стамбеном простору, па се може поставити следећи сценарио: особа из првог сценарија ради у простору у коме је под начињен од гранита. Површина пода је 100 m², док је запремина простора 220 m³. Радни простор опет може бити направљен од сипорекс блокова, печене цигле или блокова. Претпоставка је да особа

дневно проведе минимум 6 сати на радном месту, односно преосталих 25 % , надовезујући се на сценарио 1, 220 радних дана у години, односно 1320 сати. Рачунање доза и концентрација радона се врши на истоветан начин као и за претходни сценарио, са овим измењеним параметрима, па ће због рационализације бити представљене само крајње процене доза.

Годишње примљене дозе еманираног радона из гранита дате су у табели 5.11.

Табела 5.11. Упоредни приказ примљених доза на годишњем нивоу еманираног радона из гранита површине 100 m² (у зависности од вентилације)

Р.Бр.	Гранит	$\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
		Примљена доза [nSvy ⁻¹]		
1	Неро Асолуго	3477.6	1159.2	695.52
2	Африка црвени	5378.4	1792.8	1075.68
3	Кобаонички гранит	4644	1548	928.8
4	Импала	4687.2	1562.4	937.44
5	Јабланички гранит	10648.8	3549.6	2129.76
6	Зимбабве	10130.4	3376.8	2026.08
7	Бенгал	12441.6	4147.2	2488.32
8	Балктички браон	7257.6	2419.2	1451.52
9	Белфаст црни	9633.6	3211.2	1926.72
10	Белфаст светли	6976.8	2325.6	1395.36
11	Белфаст медиум	7408.8	2469.6	1481.76
12	Белфаст рефлектор	7732.8	2577.6	1546.56
13	Санџаго браон	9244.8	3081.6	1848.96
14	Росабета	10087.2	3362.4	2017.44
15	Росо балморал	9763.2	3254.4	1952.64
16	Кинава класико	11340	3780	2268
17	Парадисо класико	17042.4	5680.8	3408.48
18	Империал црвени	11080.8	3693.6	2216.16
19	Бианко сардо	6112.8	2037.6	1222.56
20	Јупарана африка	7646.4	2548.8	1529.28
21	Парадисо пинк	6458.4	2152.8	1291.68
22	Парадисо колибри	3477.6	1159.2	695.52
23	Росо санџаго	7797.6	2599.2	1559.52
24	Тропикал гуарана	8683.2	2894.4	1736.64
25	Росасардо	13024.8	4341.6	2604.96

Слично као и код претходног сценарија, могу се прорачунати преостале годишње дозе и за грађевински материјал у радном простору за новопостављене параметре. Улазни параметри су : $R_{\text{зидова}}=880\text{m}^2$, $R_{\text{плафона}}=100 \text{ m}^2$.

Резултати процена укупних годишњих доза за простор у коме је под начињен од гранита, док су зидови начињени од сипорекс блокова, дати су у табели 5.12.

Резултати процена укупних годишњих доза за простор у коме је под начињен од гранита, док су зидови начињени од печене цигле, дати су у табели 5.13.

Резултати процена укупних годишњих доза за простор у коме је под начињен од гранита, док су зидови начињени од глинених блокова, дати су у табели 5.14.

Табела 5.12. Укупне годишње примљене дозеу радном простору израђеном од сипорекс блокова (у зависности од вентилације)

Материјал од кога је израђен објекат	Гранит коришћен као под у стамбеном објекту	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
Сипорекс	Неро Асолуто	49580.64	16526.78	9915.736
	Африка црвени	51481.44	17160.38	10295.896
	Копаонички гранит	50747.04	16915.58	10149.016
	Импала	50790.24	16929.98	10157.656
	Јабланички гранит	56751.84	18917.18	11349.976
	Зимбабве	56233.44	18744.38	11246.296
	Бенгал	58544.64	19514.78	11708.536
	Балктички браон	53360.64	17786.78	10671.736
	Белфаст црни	55736.64	18578.78	11146.936
	Белфаст светли	53079.84	17693.18	10615.576
	Белфаст медиум	53511.84	17837.18	10701.976
	Белфаст рефлектор	53835.84	17945.18	10766.776
	Сантиаго браон	55347.84	18449.18	11069.176
	Росабета	56190.24	18729.98	11237.656
	Росо балморал	55866.24	18621.98	11172.856
	Кинава класико	57443.04	19147.58	11488.216
	Парадисо класико	63145.44	21048.38	12628.696
	Имperiал црвени	57183.84	19061.18	11436.376
	Бианко сардо	52215.84	17405.18	10442.776
	Јупарана африка	53749.44	17916.38	10749.496
	Парадисо пинк	52561.44	17520.38	10511.896
Парадисо колибри	49580.64	16526.78	9915.736	
Росо santiаго	53900.64	17966.78	10779.736	
Тропикал гуарана	54786.24	18261.98	10956.856	
Росасардо	59127.84	19709.18	11825.176	

Табела 5.13. Укупне годишње примљене дозе у радном простору израђеном од сипорекс блокова (у зависности од вентилације)

Материјал од кога је израђен објекат	Гранит коришћен као под у стамбеном објекту	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
Печена цигла	Неро Асолуто	49960.80	16653.5	9992.16
	Африка црвени	51861.60	17287.1	10372.32
	Копаонички гранит	51127.20	17042.3	10225.44
	Импала	51170.40	17056.7	10234.08
	Јабланички гранит	57132.00	19043.9	11426.4
	Зимбабве	56613.60	18871.1	11322.72
	Бенгал	58924.80	19641.5	11784.96
	Балктички браон	53740.80	17913.5	10748.16
	Белфаст црни	56116.80	18705.5	11223.36
	Белфаст светли	53460.00	17819.9	10692
	Белфаст медиум	53892.00	17963.9	10778.4
	Белфаст рефлектор	54216.00	18071.9	10843.2
	Сантиаго браон	55728.00	18575.9	11145.6
	Росабета	56570.40	18856.7	11314.08
	Росо балморал	56246.40	18748.7	11249.28
	Кинава класико	57823.20	19274.3	11564.64
	Парадисо класико	63525.60	21175.1	12705.12
	Имperiал црвени	57564.00	19187.9	11512.8
	Бианко сардо	52596.00	17531.9	10519.2
	Јупарана африка	54129.60	18043.1	10825.92
	Парадисо пинк	52941.60	17647.1	10588.32
Парадисо колибри	49960.80	16653.5	9992.16	
Росо santiаго	54280.80	18093.5	10856.16	
Тропикал гуарана	55166.40	18388.7	11033.28	
Росасардо	59508.00	19835.9	11901.6	

Табела 5.14. Укупне годишње примљене дозе у радном простору израђеном од сипорекс блокова (у зависности од вентилације)

Материјал од кога је израђен објект	Гранит коришћен као под у стамбеном објекту	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [nSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
Глинени блокови	Неро Асолуто	55473.12	18463.94	11130.616
	Африка црвени	57373.92	19097.54	11510.776
	Копаонички гранит	56639.52	18852.74	11363.896
	Импала	56682.72	18867.14	11372.536
	Јабланички гранит	62644.32	20854.34	12564.856
	Зимбабве	62125.92	20681.54	12461.176
	Бенгал	64437.12	21451.94	12923.416
	Балктички браон	59253.12	19723.94	11886.616
	Белфаст црни	61629.12	20515.94	12361.816
	Белфаст светли	58972.32	19630.34	11830.456
	Белфаст медиум	59404.32	19774.34	11916.856
	Белфаст рефлектор	59728.32	19882.34	11981.656
	Сантиаго браон	61240.32	20386.34	12284.056
	Росабета	62082.72	20667.14	12452.536
	Росо балморал	61758.72	20559.14	12387.736
	Кинава класико	63335.52	21084.74	12703.096
	Парадисо класико	69037.92	22985.54	13843.576
	Имperiал црвени	63076.32	20998.34	12651.256
	Бианко сардо	58108.32	19342.34	11657.656
	Јупарана африка	59641.92	19853.54	11964.376
Парадисо пинк	58453.92	19457.54	11726.776	
Парадисо колибри	55473.12	18463.94	11130.616	
Росо santiаго	59793.12	19903.94	11994.616	
Тропикал гуарана	60678.72	20199.14	12171.736	
Росасардо	65020.32	21646.34	13040.056	

Коначно, могу се претпоставити укупне дозе коју особа прими у стамбеном објекту и на радном месту за годину дана. Ово се постиже сабирањем доза из свих сценарија за одређени режим вентилације.

Приликом ове процене треба водити рачуна о могућим комбинацијама грађевинских материјала. Наиме, могуће је да особа живи у стамбеном објекту израђеном од сипорекс блокова, а ради у објекту израђеном од печене цигле или глинених блокова и обрнуто. У наредним табелама биће сумиране разне комбинације озрачивања у резиденцијалном и радном простору.

У табели 5.14. сумиране су укупне годишње примљене дозе у стамбеном простору израђеном од сипорекс блокова и радног простора који је такође израђен од сипорекс блокова, у зависности од режима измене ваздуха.

У табели 5.15. сумиране су укупне годишње примљене дозе у стамбеном простору израђеном од сипорекс блокова и радног простора израђеног од печене цигле, у зависности од режима измене ваздуха.

У табели 5.16. сумиране су укупне годишње примљене дозе у стамбеном простору израђеном од сипорекс блокова и радног простора израђеног од печене цигле, у зависности од режима измене ваздуха.

Табела 5.14. укупне годишње примљене дозу стамбеном простору израђеном од сипорекс блокова и радног простора такође израђеног од сипорекс блокова (у зависности од режима измене ваздуха)

Гранит коришћен у стамбеном и радном простору	Укупна годишња доза [μSvy^{-1}] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [μSvy^{-1}] при $\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [μSvy^{-1}] при $\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
Неро Асолуто	130	40	30
Африка црвени	130	40	30
Копаонички гранит	130	40	30
Импала	130	40	30
Јабланички гранит	160	50	30
Зимбабве	160	50	30
Бенгал	170	60	30
Балктички браон	140	50	30
Белфаст црни	150	50	30
Белфаст светли	140	50	30
Белфаст медиум	140	50	30
Белфаст рефлектор	140	50	30
Сангиаго браон	150	50	30
Росабета	150	50	30
Росо балморал	150	50	30
Кинава класико	160	50	30
Парадисо класико	180	60	40
Империал црвени	160	50	30
Бианко сардо	140	50	30
Јупарана африка	140	50	30
Парадисо пинк	140	50	30
Парадисо колибри	140	50	30
Росо сангиаго	150	50	30
Тропикал гуарана	160	50	20
Росасардо	150	50	20

Табела 5.15. Укупне годишње примљене дозе у стамбеном простору израђеном од сипорекс блокова и радном простору израђеном од печене цигле (у зависности од режима измене ваздуха)

Гранит коришћен у стамбеном и радном простору	Укупна годишња доза [$\mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [$\mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$] при $\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [$\mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$] при $\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
Неро Асолуто	130	50	30
Африка црвени	140	60	30
Копаонички гранит	130	50	30
Импала	130	50	30
Јабланички гранит	160	50	30
Зимбабве	160	50	30
Бенгал	170	50	30
Балктички браон	140	50	30
Белфаст црни	150	50	30
Белфаст светли	140	50	30
Белфаст медиум	140	50	30
Белфаст рефлектор	140	60	40
Сантиаго браон	150	50	30
Росабета	160	50	30
Росо балморал	150	50	30
Кинава класико	160	50	30
Парадисо класико	190	50	30
Империл црвени	160	50	30
Бианко сардо	140	50	20
Јупарана африка	140	50	20
Парадисо пинк	140	50	30
Парадисо колибри	140	60	30
Росо сантиаго	150	50	30
Тропикал гуарана	160	50	30
Росасардо	150	50	0.03

Табела 5.16. Укупне годишње примљене дозе у стамбеном простору израђеном од сипорекс блокова и радном простору израђеном од глиненних блокова (у зависности од режима измене ваздуха)

Гранит коришћен у стамбеном и радном простору	Укупна годишња доза [μSvy^{-1}] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [μSvy^{-1}] при $\lambda_v=0.3 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [μSvy^{-1}] при $\lambda_v=0.5 \text{ h}^{-1}$
Неро Асолуто	130	40	30
Африка црвени	140	50	30
Копаонички гранит	140	50	30
Импала	140	50	30
Јабланички гранит	160	50	30
Зимбабве	160	50	30
Бенгал	170	60	30
Балктички браон	150	50	30
Белфаст црни	160	50	30
Белфаст светли	150	50	30
Белфаст медиум	150	50	30
Белфаст рефлектор	150	50	30
Сангиаго браон	160	50	30
Росабета	160	50	30
Росо балморал	160	50	30
Кинава класико	170	60	30
Парадисо класико	190	60	40
Имperiал црвени	170	60	30
Бианко сардо	140	50	30
Јупарана африка	150	50	30
Парадисо пинк	150	50	30
Парадисо колибри	150	50	30
Росо сангиаго	150	50	30
Тропикал гуарана	160	60	20
Росасардо	0.16	0.05	0.02

Сценарио 4.

Хипотетички, може се поставити и мало вероватни сценарио у коме особа проводи 75% времена, односно 7952 сати годишње, у просторији у целости израђеној од гранита. Просторија има укупну површину зидова од 150 m² и запремину од 50 m³.

Поред досадашњих режима вентилације, у овом сценарију су процењене дозе и за минималну размену ваздуха (хиљадити део запремине просторије и стоти део запремине просторије на сат времена) из просторије са спољашњом средином.

Концентрације радона и укупне примљене дозе се рачунају на истоветан начин као у пређашњим сценаријима са горенаведеним улазним параметрима.

У табели 5.17. представљене су примљене дозе на годишњем нивоу.

Табела 5.17. Примљене дозе на годишњем нивоу

Гранит коришћен у стамбеном и радном простору	Укупна годишња доза [mSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.001 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [mSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.01 \text{ h}^{-1}$	Укупна годишња доза [mSvy ⁻¹] при $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$
Неро Асолуто	13.20	1.32	0.14
Африка црвени	20.42	2.04	0.21
Копаонички гранит	17.63	1.76	0.18
Импала	17.79	1.78	0.19
Јабланички гранит	40.42	4.04	0.42
Зимбабве	38.45	3.85	0.40
Бенгал	47.23	4.72	0.49
Балктички браон	27.55	2.75	0.29
Белфаст црни	36.57	3.66	0.38
Белфаст светли	26.48	2.65	0.28
Белфаст медиум	28.12	2.81	0.29
Белфаст рефлектор	29.35	2.94	0.31
Сантиаго браон	35.09	3.51	0.37
Росабета	38.29	3.83	0.40
Росо балморал	37.06	3.71	0.39

Кинава класико	13.20	4.30	0.45
Парадисо класико	64.69	6.47	0.44
Империл црвени	42.06	4.21	0.24
Бианко сардо	23.20	2.32	0.30
Јупарана африка	29.03	2.90	0.26
Парадисо пинк	24.52	2.45	0.31
Парадисо колибри	29.60	2.96	0.35
Росо сантиаго	32.96	3.30	0.52
Тропикал гуарана	49.44	0.02	0.36
Росасардо	34.03	0.01	0.44

5.3.2. Процена доза на основу просторне дистрибуције радона

Из табеле 5.3. примећује се да концентрације радона могу варирати од просторије до просторије у резиденцијалном или радном простору у зависности од архитектуре самог простора и решења вентилације између самих просторија или спољашње средине. У складу са тим, може се поставити следећи сценарио.

Особа проводи 1.5 сат дневно у WC-у, односно 547 сати годишње, 8 сати, односно 2920 сати годишње проводи спавајући у просторији 2, 9 сати дневно, односно 3285 сати годишње проведе у великој просторији. Преостало време, особа проводи напољу; међутим, ако потроши по 30 секунди у просторијама 5 и 6, које служе као антре, долази се до цифре од по 3 сата годишњег боравка у овим просторијама што ће, иако временски мало, ипак бити укључено у процену годишњих доза.

На основу просечних концентрација по просторијама добијеним у експерименту о просторној дистрибуцији радона, могу се поставити једначине примљених годишњих доза, при чему су променљиве концентрације радона по просторијама и време проведено у њима. Укупна доза се рачуна сабирањем свих годишњих доза по просторијама.

Просторија 1.

$$C_{Rn1}=731.9 \text{ Bqm}^{-3}, t_{\text{exp}}=547 \text{ h y}^{-1}$$

$$\dot{H}_1 = C_1 F_1 O \times DCF = 731.9 * 0.4 * 547 * 9 = 1441257,48 \text{ nSvy}^{-1} = 1.44 \text{ mSv y}^{-1}$$

Просторија 2.

$$C_{Rn2}=412.06 \text{ Bqm}^{-3}, t_{\text{exp}}=2920 \text{ h y}^{-1}$$

$$\dot{H}_2 = C_2 F_2 O \times DCF = 412.06 * 0.4 * 2920 * 9 = 4331574,6 \text{ nSvy}^{-1} = 4.33 \text{ mSv y}^{-1}$$

Просторија 3 и 4.

$$C_{Rn3,4}=291,74 \text{ Bqm}^{-3}, t_{\text{exp}}= 3285 \text{ h y}^{-1}$$

$$\dot{H}_1 = C_1 F_1 O \times DCF = 291,74 * 0.4 * 3285 * 9 = 3450117,2 \text{ nSvy}^{-1} = 3,45 \text{ mSv y}^{-1}$$

Просторија 5.

$$C_{Rn5}=168,74 \text{ Bqm}^{-3}, t_{\text{exp}}= 3 \text{ h y}^{-1}$$

$$\dot{H}_5 = C_5 F_1 O \times DCF = 168,74 * 0.4 * 3 * 9 = 1822,39 \text{ nSvy}^{-1} = 0,0018 \text{ mSv y}^{-1}$$

Просторија 6.

$$C_{Rn6}=61,16 \text{ Bqm}^{-3}, t_{\text{exp}}= 3 \text{ h y}^{-1}$$

$$\dot{H}_6 = C_6 F_1 O \times DCF = 61,16 * 0.4 * 3 * 9 = 1822,39 \text{ nSvy}^{-1} = 0,00066 \text{ mSv y}^{-1}$$

Укупна годишња доза се рачуна као:

$$\dot{H}_g = \sum_i^6 \dot{H}_i = 1.44 + 4.33 + 3.45 + 0.0018 + 0.00066 = 9.22 \text{ mSv y}^{-1}$$

С обзиром на то да су познате димензије склоништа, а ексхалација бетона је добијена експерименталним подацима, може се извести сет формула из једначина 4.14. и 4.24. како би се одредила стопа вентилације у склоништу по просторијама или у целом склоништу у тренутку експерименталног мерења концентрација радона. Такође, на основу изведених формула се може израчунати стопа вентилације која би свела стопу годишњих доза на прихватљив ниво.

Стопа вентилације између просторија се рачуна изражавањем λ_v из једначине 4.14., будући да једначина 4.23. није од значаја зато што се у овом случају посматра вентилација ваздуха између просторија које имају различите концентрације радона. Стопа вентилације између просторија се се израчунава као:

$$\lambda_v = \frac{E_0 A - C_1 \lambda V}{(C_1 - C_0) V} \quad (4.24.),$$

где је:

E_0 - ексхалација бетона од кога је склониште изграђено

A - укупна површина зидова, пода и плафона који еманирају радон

V - запремина испитиване просторије

C_1 - концентрација радона у просторији 1

C_2 - концентрација радона у просторији 2.

Стопа вентилације између просторије 1 и 2

$E_0=0.21 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$; $A=16.5 \text{ m}^2$; $V=4.5 \text{ m}^3$; $C_1=731,9 \text{ Bqm}^{-3}$; $C_2=412.06 \text{ Bqm}^{-3}$;
 $\lambda=0.00756 \text{ h}^{-1}$

$$\lambda_{v12} = \frac{E_0 A - C_1 \lambda V}{(C_1 - C_2) V} = \frac{0.21 * 16.5 - 731.9 * 0.00756 * 4.5}{(731.9 - 412.06) * 4.5} = -0.015 \text{ h}^{-1}$$

Стопа вентилације између просторије 2 и 3,4.

$E_0=0.21 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$; $A=24.75 \text{ m}^2$; $V=13.5 \text{ m}^3$; $C_2=412.064 \text{ Bqm}^{-3}$; $C_{3,4}=365.29 \text{ Bqm}^{-3}$;
 $\lambda=0.00756 \text{ h}^{-1}$

$$\lambda_{v12} = \frac{E_0 A - C_2 \lambda V}{(C_2 - C_{3,4}) V} = \frac{0.21 * 24.75 - 412.06 * 0.00756 * 13.5}{(412.06 - 365.29) * 13.5} = -0.05 \text{ h}^{-1}$$

Стопа вентилације између просторије 3,4 и 5

$E_0=0.21 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$; $A=126 \text{ m}^2$; $V=80 \text{ m}^3$; $C_{3,4}=218,19 \text{ Bqm}^{-3}$; $C_5=168.741 \text{ Bqm}^{-3}$;
 $\lambda=0.00756 \text{ h}^{-1}$

$$\lambda_{v12} = \frac{E_0 A - C_1 \lambda V}{(C_1 - C_2) V} = \frac{0.21 * 126 - 218.19 * 0.00756 * 80}{(218.19 - 168.741) * 80} = -0.02 \text{ h}^{-1}$$

Стопа вентилације између просторије 5 и 6

$E_0=0.21 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$; $A=74 \text{ m}^2$; $V=42 \text{ m}^3$; $C_2=412.064 \text{ Bqm}^{-3}$; $C_{3,4}=365.29 \text{ Bqm}^{-3}$;
 $\lambda=0.00756 \text{ h}^{-1}$

$$\lambda_{v12} = \frac{E_0 A - C_2 \lambda V}{(C_2 - C_{3,4}) V} = \frac{0.21 * 74 - 412.06 * 0.00756 * 42}{(412.06 - 365.29) * 42} = -0.02 \text{ h}^{-1}$$

Негативне вредности стопе вентилације су показатељ да склониште нема никакву вентилацију те долази до нагомилавања радона, што је и разумљиво, будући да се налази испод површине земље и једина размена се врши путем улазних врата. Механизми миграције радона у оваквим условима биће детаљније разматрани у следећем поглављу, на основу експерименталног истраживања миграције радона.

Комбинацијом једначина 4.23 и 4.24 може се изразити стопа вентилације потребна за прихватљиву годишњу дозу, која износи 1.5 mSv.

$$\lambda_V = \frac{E_a A F O \times DCF}{\dot{H}_i V} \quad (4.25)$$

За $E_a=0.21 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; $A=216 \text{ m}^2$, $V=140 \text{ m}^3$, и $t_{\text{exp}}=7300 \text{ h y}^{-1}$ добија се:

$$\lambda_V = \frac{E_a A F O \times DCF}{\dot{H}_i V} = \frac{0.21 * 216 * 0.4 * 7300 * 9}{1500000 * 140} = 0.0056 \text{ h}^{-1}$$

Применом исте једначине за већ израчунату дозу од 9.22 mSv y^{-1} рачуна се годишња стопа вентилације.

$$\lambda_V = \frac{E_a A F O \times DCF}{\dot{H}_i V} = \frac{0.21 * 216 * 0.4 * 7300 * 9}{9220000 * 140} = 0.0009 \text{ h}^{-1}$$

Из ове једначине се такође може израчунати годишња примљена доза, под условом да је позната стопа екхалације материјала, као и димензије простора.

$$\dot{H} = \frac{E A F O \times DCF}{V * \lambda_V} \quad (4.26)$$

Применом ових једначина израчунавају се дозе у зависности од вентилације. У табели 5.18. приказане су моделоване дозе за разне стопе вентилација.

Табела 5.18. Израчунате ефективне годишње дозе у зависности од вентилације

Стопа вентилације	$\lambda_v=0.0009 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v=0.001 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v=0.005 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v=0.01 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v=0.05 \text{ h}^{-1}$	$\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$
Годишња доза [mSv y ⁻¹]	9.22	8.51	1.7	0.85	0.17	0.085

На графику 5.11. приказана је зависност ефективних примљених доза од степена вентилације.

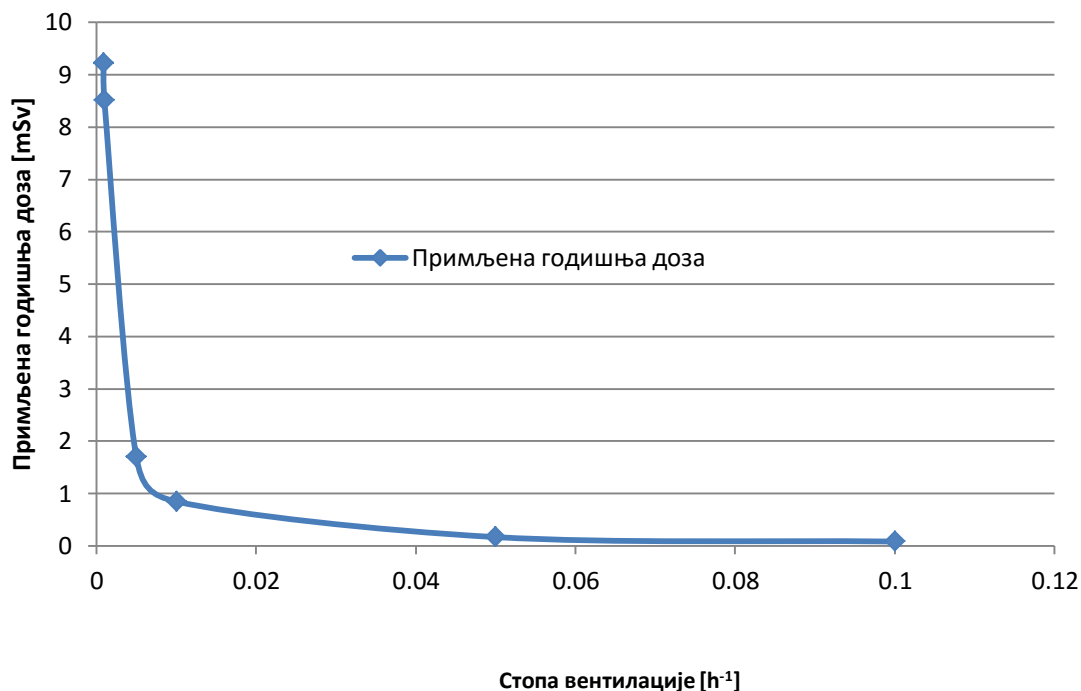


График 5.11. Зависност примљених ефективних доза од степена вентилације

5.3.3. Процена ефективних доза на основу дугорочних пасивних мерења

На основу експерименталних података добијених путем траг детектора, дугорочним пасивним техникама, могуће је израчунати дозе по следећем реалном сценарију на основу стварних догађаја.

За време НАТО агресије 1999. године популација је проводила већи део времена у атомским склоништима током 3 месеца. На основу личног искуства постављен је веома реалан сценарио како би се одредила ефективна доза примљена за ова три месеца, колико су и детектори били постављени у склоништима.

С обзиром на то да је коришћен по један пасивни детектор по склоништу (Табела 5.5.), а детектори су били постављени у висини респираторних органа, ове вредности ће се користити за главну ефективну дозу (време

provedeno u skloništu daњу), a za ozračivanje nastalo za vreme spavaња резидената на висини од 0.5 m и других времена озрачивања коришћени су експериментално добијени подаци активним мерним техникама.

С обзиром на то да је НАТО агресија трајала 72 дана, добија се укупно време експозиције од 1728 часова. Ако је особа спавала по 8 сати дневно у склоништу, добија се 576 сати. Одузимањем ова два времена експозиције долази се до преосталог времена од 1152 сати. Под претпоставком да је 70% овог преосталог времена provedeno у склоништу, долази се до времена експозиције од 806.4 сати, од којих је особа провела 72 сата у тоалету склоништа.

Склониште 1

$$C_{Rn} = 779 [\text{Bqm}^{-3}], t_{\text{exp}} = 734 \text{ h}$$

$$\dot{H}_{11} = C_{11} FO \times DCF = 779 * 0.4 * 734 * 9 = 2.05 \text{ mSv}$$

$$C_{Rn} = 731.9 [\text{Bqm}^{-3}], t_{\text{exp}} = 72 \text{ h}$$

$$\dot{H}_{12} = C_{12} FO \times DCF = 731.9 * 0.4 * 72 * 9 = 0.18 \text{ mSv}$$

$$C_{Rn} = 451 [\text{Bqm}^{-3}], t_{\text{exp}} = 576 \text{ h}$$

$$\dot{H}_{13} = C_{13} FO \times DCF = 451 * 0.4 * 576 * 9 = 0.93 \text{ mSv}$$

Укупна ефектина тромесечна доза се рачуна као:

$$\dot{H}_g = \sum_i^3 \dot{H}_i = 2.05 + 0.18 + 0.93 = 2.47 \text{ mSv}$$

или месечно

$$\dot{H}_g = \frac{\sum_i^3 \dot{H}_i}{3} = 1.05 \text{ mSv}.$$

Склониште 2

$$C_{Rn} = 518 [\text{Bqm}^{-3}], t_{\text{exp}} = 734 \text{ h}$$

$$\dot{H}_{11} = C_{11} FO \times DCF = 518 * 0.4 * 734 * 9 = 1.36 \text{ mSv}$$

$$C_{Rn} = 628.9 [\text{Bqm}^{-3}], t_{\text{exp}} = 72 \text{ h}$$

$$\dot{H}_{12} = C_{12} FO \times DCF = 628.9 * 0.4 * 72 * 9 = 0.16 \text{ mSv}$$

$$C_{Rn} = 372 [\text{Bqm}^{-3}], t_{\text{exp}} = 576 \text{ h}$$

$$\dot{H}_{13} = C_{13} FO \times DCF = 372 * 0.4 * 576 * 9 = 0.7 \text{ mSv}$$

Укупна ефектина тромесечна доза се рачуна као:

$$\dot{H}_g = \sum_i^3 \dot{H}_i = 1.36 + 0.16 + 0.7 = 2.22 \text{ mSv}$$

или месечно

$$\dot{H}_g = \frac{\sum_i^3 \dot{H}_i}{3} = 0.74 \text{ mSv}.$$

Склониште 3.

$$C_{Rn} = 502 [\text{Bq m}^{-3}], t_{\text{exp}} = 1209 \text{ h}$$

$$\dot{H}_{11} = C_{11} FO \times DCF = 502 * 0.4 * 1209 * 9 = 1.32 \text{ mSv} \text{ за период од три месеца}$$

Склониште 4.

$$C_{Rn} = 75 [\text{Bq m}^{-3}], t_{\text{exp}} = 1209 \text{ h}$$

$$\dot{H}_{11} = C_{11} FO \times DCF = 575 * 0.4 * 1209 * 9 = 0.36 \text{ mSv} \text{ за период од три месеца}$$

5.4. PHP/MYSQL интернет платформа за мапирање и резиденцијално моделовање

У циљу модернизације истраживања и складиштења резултата истраживача приступљено је изради јединственог информационог система који је намењен архивацији, обради и моделовању података.

На основу ових захтева, одабрана је релациона база података и *web* технологија за њен приступ и ажурирање. На овај начин, подаци који су међусобно у корелацији оптимално су повезани, а приступ и ажурирање је омогућено са различитих локација и са више клиената истовремено. За реализацију је одабрана MySQL база, а као веб језик за програмирање PHP и JavaScript и HTML.

PHP (Personal Home Page) је једно од најбољих server-side open source решења. Server Side Scripting значи да се скрипте извршавају на серверу, а не на корисниковом рачунару. PHP у комбинацији са MySQL је најпопуларнији језик за програмирање, и већина великих сајтова, портала и информационих система је рађена управо помоћу php језика и и mysql базе података. Оно што PHP издваја од осталих web скрипти јесте његова подршка за управљање широком палетом база података. Подржава све популарније базе података као што су MySQL, dBase, ORACLE, ODBC.

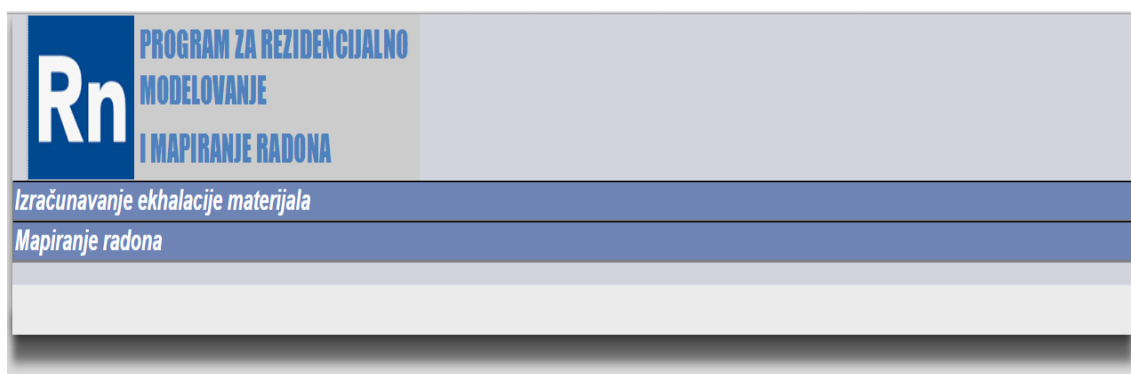
MySQL је послужитељ базе података којем се може приступити преко мреже, обично помоћу корисничког имена и лозинке. Такође, MySQL има велику предност због тога што постоје верзије за све оперативне системе и због тога што се издаје под GPL лиценцом, што значи да је бесплатан за кућну употребу.

HTML је језик за означавање хипертекста и описни је језик специјално намењен опису web страница. Помоћу њега се једноставно могу одвојити елементи као што су наслови, параграфи, цитати и слично. Поред тога, у HTML стандарду уграђени елементи који детаљније описују сам документ као што су кратак опис документа, кључне речи, подаци о аутору и слично. Ови подаци су општепознати као мета подаци и јасно су одвојени од садржаја документа.

Ajax је скраћеница за Asinhroni JavaScript и XML је група међусобно повезаних техника за развој webа коришћених на клијентској страни за прављење синхроних и асинхроних web апликација. Коришћењем Ajax-а, web апликације могу да шаљу и примају податке са сервера асинхроно (у позадини) без мењања тренутног приказа и понашања странице. Подаци могу бити преузети помоћу објекта XMLHttpRequest. Без обзира на име, коришћење XML-а није обавезно, а захтеви често не морају бити асинхрони.

За реализацију и интернет програмирање је одабран програм Adobe Dreamwiewer, верзија CS6.

На слици 5.3. приказан је изглед почетне странице програма.



Слика 5.3. Изглед почетне странице програма за резиденцијално моделовање и мапирање радона

На почетној страници се налазе два главна табулатора: “Израчунавање екхалације материјала” и “Мапирање радона”. Кликом на један од та два табулатора отвара се страница са новим табовима у којима је могуће уносити нове материјале у базу података, као и вршити моделовања за познате материјале или моделовати дозе са познатим концентрацијама радона у резиденцијалном објекту.

На слици 5.4. приказан је изглед странице која се бави екхалацијом материјала и резиденцијалним моделовањем.

По отварању овог менија појављују се четири нова таба, и то: “Додавање нових материјала”, “Израчунавање екхалације”, “Дозиметријско моделовање” и “Резиденцијално моделовање”.

У табу “Додавање нових материјала” врши се унос нових материјала и неопходних параметара за израчунавање екхалације. Након уношења свих података, унос се врши једноставним кликом на дугме “Унеси материјал”. Могућ је и преглед свих материјала унетих у базу података кликом на дугме “Преглед унетих материјала”.

Naziv materijala	Poreklo	Površina	Masa
Granit- Roso Balmoral	Afrika	0.9 m ²	0.87 kg

Unesi materijal Pregled unetih materijala

Слика 5.4. Изглед корисничког панела за резиденцијално моделовање

Након уношења новог материјала и његових параметара у базу података, може се прећи на таб “Израчунавање екхалације” и приступити одређивању екхалације материјала по математичким моделима коришћеним у претходним поглављима. На слици 5.5. приказан је изглед панела за израчунавање екхалације.

PROGRAM ZA REZIDENCIJALNO
MODELOVANJE
I MAPIRANJE RADONA

Izračunavanje ekshalacije materijala

Dodavanje novih materijala **Izračunavanje ekshalacije** Dozimetrijsko modelovanje Rezidencijalno modelovanje

UNOS PARAMETARA

Materijal:

Početna koncentracija C_0 : Bq/m³ Krajnja koncentracija C_3 : Bq/m³ Zapremina aparature, V: m³

$\lambda =$ h⁻¹ $\lambda_v =$ $\lambda^1 = L + L_v$ h⁻¹

Izračunaj ekshalaciju

Stopa ekshalacije: $((C_k * (L + L_v) - L_v C_0) \text{ Bq/m}^2 \text{ h}^{-1}$ Stopa masene ekshalacije: $E_0 * A / m$ Bqkg⁻¹h⁻¹ Efektivni sadržaj radijuma: Em/L^* Bqkg⁻¹

Слика 5.5. Изглед корисничког панела за израчунавање екхалације грађевинског материјала

Рачунање екхалације материјала врши се на једноставан начин. Најпре се изабере жељени материјал, унесу почетне и крајње концентрације у апаратури, као и запремина апаратуре, а потом се унесу константа радиоактивног распада радона, као и стопа цурења и укупна стопа уклањања радона.

Притиском на дугме “Израчунај екхалацију” на екрану се појављују израчунате вредности стопе екхалације, масене екхалације и ефективног садржаја радијума.

Rn

PROGRAM ZA REZIDENCIJALNO
MODELOVANJE
I MAPIRANJE RADONA

Izračunavanje ekshalacije materijala

Dodavanje novih materijala
Izračunavanje ekshalacije
Dozimetrijsko modelovanje
Rezidencijalno modelovanje

Koncentracija	MATERIJAL	RAVNOTEŽNI FAKTOR		ARHITEKTONSKI PARAMETRI	
400 Bqm ⁻³	▼	<input type="radio"/> Za zatvorene prostorije 0.4	<input type="radio"/> Za otvoren prostor 0.6	Površina izvora 100 m ²	Zapremina prostorije 50 m ³
REZIDENCIJALNI PARAMETRI I DOZNI FAKTORI				Stopa ventilacije 0.1 h ⁻¹	
<input type="radio"/> Radni vek u trajanju od 40 godina, pri 2200 radnih sati godišnje i doznom faktorom od 0.005 mSv/WLM		U periodu od 40 godina, i pri doznom faktoru za populaciju od 12 DCF		Stopa doze = 2.261 μSv/h Godišnja stopa doze = 15.85 mSv/a Kumulativna doza = 15.85 mSv	
<input type="radio"/> Vreme provedeno na zatvorenom prostoru 70 % godišnje,					
<input type="radio"/> Vreme provedeno na otvorenom prostoru 30 % godišnje					
<input type="radio"/> Kontinualna ekspozicija				<input type="button" value="Izračunaj dozu"/>	

Слика 5.6. Изглед панела за дозиметријско моделовање

На слици 5.6. приказан је изглед панела за дозиметријско моделовање. У овом панелу је могуће одредити стопе дозе, годишње дозе и кумулативне дозе јединке. Дозе је могуће одредити за било који материјал који је унесен у базу, али је могуће прорачунати дозе и ако је позната концентрација радона у објекту. Одабиром жељеног модела рачунања и уносом потребних параметара те кликом на дугме “Израчунај дозу”, резултати се појављују на екрану. При моду где су познате концентрације радона у просторији, није потребно уносити архитектонске параметре, већ само равнотежне факторе и резиденцијалне параметре.

На слици 5.7. приказан је изглед панела за мапирање радона.



**PROGRAM ZA REZIDENCIJALNO
MODELOVANJE
I MAPIRANJE RADONA**

Izračunavanje ekhalacije materijala

Mapiranje radona

Serijski broj detektora	Geografska širina	Geografska dužina	Lokacija	Početak merenja	Kraj merenja	Doza KBqhm ⁻³	Greška merenja KBqhm ⁻³	C _{rad} Bqhm ⁻³
624762-1	43.578670	21.334103	Kruševac	2015-04-15	2015-07-14	164	38	75
624849-6	43.578576	21.335560	Kruševac	2015-04-15	2015-07-14	1683	208	779
626244-8	43.578696	21.335022	Kruševac	2015-04-15	2015-07-14	1085	138	502
624934-6	43.578244	21.335583	Kruševac	2015-04-15	2015-07-14	1120	142	518

Unesi podatke Pregled mape radona

Pregledaj po: Najvišoj koncentraciji Prikaži tabelu

Слика 5.7. Изглед панела за мапирање радона

Панел за мапирање радона се састоји од табеле у којој се налази девет колона са неопходним параметрима у процесу мапирања радона. У прву колону се уносе серијски бројеви детектора, затим се уносе географска ширина и дужина, као и локација, почетак и крај мерења, доза коју детектор прими на час, грешка мерења и, коначно, концентрација радона. Кликом на дугме “Унос података” сви подаци се уносе у јединствену базу података. Кликом на дугме “Преглед унетих података” у новом прозору се отвара генерисана табела у pdf формату са свим унетим подацима.

Унете податке је могуће сортирати према највишој и најнижој концентрацији, као и према локацији детектора. Кликом на дугме “Прикажи табелу” добија се табела са овим задатим параметрима.

5.4. Инсталација програма на серверу

За рад софтвера неопходан је web сервер или неко друго решење попут “ХАМРР” који се преузима са интернета.

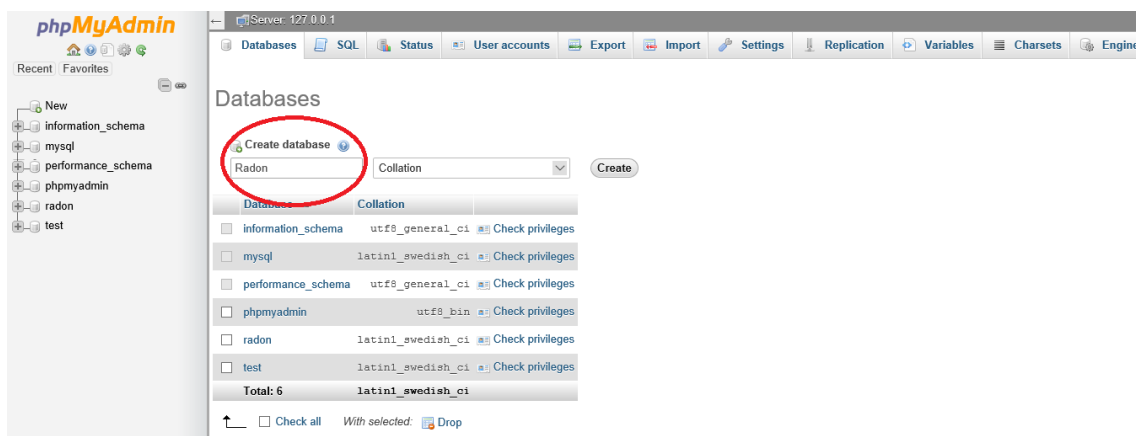
У овој дисертацији коришћен је управо ХАМРР програм. Инсталација на web серверу је незнатно другачија и главна разлика јесте у комерцијалности и начину пребацивања пројекта, који се може пребацивати на сервер путем FTP протокола или из Сpanelа хостинг провајдера.

ХАМРР је пакет који садржи Apache, MySQL, PHP и FileZilla FTP сервере за тестирање и развој динамичких web страница на вашем рачунару под Windows оперативним системом. Главне карактеристике пакета су лака и брза инсталација, стабилност у раду и потпуно је бесплатан.

По инсталацији ХАМРР пакета и одабира жељених компоненти приступљено је инсталацији програма на серверу.

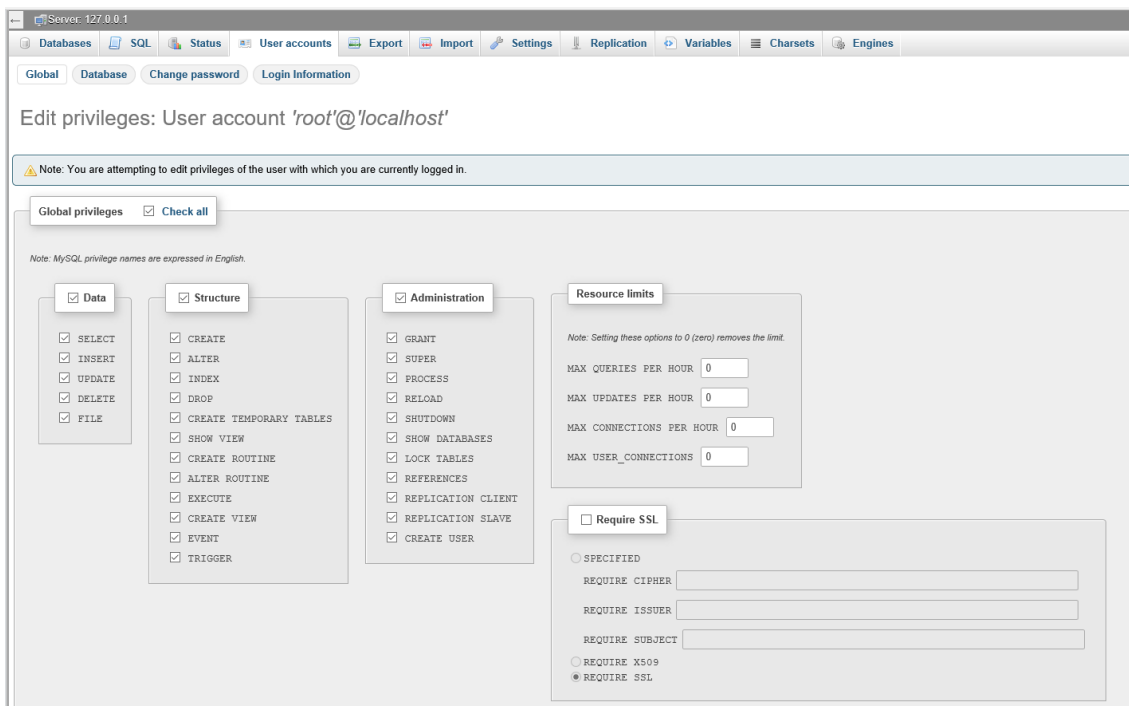
Целокупан пројекат је пребачен у фолдер htdocs, који ХАМРР користи као подразумевани фолдер за приступ података.

У ХАМРР програму се укључују ХАМРР и MySQL сервери и приступа се изради релационе базе података и подешавању параметара за базу.



Слика 5.8. Додавање нове базе података преко phpMyAdmin панела

По давању имена релационој бази података приступљено је додавању новог корисника базе, заједно са пермисијама и осталим параметрима.



Слика 5.9. Додељивање новог корисника бази и одређивање његових овлашћења

По креирању новог корисника који има сва овлашћења да управља базом, додаје, мења и брише податке из базе, додељује се јединствена шифра помоћу које корисник може приступити бази.

Овим је омогућен унос релевантних података о материјалима из програма, као и позивање истих за израчунавања.

5.4. Дискусија и упоређивање резултата са другим ауторима

У првој етапи, пре почетка мерења ексхалације материјала, специјална апаратура је конструисана, заптивена и потом је одређена стопа цурења, односно херметичка ефикасност. Одређена је идеална крива распада радона, која подразумева идеалне херметичке услове, а потом је одређена и крива распада у апаратури. На основу тангенти на ове две криве, одређена је стопа цурења из посуде и она износи: $\lambda_v = 0.0028 \text{ h}^{-1}$. Ово је ниска вредност стопе измене ваздуха, али је била укључена у једначину о ексхалацији материјала како би добијени подаци били што тачнији.

Након завршеног тестирања на цурење, испитан је следећи фактор који може довести до нетачних резултата приликом одређивања ексхалације, а то је стопа повратне дифузије. Промене концентрације радона за насумичне узорке су праћене активно, сваког сата, како би се установило да ли долази до наглог скока концентрација у првим сатима, јер еманирани радон тада има највећу вероватноћу дифундовања назад у узорак. Установљено је да се нагли скок концентрација није десио првенствено због тога што је запремина апаратуре много већа од запремине узорка. С обзиром на то да је стопа повратне дифузије равна нули, она није била укључена у прорачун ексхалације.

Након завршеног тестирања на ова два параметра, приступљено је експерименталном мерењу ексхалација гранита и других грађевинских материјала.

У табели 5.3. приказани су експериментално добијени подаци о ексхалацији гранита и грађевинског материјала. Из добијених података се може видети да сви испитивани материјали имају мали степен ексхалације, који варира од $0.789 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ за гранит “Парадисо класик” до $0.161 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ за гранит “Неро асолуто”.

Највиша масена стопа ексхалације је измерена за гранит “Зимбабве”, која износи $0.68 \text{ Bq kg h}^{-1}$, док је најмања масена стопа ексхалације измерена за граните “Неро асолуто” и “Африка црвено” и износи $0.17 \text{ Bq kg h}^{-1}$.

Када је реч о ефективном садржају радијума, највећи садржај радијума по килограму је измерен код “Зимбабве и Росабета” гранита и износи 50.24 Bq kg^{-1} и 48.72 Bq kg^{-1} респективно.

Мерењем ексхалације радона из 33 узорка гранита доступних на тржишту Канаде [131] и 32 узорка гранита доступних на тржишту Саудијске Арабије [132] представљене су вредности ексхалације сличне са измереним вредностима у овом раду, и оне се крећу од занемарљиво малих до скоро

11 $\text{Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, са просеком мањим од 2 $\text{Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Ефективни садржај радијума код испитиваних узорака варира од 13.3 Bqkg^{-1} до 225 Bqkg^{-1} .

Код осталих природних стена вулканског порекла код којих је мерена стопа ексхалације, масена ексхалација и ефективни садржај радијума, највећу стопу ексхалације имају гранитоидне стене и гранодиорити са Копаоника и Јастребца, и то: 0.596 $\text{Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 0.406 $\text{Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, респективно. Ови узорци уједно имају и највећу масену ексхалацију од 0.87 Bqkg^{-1} и садржај радијума од 64 Bqkg^{-1} .

Код осталих грађевинских материјала измерене су ниске стопе ексхалације. Код узорака бетона измерена је стопа ексхалације од 0.210 $\text{Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, док су стопе масене ексхалације и садржаја радијума : 0.32 Bqkg^{-1} и 23.39 Bqkg^{-1} . Мерењем узорака бетона представљене су вредности од 290 до 360 $\mu\text{Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ [130]. Код узорака печене цигле и глинених блокова измерене су приближно сличне вредности као и код бетона.

При теренским експерименталним мерењима добијен је сет података који указују на варијације концентрација радона. При одређивању просторне дистрибуције радона, а касније и прорачунавањем вентилације на основу познате стопе вентилације и димензија склоништа, откривено је да стопа вентилације има негативан предзнак, што указује на то да се радон гомила у склоништу.

Испитивањем висинске дистрибуције радона показано је и да су највише концентрације радона измерене на 1.9 метара, што јасно указује на то да, пошто је лакши од ваздуха, радон тежи да иде увис, што је онемогућено услед слабе вентилације.

6. Закључак

Овај рад се односи на експериментално испитивање миграције радона кроз разне грађевинске материјале.

У циљу ефикасног одређивања и рада са већим бројем узорака, конструисана је специјална апаратура, која је испитана на све параметре који би могли да утичу на погрешно читавање резултата, и дошло се до закључка да апаратура доста реално симулише реалне ситуације на терену, управо због њених јединствених конструкторских решења, с обзиром на то да елиминише повратну дифузију и да је степен цурења радона из ње доста низак.

Експериментално добијене вредности при мерењу ексхалације материјала указују на то да гранити имају виши степен ексхалације од осталих грађевинских материјала.

Највиша стопа ексхалације износи $0.789 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ за гранит “Парадисо класик”, док најнижа измерена стопа ексхалације износи $0.161 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ за гранит “Неро асолуто”.

Код осталих испитиваних грађевинских материјала измерене стопе ексхалације за бетон, печену циглу, сипорекс блок и глинени блок се крећу у опсегу $0.210 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Најмања стопа ексхалације је измерена за гипс, и износи $0.095 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, а потом следе керамичке плочице, са измереном стопом ексхалације од $0.148 \text{ Bqm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

На основу експериментално добијених стопа ексхалације грађевинских материјала, постављени су реални резиденцијални сценарији и рачунате су интерне годишње дозе примљене од радона.

Откривено је да и при најнеповољнијем сценарију (где је цела просторија покривена гранитом), при вентилацији од свега $\lambda_v=0.1 \text{ h}^{-1}$, највиша годишња интерна доза износи 0.52 mSv , што је 21.57 % од укупне дозе коју особа прими од природних и вештачких извора зрачења, и предаје је гранит “Росо сантиаго”. Са повећањем вентилације, дозе опадају експоненцијално.

Теренским експерименталним истраживањима, при испитивању вертикалне дистрибуције радона откривено је да су у просторији на 1.9 m концентрације радона веће до 3 пута него на висинама од 0.5 m и 1.5 m.

При испитивању просторне дистрибуције радона откривено је нагомилавање радона у просторијама које су удаљеније од врата.

Моделовањем, на основу експерименталних вредности екхалације бетона и експерименталних теренских података, откривене су стопе измене ваздуха између просторија и откривено је да имају негативан предзнак, што указује на веома лошу вентилацију.

Моделовањем, на основу познате стопе екхалације бетона који је коришћен у изградњи атомског склоништа, постављен је сценарио којим је, модификацијом једначине, откривена годишња вентилација у склоништу, и која износи $\lambda_v=0.0009 \text{ h}^{-1}$, што је за један ред величине мање него откривена стопа вентилације у апаратури за испитивање материјала. Откривена стопа вентилације на терену објашњава нагомилавање радона у просторијама удаљеним од улазних врата и његову вертикалну дистрибуцију.

Концентрације измерене активним мерним техникама су потом коришћене за прорачун доза и откривено је да при постојећим условима, особа годишње прими 9.22 mSv, што је готово три пута више од укупне годишње дозе коју човек прими од извора природног и вештачког порекла.

Резиденцијалним моделовањем је откривено да стопа вентилације која обезбеђује минималне примљене дозе у склоништу износи $\lambda_v = 0.0056 \text{ h}^{-1}$. Експерименталним тромесечним мерењима пасивним техникама у склоништима откривене су концентрације радона које су потом коришћене за прорачун доза како би се утврдило колико је становништво било озрачено за време НАТО агресије. Израчунате су дозе од 2.47 mSv-0.32 mSv за период од 3 месеца. За овакав распон доза је првенствено заслужна вентилација, будући да се архитектура склоништа у којима је примљена мања доза разликују по погледу вентилације од склоништа где је примљена већа доза.

Упоредивањем концентрација и израчунатих доза добијених активним и пасивним техникама, закључује се да су резултати ове две методе у складу

једни са другима, те се и једна и друга техника могу користити при детекцији и дозиметрији радона.

На основу свих досадашњих излагања закључује се да су измерене ниске стопе ексхалације грађевинских материјала.

Математичким моделовањем је установљено да и при најнеповољнијем сценарију, при вентилацији од 0.1 h^{-1} , постоји веома мали здравствени ризик од штетног дејства радона.

Теренским истраживањима, у склоништима је откривено да долази до нагомилавања радона у просторијама због ниске стопе вентилације, будући да су склоништа укопана испод земље и да су архитектонска решења у погледу вентилације веома лоша. При таквим условима, испитивана склоништа могу представљати значајан здравствени ризик уколико се користе свакодневно.

На основу откривених података потребно је проширити истраживања на више склоништа и других подземних просторија, поготову ако се користе као угоститељски или спортски објекти.

7. Литература

1. Nave, Carl R. , Cosmic rays, Hyper Physics Concepts, Georgia State University, Retrieved 17. February 2015.
2. Radon in the enviroment, M. Wilkening, New Mexico Institute of Mining and Tehnology, Socorro, 1990.
3. Udžbenik Nuklearne Hemije, Šćepan S. Miljanić, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd 2008
4. Dangic A., Geohemijskiprocesi u prirodi i radionuklidi, Jonizujuća zračenja iz prirode (monografija), 41, Beograd, (1995)
5. Radon: Prevalence, measurements, health risk and control, Niren L. Nagda, Philadelohia, 1998
6. Radon in indoor air, Report No 15, F.Bochicchio, J.P.McLaughling, S.Piermattel, Luxemburg 1995
7. N. K. Ryzhakova, A new method for estimating the coefficients of diffusion and emanation of radon in the soil, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 135, September 2014, Pages 63-66
8. Yong-jun Ye, Li-heng Wang,De-xin Dinga, Ya-li Zhaob, Nan-bin Fanb, Inverse method for determining radon diffusion coefficient and free radon production rate of fragmented uranium ore,Radiation Measurements, Volume 68, September 2014, Pages 1-6
9. Modelling and measurement of radon diffusion trough soil for application on mine tailings dams, Wilcot John Speelman, Thesis for the degree of Magister Scientiae, Faculty of Natural Sciences, University of the Western Cape, 2004
10. Merenje koeficijenta difuzije radona kroz građevinske materijale, Aleksandar Radukin Kosanović, diplomski rad
11. Natural Radioactivity and Radon in Building Materials, Gustav Haquin, Sorq Nuclear Research Centre, Radiation Safety Division, Yavne, Israel
12. Conkic Lj., Slivka J., Krmar M., Veskovic M., Bikit I., Durcic Z., Jeftic T., Vaderna S., Kontrola radioaktivnosti građevinskog zemljišta na teritoriji opštine Novi Sad, Izveštaj za 1996/97. godinu, Novi Sad, juli 1997.
13. Saâdi Z., On the air-filled effective porosity parameter of Rogers and Nielson's (1991) bulk radon diffusion coefficient in unsaturated soils, Health Phys. 2014 May;106(5):598-607
14. Silker W.B., Kalkwarf D.R., Radon diffusion in candidate soils for covering uranium mill tailings, NUREG/CR 2924. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. , 1983

15. Strong, K.P.: 1981, Effects of moisture content on radon emanation from uranium ore and tailings, *Health Physics* 42, 27–32.
16. Tanner, A.B.: 1980, Radon migration in the ground: a supplementary review, in: *Natural Radiation Environment III*, Technical Information center/U.S. Department of Energy, Springfield, VA, pp. 5–56.
17. H.V. Culot, H.G. Olson, K. Sciager., Effective Diffusion Coefficient of Radon in Concrete, *Theory and Methods for Field Measurements Health Phys.*, 30 (1976), pp. 263–270
18. Zapalac, G.H., A time-dependent method for characterizing the diffusion of ^{222}Rn in concrete, *Health Physics*, 45, (1983) 377-383
19. Stranden, E. , Building materials as a source of indoor radon, *Radon and its decay products in indoor air.*, New York, John Wiley& Sons, 113-130
20. Anjosa R.M. , J.J. Ayuba, Cida A.S. , Cardoso R., Radon concentration in indoor environments covered with Brazilian granites, XXXIV edition of the Brazilian Workshop on Nuclear Physics, Foz de Iguaçu, Parana state, Brasil 5-10 June 2011
21. Sisigna, T.I., Radon emanation from the surface of some types on soils of the European part of the USSR and Kazakhstan, *Radioactive Isotopes in the Atmosphere and Their Use in Meteorology*, Israeli program for Scientific Translation, Jerusalem, 1967, 29-33
22. Mamuro, T., and K. Megumi, A method for the measuring radon and thoron exhalation from the ground, *J. Geophysics*, 77, 3952, 1972
23. Sahu P., Mishra D., Radon emanation from backfilled mill tailings in underground uranium mine, *Journal of Environmental Radioactivity* Volume 130, April 2014, Pages 15–21
24. Nikezić D., Radon, glavni kontaminant čovekove okoline, *Jonizujuća zračenja iz prirode*, 145, Beograd 1995.
25. William Field, Ph.D., Radon Occurrence and Health risk, University of Iowa, www.vh.org/Providers/Textbooks/Radon/HealthRisk.html
26. International Commission on Radiological Protection (ICRP)., 1994. Human respiratory tract model for radiological protection. (ICRP Publication 66. *Annals of the ICRP* 24(1- 3), Elsevier Science Ltd., Oxford.
27. Brankovic D., Ispitivanje koncentracije radona u stambenim prostorijama, *Diplomski rad*, Novi Sad, 1994
28. Chambers S., Wang F., Quantifying the influences of atmospheric stability on air pollution in Lanzhou, China, using a radon-based stability monitor, *Atmospheric Environment* Volume 107, April 2015, Pages 233–243

29. Groves-Kirkby C., Crockett R., A critical analysis of climatic influences on indoor radon concentrations: Implications for seasonal correction, *Journal of Environmental Radioactivity* Volume 148, October 2015, Pages 16–26.
30. Nikolić D. *Zaštita životne sredine*, Univerzitet u Prištini, Rudarsko-metalurški fakultet, Kosovska Mitrovica, 2001.
31. Comparative Dosimetry of Radon in Mines and Homes, National Research Council (US) Panel on Dosimetric Assumptions Affecting the Application of Radon Risk Estimates, Washington (DC): National Academies Press (US); 1991.
32. Bale, W. F. 1980. Memorandum to the files, March 14, 1951: Hazards associated with radon and thoron. *Health Phys.* 38:1062-1066.
33. National Research Council (NRC). 1988. Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters. BEIR IV. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. Washington, D.C.: National Academy Press.
34. Lubin, J. H. 1988. Models for the analysis of radon-exposed populations. *Yale J. Biol. Med.* 61:195-214.
35. Samet, J. M. 1989. Radon and lung cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 81:745-757
36. ICRP, 1993. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. *Ann. ICRP* 23 (2).
37. Ionizing Radiation: Sources And Biological Effects, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation ,1982 Report to the General Assembly
38. Ionizing Radiation: Sources And Biological Effects, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation ,1988 Report to the General Assembly,
39. Ionizing Radiation: Sources And Biological Effects, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation ,UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly
40. Ionizing Radiation: Sources And Biological Effects, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation , UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly
41. International Commission on Radiological Protection (ICRP)., Radionuclide Transformations - Energy and Intensity of Emissions, ICRP Publication 38. *Ann. ICRP* 11-13.
42. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1982 Report to the General Assembly, *Ionizing Radiation: Sources And Biological Effects*, 1982

43. Report No. 094 - Exposure of the Population in the United States and Canada from Natural Background Radiation (Supersedes NCRP Report No. 45)
44. Porstendörfer J. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. *J Aerosol Sci.* 1994;25(2):219-263
45. Sun K. Ph.D. dissertation. from the University of Iowa; Aug, 2008. Field calibration of the glass-based retrospective radon detectors for epidemiologic applications. 2008.
46. Nussbaum E, Hursh JB. Radon solubility in rat tissues. *Science.* 1957;125:552-553.
47. Sharma N, Hess CT, Thrall KD. A compartmental model of water radon contamination in the human body. *Health Phys.* 1997;72(2):261-268.
48. Peterman BF, Perkins CJ. Dynamics of radioactive chemically inert gases in the human body. *Radiat Prot Dosimetry.* 1988;22(1):5-12.
49. Black SC, Archer VE, Dixon WC, et al. Correlation of radiation exposure and lead-210 in uranium miners. *Health Phys.* 1968;14(2):81-93.
50. Ishikawa T, Yamada Y, Fukutsu K, et al. Deposition and clearance for radon progeny in the human respiratory tract. *Radiat Prot Dosimetry.* 2003a;105(1-4):143-148.
51. Khursheed A. Doses to systemic tissues from radon gas. *Radiat Prot Dosimetry.* 2000;88(2):171-181.
52. Brown WL, Hess CT. Measurement of the biotransfer and time constant of radon from ingested water by human breath analysis. *Health Phys.* 1992;62(2):162-170.,
53. Hursh J, Morcken D, Davis T, et al. The fate of radon ingested by man. *Health Phys.* 1965;11:465-476
54. Brown WL, Hess CT. Measurement of the biotransfer and time constant of radon from ingested water by human breath analysis. *Health Phys.* 1992;62(2):162-170,
55. Gosink TA, Baskaran M, Holleman DF. Radon in the human body from drinking water. *Health Phys.* 1990;59(6):919-924.,
56. Hursh J, Morcken D, Davis T, et al. The fate of radon ingested by man. *Health Phys.* 1965;11:465-476.
57. Bauchinger M, Schmid E, Braselmann H, et al. Chromosome aberrations in peripheral lymphocytes from occupants of houses with elevated indoor radon concentrations. *Mutat Res.* 1994;310(1):135-142.
58. Bilban M, Jakopin CB. Incidence of cytogenetic damage in lead-zinc mine workers exposed to radon. *Mutagenesis.* 2005;20(3):187-191

59. Brandom WF, Saccomanno G, Archer VE, et al. Chromosome aberrations as a biological dose-response indicator of radiation exposure in uranium miners. *Radiat Res.* 1978;76(1):159-171
60. Hellman B, Friis L, Vaghef H, et al. Alkaline single cell gel electrophoresis and human biomonitoring for genotoxicity: A study on subjects with residential exposure to radon. *Mutat Res.* 1999;442(2):121-132
61. Pohl-Rüling J, Fischer P. The dose-effect relationship of chromosome aberrations to alpha and gamma irradiation in a population subjected to an increased burden of natural radioactivity. *Radiat Res.* 1979;80:61-81
62. Pohl-Rüling J, Fischer P, Pohl E. Biological and environmental effects of low-level radiation. Vol. II. Vienna: International Atomic Energy Agency; 1976. Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes dependent on various dose levels of natural radioactivity; pp. 317-324
63. Smerhovsky Z, Landa K, Rössner P, et al. Risk of cancer in an occupationally exposed cohort with increased level of chromosomal aberrations. *Environ Health Perspect.* 2001;109(1):41-45
64. Smerhovsky Z, Landa K, Rössner P, et al. Increased risk of cancer in radon-exposed miners with elevated frequency of chromosomal aberrations. *Mutat Res.* 2002;514(1-2):165-176
65. Stenstrand K, Annanmaki M, Rytomaa T. Cytogenetic investigation of people in Finland using household water with high natural radioactivity. *Health Phys.* 1979;36:441-444.
66. Maes A, Poffijn A, Verschaeve L. Case report: Karyotypic and chromosome aberration analysis of subjects exposed to indoor radon. *Health Phys.* 1996;71(5):641-643.
67. Bilban M, Jakopin CB. Incidence of cytogenetic damage in lead-zinc mine workers exposed to radon. *Mutagenesis.* 2005;20(3):187-191.
68. Shanahan EM, Peterson D, Roxby D, et al. Mutation rates at the glycoporphin A and HPRT loci in uranium miners exposed to radon progeny. *Occup Environ Med.* 1996;53(7):439-444.
69. Cole J, Green MH, Bridges BA, et al. Lack of evidence for an association between the frequency of mutants or translocations in circulating lymphocytes and exposure to radon gas in the home. *Radiat Res.* 1996;145(1):61-69.
70. Albering HJ, Hageman GJ, Kleinjans JC, et al. Indoor radon exposure and cytogenetic damage. *Lancet.* 1992;340(8821):739.
71. Tuschl H, Altmann H, Kovac R, et al. Effects of low-dose radiation on repair processes in human lymphocytes. *Radiat Res.* 1980;81:1-9

72. Brooks AL, Rithidech K, Kitchin RM, et al. Evaluating chromosome damage to estimate dose to tracheal epithelial cells. Indoor radon and lung cancer: Reality or myth?; Twenty-ninth Hanford Symposium on health and the environment; October 15-19, 1990; Columbus, OH: Battelle Press; 1992. pp. 601-614.
73. Leonard A, Delpoux M, Chameaud J, et al. Biological effects observed in mammals maintained in an area of very high natural radioactivity. *Can J Genet Cytol.* 1981;23:321-326.
74. Abo-Elmagd M, Daif MM, Eissa HM. Cytogenetic effects of radon inhalation. *Radiat Meas.* 2008;43:1265-1269.
75. Taya A, Morgan A, Baker ST, et al. Changes in the rat lung after exposure to radon and its progeny: Effects on incorporation of bromodeoxyuridine in epithelial cells and on the incidence of nuclear aberrations in alveolar macrophages. *Radiat Res.* 1994;139(2):170-177.
76. Brooks AL, Khan MA, Duncan A, et al. Effectiveness of radon relative to acute ⁶⁰Co γ-rays for induction of micronuclei *in vitro* and *in vivo*. *Int J Radiat Biol.* 1994;66(6):801-808
77. Khan MA, Cross FT, Jostes R, et al. Micronuclei induced by radon and its progeny in deep-lung fibroblasts of rats *in vivo* and *in vitro*. *Radiat Res.* 1994;139(1):53-59.
78. Khan MA, Cross FT, Buschbom RL, et al. Inhaled radon-induced genotoxicity in Wistar rat, Syrian hamster, and Chinese hamster deep-lung fibroblasts *in vivo*. *Mutat Res.* 1995;334(2):131-137
79. Hornung R, Meinhardt T. Quantitative risk assessment of lung cancer in U. S. uranium miners. *Health Phys.* 1987;52:417-430.
80. Bridges BA, Cole J, Arlett CF, et al. Possible association between mutant frequency in peripheral lymphocytes and domestic radon concentrations (Comment in: *Lancet* 337(8755):1476) *Lancet.* 1991;337(8751):1187-1189.
81. Wolff S, Jostes R, Cross FT, et al. Adaptive response of human lymphocytes for the repair of radon-induced chromosomal damage. *Mutat Res.* 1991;250(1-2):299-306.
82. Hamza VZ, Mohankumar MN. Cytogenetic damage in human blood lymphocytes exposed *in vitro* to radon. *Mutat Res.* 2009;661:1-9.
83. Loucas BD, Geard CR. Initial damage in human interphase chromosomes from alpha particles with linear energy transfers relevant to radon exposure. *Radiat Res.* 1994;139(1):9-14.
84. Schwartz JL, Shadley JD, Atcher RW, et al. Comparison of radon-daughter-induced effects in repair-proficient and repair-deficient CHO cell lines. *Environ Mol Mutagen.* 1990;16(3):178-184.

85. Shadley JD, Whitlock JL, Rotmensch J, et al. The effects of radon daughter α -particle irradiation in K1 and xrs-5 CHO cell lines. *Mutat Res.* 1991;248(1):73-83.
86. Jostes RF, Fleck EW, Morgan TL, et al. Southern blot and polymerase chain reaction exon analyses of HPRT⁻ mutations induced by radon and radon progeny. *Radiat Res.*1994;137(3):371-379.
87. Evans HH, Mencl J, Bakale G, et al. Interlaboratory comparison of the effects of radon on L5178Y cells: Dose contribution of radon daughter association with cells. *Radiat Res.*1993a;136(1):48-56.
88. Evans HH, Mencl J, Hui TE, et al. Cytotoxic and mutagenic effects of radon and radon daughters on murine L5178Y lines differing in DNA repair. *Radiat Res.* 1993b;136(1):57-64.
89. Kronenberg A. Radiation-induced geometric instability. *Int J Radiat Biol.* 1994;66:603-609.
90. Pohl-Rüling J, Fischer P. The dose-effect relationship of chromosome aberrations to alpha and gamma irradiation in a population subjected to an increased burden of natural radioactivity. *Radiat Res.* 1979;80:61-81.
91. Stolz W. and Bernhard, *Dosimetry in ionizing radiation*, Berlin, Germany,1981
92. Kimel and Maschovich, *Protection against ionizing radiation*, Moscow,1972
93. *Dosimetry for Radiation Accidents*, Kraitov Moscow,1979
94. Ward JF. The yield of DNA double-strand breaks produced intracellularly by ionizing radiation: A review. *Int J Radiat Biol.* 1990;57:1141-1150.
95. K.N. Yu , D. Nikezic, Long-term measurements of unattached radon progeny concentrations using solid-state nuclear track detectors, *Applied Radiation and Isotopes* Volume 70, Issue 7, July 2012, Pages 1104-1106
96. Hui Zhang, Bo Chen, Weihai Zhuo, Chao Zhao, Measurements of the size distribution of unattached radon progeny by using the imaging plate, *Radiation Measurements* Volume 62, March 2014, Pages 41-44
97. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation , *SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION*, report to the General Assembly (1977)
98. Harley NH, Chen J, Chittaporn P, Sorimachi A, Tokonami S., Long term measurements of indoor radon equilibrium factor., *Health Phys.* 2012 Apr;102(4):459-62

99. J. Porstendorfer, Ch. Zock, J. Wendt, A. Reineking., Radon parameters in outdoor air, Isotope Laboratory for Biological and Medical Research, Georg-August-University, Gottingen, Germany , 1987
100. A.M.A. Mostafa, H. Yamazawa, M.A.M. Uosif, J. Moriizumi, Seasonal behavior of radon decay products in indoor air and resulting radiation dose to human respiratory tract, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* Volume 8, Issue 1, January 2015, Pages 142-147
101. Hofmann W., Dose calculations for the respiratory tract from inhaled natural radioactive nuclides as a function of age--II. Basal cell dose distributions and associated lung cancer risk., *Health Phys.* 1982 Jul;43(1):31-44.
102. Dosimetry aspects of exposure to radon and thoron daughter products, Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris (1983) 120 pp.
103. M.M.R. Green, K.D. Cliff, J.C.H. Miles and P.R. Lomas, Radon studies in UK Homes, *Radiation Protection Dosimetry*, 45, 519-522 (1992)
104. R.H. Peters, *The ecological implications of body size*, Cambridge University Press, Cambridge (1983) 329 pp.
105. Worthington, I.S. Young, J.D. Altringham, **The relationship between body mass and ventilation rate in mammals**, *J Exp Biol*, 161 (1991), pp. 533-536
106. S.C. Hempleman, D.L. Kilgore Jr., C. Colby, R.W. Bavis, F.L. Powell, Spike firing allometry in avian intrapulmonary chemoreceptors: matching neural code to body size, *J Exp Biol*, 208 (2005), pp. 3065-3073
107. ICRP, Report of the task group on reference man, ICRP Publication 23, International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford (1975)
108. W. Hofmann, D.J. Crawford-Brown, H. Fakir, G. Monchaux, Modelling lung cancer incidence in rats following exposure to radon progeny, *Radiat Prot Dosimetry*, 122 (2006), pp. 345-348
109. R.T. Drew, M. Eisenbud, The natural radiation dose to indigenous rodents on the Morro Do Ferro, Brazil, *Health Phys*, 12 (9) (1966), pp. 1267-1274
110. ICRP Publication 66, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP 24 (1-3), 1994
111. H.G. De Carvalho, H. Yagoda, The range of alpha-particles in water, *Phys Rev*, 88 (1952), pp. 273-278
112. K.A. Higley, D.P. Bytwerk, Generic approaches to transfer, *J Environ Radioact*, 98 (2007), pp. 4-23

- 113.C.A. Price, B.J. Enquist, Scaling mass and morphology in leaves: an extension of the WBE model, *Ecology*, 88 (2007), pp. 1132-1141
- 114.P.B. Reich, M.B. Tjoelker, J.-L. Machado, J. Oleksyn, Universal scaling of respiratory metabolism, size and nitrogen in plants, *Nature*, 439 (2005), pp. 457-461
- 115.G.B. West, J.H. Brown, B.J. Enquist, The fourth dimension of life: fractal geometry and allometric scaling of organisms, *Science*, 284 (1999), pp. 1677-1679
- 116.B.J. Enquist, K.J.S. Niklas, Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants, *Science*, 295 (2002), pp. 1517-1520
- 117.Chi-Feng Lin, Jeng-Jong Wang, Shih-Jung Lin, Chien-Kung Lin, Performance comparison of electronic radon monitors, Original Research Article, *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 81, November 2013, Pages 238-241
- 118.Chao, C. Y. H., Tung, T. C. W., Chan, D. W. T., & John, B. (1997). Determination of radon emanation and back diffusion characteristics of building materials in small chamber tests. *Build Environment*, 32, 355-362.
- 119.Abo-Elmagd, M., Radon Exhalation Rates Corrected for Leakage and Back Diffusion - Evaluation of Radon Chambers and Radon Sources with Application to Ceramic Tile, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 7 (2014), 4, pp. 390-398
- 120.Urošević M., i dr.: *Tumač za list Novi Pazar*, Savezni geološki zavod, Beograd, 1973.
- 121.Knežević V., Karamata S., Vasković N., Cvetković V.: *Granodioriti Kopaonika i kontaktno metamorfni pojas*, Zbornik radova sa savetovanja, p. 172-184, *Geologija i metalogenija Kopaonika*, Republički fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd, 1995.
- 122.United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and effects of ionizing radiation, New York, 1993.
123. Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju skloništa, Službeni list SFRJ 31/75, 11/76, 55/83
- 124.United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and effects of ionizing radiation, New York, 1977,
- 125.Andersen C. Radon-222 Exhalation from Danish Building Materials: H+H Industri A/S Results, RISO report R-1135(EN), 1999.
- 126.S.Durrani, R. Ilic: Radon Measurements by etched track detectors, Applications in Radiation Protection, Earth Sciences and the Environment, Singapore 1997

127. H. Bethe und J. Ashkin in "Experimental Nuclear Physics, ed. E. Segré, J. Wiley, New York, 1953, p. 253
128. S. Šipka, Metode određivanja koncentracije radona pomoću čvrstih trag detektora, diplomski rad, Novi sad, 2003
129. Milić G., Distribucija radona u vazduhu zatvorenog prostora u nekim regionima Kosova i Metohije, doktorska disertacija, Kosovska Mitrovica, 2003
130. Predrag Ujić, Igor Čeliković, Aleksandar Kandić, Ivana Vukanac, Mirjana Đurašević, Dušan Dragosavac, Zora S. Žunić, Internal exposure from building materials exhaling ^{222}Rn and ^{220}Rn as compared to external exposure due to their natural radioactivity content, Applied Radiation and Isotopes, Volume 68, Issue 1, January 2010, Pages 201–206
131. Chen, J., Rahman, N. M., Atiya, I. A., Ra don Exhalation from Building Materials for Decorative Use, J. Environ. Radioactivity, 101 (2010), 4, pp. 317-322
132. Al-Jarallah, M., Radon Exhalation from Granites Used in Saudi Arabia, J. Environ. Radioactivity, 53 (2001), 1, pp. 91-98

Прилози

8. Приказ компјутерског кода за дозиметријско моделовање и мапирање радона

8.1. CSS код

```
@charset "utf-8";
body {font: 100%/1.4 Verdana, Arial, Helvetica, sans-serif;
background-color: #4E5869;
margin: 0;
padding: 0;
color: #000;}
ul, ol, dl {padding: 0;margin: 0;}
h1, h2, h3, h4, h5, h6, p {padding-right: 15px;padding-left: 15px;font-family:
Arial, Helvetica, sans-serif;font-size: 12px;color: #5B74A8;font-weight:
normal;text-align: left;}
a img {border: none;}
a:link {color:#414958;}
a:visited {color: #4E5869;text-decoration: underline;}
a:hover, a:active, a:focus{text-decoration: none;}
.container {width: 80%;max-width: 1260pxmin-width:780px background-color:
#FFF;margin: 0 auto;}
.header {
background-color: #D2D3DD;
-webkit-box-shadow: 0px 5px 12px 0px rgba(0, 0, 0, 0.53); -moz-box-shadow:
0px 5px 12px 0px rgba(0, 0, 0, 0.53); box-shadow: 0px 5px 12px 0px rgba(0,
0, 0, 0.53);-webkit-border-bottom-right-radius: 10px;
-webkit-border-bottom-left-radius: 10px;
-moz-border-radius-bottomright: 10px;
-moz-border-radius-bottomleft: 10px;
border-bottom-right-radius: 10px;
border-bottom-left-radius: 10px;
}
}
}

.content {
```

```

padding: 10px 0;
}
}

.footer {padding: 10px 0;background-color: #EBEBEB;
font-size: 12px;
color: #6D84B4;
font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
-webkit-box-shadow: 0px 20px 12px 0px rgba(0, 0, 0, 0.53);
-moz-box-shadow: 0px 20px 12px 0px rgba(0, 0, 0, 0.53);
box-shadow: 0px 20px 12px 0px rgba(0, 0, 0, 0.53);
}

```

```

.fltrt { float: right;margin-left: 8px;}
.flflt {float: left;margin-right: 8px;}
.clearfloat {clear:both;
height:0;
font-size: 1px;
line-height: 0px;}
table a:link {color: #666;
font-weight: bold;
text-decoration:none;}
table a:visited {color: #999999;
font-weight:bold;
text-decoration:none;}
table a:active,
table a:hover {color: #bd5a35;
text-decoration:underline;}
table {color: #666;
font-size: 12px;
text-shadow: 1px 1px 0px #fff;
background: #eaebec;
margin: 10px;
border: #ccc 1px solid;
-moz-border-radius: 3px;
-webkit-border-radius: 3px;
border-radius: 3px;
-moz-box-shadow: 0 1px 2px #d1d1d1;
-webkit-box-shadow: 0 1px 2px #d1d1d1;
}

```

```
box-shadow: 0 1px 2px #d1d1d1;
font-style: normal;
font-weight: 400;}
table th {padding:21px 25px 22px 25px;
border-top:1px solid #fafafa;
border-bottom:1px solid #e0e0e0;
```

```
background: #ededed;
background: -webkit-gradient(linear, left top, left bottom, from(#ededed),
to(#ebebeb));
background: -moz-linear-gradient(top, #ededed, #ebebeb);}
table th:first-child {
text-align: left;
padding-left:10px;}
table tr:first-child th:first-child {
-moz-border-radius-topleft:3px;
-webkit-border-top-left-radius:3px;
border-top-left-radius:3px;}
table tr:first-child th:last-child {
-moz-border-radius-topright:3px;
-webkit-border-top-right-radius:3px;
border-top-right-radius:3px;}
table tr {text-align: center;
padding-left:10px;}
table td:first-child {text-align: left;
padding-left:10px;
border-left: 0;}
table td {padding:5px;
border-top: 1px solid #ffffff;
border-bottom:1px solid #e0e0e0;
border-left: 1px solid #e0e0e0;
```

```
background: #fafafa;
background: -webkit-gradient(linear, left top, left bottom, from(#fbfbfb),
to(#fafafa));
background: -moz-linear-gradient(top, #fbfbfb, #fafafa);}
table tr.even td {
background: #f6f6f6;
```

```

background: -webkit-gradient(linear, left top, left bottom, from(#f8f8f8),
to(#f6f6f6));
background: -moz-linear-gradient(top, #f8f8f8, #f6f6f6);}
table tr:last-child td {
border-bottom:0;}
table tr:last-child td:first-child {
-moz-border-radius-bottomleft:3px;
-webkit-border-bottom-left-radius:3px;
border-bottom-left-radius:3px;}
table tr:last-child td:last-child {
-moz-border-radius-bottomright: 3px;
-webkit-border-bottom-right-radius: 3px;
border-bottom-right-radius: 3px;
color: #5B74A8;
font-size: 9px;
font-weight: 200;
}
table tr:hover td {background: #f2f2f2;
background: -webkit-gradient(linear, left top, left bottom, from(#f2f2f2),
to(#f0f0f0));
background: -moz-linear-gradient(top, #f2f2f2, #f0f0f0); }
.izborni
{-webkit-box-shadow:rgba(0,0,0,0.01) 0 1px 0 0;
-moz-box-shadow:rgba(0,0,0,0.01) 0 1px 0 0;
box-shadow:rgba(0,0,0,0.01) 0 1px 0 0;
background-color:#5B74A8;
border:1px solid #29447E;
font-family:'Lucida Grande',Tahoma,Verdana,Arial,sans-serif;
font-size:12px;
font-weight:700;
padding:2px 6px;
height:28px;
color:#fff;
border-radius:5px;
-moz-border-radius:5px;
-webkit-border-radius:5px}
.izborni:hover { border: 1px solid #0a3c59;
text-shadow: #1e4158 0 1px 0;
background: #dfe3ee;

```

```

background: -webkit-gradient(linear, left top, left bottom, from(#3b5998),
to(#dfe3ee));
background: -webkit-linear-gradient(top, #3b5998, #dfe3ee);
background: -moz-linear-gradient(top, #3b5998, #dfe3ee);
background: -ms-linear-gradient(top, #3b5998, #dfe3ee);
background: -o-linear-gradient(top, #3b5998, #dfe3ee);
background-image: -ms-linear-gradient(top, #3b5998 0%, #dfe3ee 100%);
color: #fff }
.izborni:active {
text-shadow: #1e4158 0 1px 0;
border: 1px solid #52b3eb;
background: #3b5998;
background: -webkit-gradient(linear, left top, left bottom, from(#dfe3ee),
to(#dfe3ee));
background: -webkit-linear-gradient(top, #dfe3ee, #3b5998);
background: -moz-linear-gradient(top, #dfe3ee, #3b5998);
background: -ms-linear-gradient(top, #dfe3ee, #3b5998);
background: -o-linear-gradient(top, #dfe3ee, #3b5998);
background-image: -ms-linear-gradient(top, #dfe3ee 0%, #3b5998 100%);
color: #fff;
}

.izborni:hover {
background: #8b9dc3;
background-image: -webkit-linear-gradient(top, #8B9DC3, #8b9dc3);
background-image: -moz-linear-gradient(top, #8B9DC3, #8b9dc3);
background-image: -ms-linear-gradient(top, #8B9DC3, #8b9dc3);
background-image: -o-linear-gradient(top, #8B9DC3, #8b9dc3);
background-image: linear-gradient(to bottom, #8B9DC3, #8b9dc3);
text-decoration: none;
}

.click-nav {margin:1px auto;width:150px;}
.click-nav ul {position:relative;font-weight:100;}
.click-nav ul li {position:relative;list-style:none;cursor:pointer;}
.click-nav ul li ul {position:absolute;left:0;right:0;}
.click-nav ul .clicker {position:relative;background:#2284B5;color:#FFF;}
.click-nav ul .clicker:hover,.click-nav ul .active {background:#196F9A;}
.click-nav img {position:absolute;top:9px;left:12px;}

```

```

.click-nav ul li a {transition:background-color 0.2s ease-in-out;-webkit-
transition:background-color 0.2s ease-in-out;
-moz-transition:background-color 0.2s ease-in-out;display:block;padding:8px
10px 8px 40px;background:#FFF;color:#333;text-decoration:none;}
.click-nav ul li a:hover {background:#F2F2F2;}

/* Fallbacks */
.click-nav .no-js ul {display:none;}
.click-nav .no-js:hover ul {display:block;}
.izborni1 {
border: 1px solid #0a3c59;
background: #3e779d;
background: -webkit-gradient(linear, left top,
left bottom, from(#65a9d7), to(#3e779d));
background: -webkit-linear-gradient(top,
#65a9d7, #3e779d);
background: -moz-linear-gradient(top,
#65a9d7, #3e779d);
background: -ms-linear-gradient(top, #65a9d7,
#3e779d);
background-image: -ms-linear-gradient(top,
#65a9d7 0%, #3e779d 100%);
padding: 3px 7px;
-webkit-border-radius: 10px;
-moz-border-radius: 10px;
border-radius: 10px;
-webkit-box-shadow: rgba(255,255,255,0.4) 0 0
1px 0, inset rgba(255,255,255,0.4) 0 1px 0;
-moz-box-shadow: rgba(255,255,255,0.4) 0 1px
0, inset rgba(255,255,255,0.4) 0 1px 0;
box-shadow: rgba(255,255,255,0.4) 0 1px 0, inset
rgba(255,255,255,0.4) 0 1px 0;
text-shadow: #7ea4bd 0 1px 0;
color: #edf3f7;
font-size: 15px;
font-family: helvetica, serif;
text-decoration: none;
vertical-align: middle;
background-color: #39F;
background-position: top;

```



```

}
.tesktobavest {
    width: 598px;
    font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    font-size: 14px;
    color: #3B5998;
    background-color: #FFFFFF;
    font-weight: bold;
    height: 200px;
}
</style>
<link href="SpryAssets/SpryCollapsiblePanel.css" rel="stylesheet"
type="text/css">
<style type="text/css">
    .200 {
        width: 200px;
        border-top-style: none;
        border-right-style: none;
        border-bottom-style: none;
        border-left-style: none;
        border-radius:10 px;
    }
    .ocena {
        width: 45px;
    }
    .status1 {
        width: 60px;
    }
    .tabela {-webkit-border-radius: 10px;
-moz-border-radius: 10px;
border-radius: 10px;}
        .ispitnirok1 {width: 111px;
    }
    .predmet2 {width: 476px;
    }
    .student {
        width: 300px;
    }
    .nevidljivo {
        font-family: Calibri;
        font-size: 14px;
        color: #3B5998;
        border-top-color: #FFF;
        border-right-color: #FFF;

```

```

border-bottom-color: #FFF;
border-left-color: #FFF;
background-color: #FFF;
border-top-style: none;
border-right-style: none;
border-bottom-style: none;
border-left-style: none;
font-weight: bold;
}
@import url(http://fonts.googleapis.com/css?family=Lato);

* {
margin:0;
padding:0;
}

.header .content #Accordion1 .AccordionPanel.AccordionPanelOpen
.AccordionPanelContent #CollapsiblePanel1 .CollapsiblePanelContent {
font-size: 14px;
}
.header .content #Accordion1 .AccordionPanel.AccordionPanelOpen
.AccordionPanelContent #CollapsiblePanel1 .CollapsiblePanelContent {
font-size: 13px;
}
.header .content #Accordion1 .AccordionPanel.AccordionPanelOpen
.AccordionPanelContent #CollapsiblePanel1 .CollapsiblePanelContent {
font-size: 14px;
}

.izborniZeleno
{
-webkit-box-shadow: rgba(0,0,0,0.0.1) 0 1px 0 0;
-moz-box-shadow: rgba(0,0,0,0.0.1) 0 1px 0 0;
box-shadow: rgba(0,0,0,0.0.1) 0 1px 0 0;
background-color: #99cc99;
border: 1px solid #617F61;
font-family: 'Lucida
Grande',Tahoma,Verdana,Arial,sans-serif;
font-size: 12px;
}

```

```

        font-weight: 700;
        padding: 2px 6px;
        height: 28px;
        color: #fff;
        border-radius: 5px;
        -moz-border-radius: 5px;
        -webkit-border-radius: 5px
    }
    .izborniZeleno:hover {
        background-color: #99CC99;
        background-image: -webkit-linear-
gradient(270deg,rgba(153,204,153,1.00) 0%,rgba(195,224,195,1.00) 100%);
        background-image: -moz-linear-
gradient(270deg,rgba(153,204,153,1.00) 0%,rgba(195,224,195,1.00) 100%);
        background-image: -ms-linear-gradient(top,
#8B9DC3, #8b9dc3);
        background-image: -o-linear-
gradient(270deg,rgba(153,204,153,1.00) 0%,rgba(195,224,195,1.00) 100%);
        background-image: linear-
gradient(180deg,rgba(153,204,153,1.00) 0%,rgba(195,224,195,1.00) 100%);
        text-decoration: none;
    }

    .izborniNar
    {
        -webkit-box-shadow: rgba(0,0,0,0.0.1) 0 1px 0 0;
        -moz-box-shadow: rgba(0,0,0,0.0.1) 0 1px 0 0;
        box-shadow: rgba(0,0,0,0.0.1) 0 1px 0 0;
        background-color: #ECB464;
        border: 1px solid #617F61;
        font-family: 'Lucida
Grande',Tahoma,Verdana,Arial,sans-serif;
        font-size: 12px;
        font-weight: 700;
        padding: 2px 6px;
        height: 28px;
        color: #fff;
        border-radius: 5px;
        -moz-border-radius: 5px;

```

```

        -webkit-border-radius: 5px;
        background-image: -webkit-linear-
gradient(270deg,rgba(236,180,100,1.00) 0%,rgba(240,214,177,1.00) 100%);
        background-image: -moz-linear-
gradient(270deg,rgba(236,180,100,1.00) 0%,rgba(240,214,177,1.00) 100%);
        background-image: -o-linear-
gradient(270deg,rgba(236,180,100,1.00) 0%,rgba(240,214,177,1.00) 100%);
        background-image: linear-
gradient(180deg,rgba(236,180,100,1.00) 0%,rgba(240,214,177,1.00) 100%);
    }
    .izborniNar:hover {
        background-color: rgba(236,180,100,1.00);
        background-image: -webkit-linear-
gradient(270deg,rgba(236,180,100,1.00) 0%,rgba(236,224,195,1.00) 100%);
        background-image: -moz-linear-
gradient(270deg,rgba(236,180,100,1.00) 0%,rgba(236,224,195,1.00) 100%);
        background-image: -ms-linear-gradient(top,
#8B9DC3, #8b9dc3);
        background-image: -o-linear-
gradient(270deg,rgba(236,180,100,1.00) 0%,rgba(236,224,195,1.00) 100%);
        background-image: linear-
gradient(180deg,rgba(236,180,100,1.00) 0%,rgba(236,224,195,1.00) 100%);
        text-decoration: none;}
    .izborniCRV
    {
        -webkit-box-shadow: rgba(0,0,0,0.0.1) 0 1px 0 0;
        -moz-box-shadow: rgba(0,0,0,0.0.1) 0 1px 0 0;
        box-shadow: rgba(0,0,0,0.0.1) 0 1px 0 0;
        background-color: rgba(244,23,119,1.00);
        border: 1px solid #E94F67;
        font-family: 'Lucida
Grande',Tahoma,Verdana,Arial,sans-serif;
        font-size: 12px;
        font-weight: 700;
        padding: 2px 6px;
        height: 28px;
        color: #fff;
        border-radius: 5px;
        -moz-border-radius: 5px;

```

```

        -webkit-border-radius: 5px;
    }
    .izborniCRV:hover {
        background-color: rgba(244,23,119,1.00);
        background-image:         -webkit-linear-
gradient(270deg,rgba(244,23,119,1.00) 0%,rgba(248,100,164,1.00) 100%);
        background-image:         -moz-linear-
gradient(270deg,rgba(244,23,119,1.00) 0%,rgba(248,100,164,1.00) 100%);
        background-image:         -ms-linear-gradient(top,
#8B9DC3, #8b9dc3);
        background-image:         -o-linear-
gradient(270deg,rgba(244,23,119,1.00) 0%,rgba(248,100,164,1.00) 100%);
        background-image:         linear-
gradient(180deg,rgba(244,23,119,1.00) 0%,rgba(248,100,164,1.00) 100%);
        text-decoration: none;
    }

```

/* SpryAccordion.css - version 0.5 - Spry Pre-Release 1.6.1 */

/* Copyright (c) 2006. Adobe Systems Incorporated. All rights reserved. */

```

.Accordion {
    border-left: solid 1px gray;
    border-right: solid 1px black;
    border-bottom: solid 1px gray;
    overflow: visible;
    font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    font-size: 16px;
    font-weight: lighter;
    font-style: normal;
    line-height: normal;
    -webkit-transition:         all         1s         cubic-
bezier(x1,y1,x2,y2);
    -moz-transition: all 1s cubic-bezier(x1,y1,x2,y2);
    -ms-transition: all 1s cubic-bezier(x1,y1,x2,y2);
    -o-transition: all 1s cubic-bezier(x1,y1,x2,y2);
    transition: all 1s cubic-bezier(x1,y1,x2,y2);
    overflow:hidden !important;

```

```
}
```

```
.AccordionPanel {
```

```
margin: 0px;  
padding: 0px;  
font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;  
font-size: 20px;  
font-weight: bold;  
color: #FFFFFF;  
font-style: oblique;  
line-height: normal;  
float: none;  
visibility: visible;
```

```
}
```

```
.AccordionPanelTab {
```

```
background-color: #6D84B4;  
border-top: solid 1px black;  
border-bottom: solid 1px gray;  
margin: 0px;  
padding: 2px;  
cursor: pointer;  
-moz-user-select: none;  
-khtml-user-select: none;  
overflow: hidden;  
font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
```

```
}
```

```
.HEADER {
```

```
background-color: #FFFFFF;  
color: #F00;
```

```
}
```

```
overflow: auto;  
margin: 0px;  
padding: 0px;  
height: 200px;  
font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
```

```

        font-size: 14px;
        font-weight: bold;
        color: #3B5998;
        background-color: #FFFFFF;
        visibility: visible;
    }
    .AccordionPanelOpen .AccordionPanelTab {
        background-color: #DFE3EE;
        color: #3b5998;
        overflow: visible;
        font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    }
    .modul {
        width: 200px;
    }

    .AccordionPanelTabHover {
        color: #D2D3DD;
        text-decoration: blink;
    }
    .AccordionPanelOpen .AccordionPanelTabHover {
        color: #6D84B4;
    }

    .AccordionFocused .AccordionPanelTab {
        background-color: #8B9DC3;
    }

    .AccordionFocused .AccordionPanelOpen .AccordionPanelTab {
        background-color: #DFE3EE;
    }

    @media print {

        .AccordionPanelContent {
            display: block !important;
            overflow: auto !important;
            height: 200px !important;
        }
    }

```

```

        background-color: #FFFFFF;
    }
}
.status {
    width: 170px;
}
.godina {
    width: 70px;
}
.predmet {
    width: 500px;
}

.container .content #Accordion1 .AccordionPanel.AccordionPanelOpen
.AccordionPanelContent #form1 table tr td label {
    color: #8B9DC3;
    font-family: "Lucida Sans Unicode", "Lucida
Grande", sans-serif;
}
.container .content #Accordion1 .AccordionPanel.AccordionPanelOpen
.AccordionPanelContent #form1 table tr td {
    color: #8B9DC3;
    font-size: 14px;
    font-weight: bold;
}
.font {
    font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #3B5998;
    float: none;
    background-color: #FFFFFF;
    font-weight: normal;
}
.predmetuplate {
    height: 100px;
    width: 800px;
    background-color: #F0F0F0;
}

```



```

}
.tema {
    height: 30px;
    width: 500px;
}
.fonttabela {
    font-size: 16px;
    color: #888888;
}

@charset "UTF-8";

.TabbedPanels {
    overflow: hidden;
    margin: 0px;
    padding: 0px;
    clear: none;
    width: 100%; /* IE Hack to force proper layout
when preceded by a paragraph. (hasLayout Bug)*/
}

.TabbedPanelsTabGroup {
    margin: 0px;
    padding: 0px;
}

.TabbedPanelsTab {
    position: relative;
    top: 1px;
    float: left;
    padding: 4px 10px;
    margin: 0px 1px 0px 0px;
    font: bold 0.7em sans-serif;
    background-color: #DDD;
    list-style: none;
    border-left: solid 1px #CCC;
    border-bottom: solid 1px #999;
    border-top: solid 1px #999;
}

```

```

border-right: solid 1px #999;
-moz-user-select: none;
-khtml-user-select: none;
cursor: pointer;
font-size: 12pt;
color: #ADA1A5;
}

.TabbedPanelsTabHover {
background-color: #CCC;
}

.TabbedPanelsTabSelected {
background-color: #EEE;
border-bottom: 1px solid #EEE;
font-size: 12pt;
font-family: Calibri;
color: #6D84B4;
}

.TabbedPanelsTab a {
color: black;
text-decoration: none;
}

.TabbedPanelsContentGroup {
clear: both;
border-left: solid 1px #CCC;
border-bottom: solid 1px #CCC;
border-top: solid 1px #999;
border-right: solid 1px #999;
background-color: #EEE;
}

.TabbedPanelsContent {
overflow: hidden;
padding: 4px;
}

```

```
.TabbedPanelsContentVisible {  
}
```

```
.VTabbedPanels {  
    overflow: hidden;  
    zoom: 1;  
}
```

```
.VTabbedPanels .TabbedPanelsTabGroup {  
    float: left;  
    width: 10em;  
    height: 20em;  
    background-color: #EEE;  
    position: relative;  
    border-top: solid 1px #999;  
    border-right: solid 1px #999;  
    border-left: solid 1px #CCC;  
    border-bottom: solid 1px #CCC;  
}
```

```
.VTabbedPanels .TabbedPanelsTab {  
    float: none;  
    margin: 0px;  
    border-top: none;  
    border-left: none;  
    border-right: none;  
}
```

```
.VTabbedPanels .TabbedPanelsTabSelected {  
    background-color: #EEE;  
    border-bottom: solid 1px #999;  
}
```

```
.VTabbedPanels .TabbedPanelsContentGroup {  
    clear: none;  
    float: left;  
    padding: 0px;  
    width: 30em;  
}
```

```

        height: 20em;
    }

    /* Styles for Printing */
    @media print {
        .TabbedPanels {
            overflow: visible !important;
        }
        .TabbedPanelsContentGroup {
            display: block !important;
            overflow: visible !important;
            height: auto !important;
        }
        .TabbedPanelsContent {
            overflow: visible !important;
            display: block !important;
            clear:both !important;
        }
        .TabbedPanelsTab {
            overflow: visible !important;
            display: block !important;
            clear:both !important;
        }
    }
}

```

8.2. Java script kod

```

(function() { // BeginSpryComponent

if (typeof Spry == "undefined") window.Spry = {}; if (!Spry.Widget)
Spry.Widget = {};

```

```

Spry.Widget.Accordion = function(element, opts)
{
    this.element = this.getElement(element);
    this.defaultPanel = -1;
    this.hoverClass = "AccordionPanelTabHover";
    this.openClass = "AccordionPanelOpen";
    this.closedClass = "AccordionPanelClosed";
    this.focusedClass = "AccordionFocused";
    this.enableAnimation = true;
    this.enableKeyboardNavigation = true;
    this.currentPanel = null;
    this.animator = null;
    this.hasFocus = true;

    this.previousPanelKeyCode = Spry.Widget.Accordion.KEY_UP;
    this.nextPanelKeyCode = Spry.Widget.Accordion.KEY_DOWN;

    this.useFixedPanelHeights = false;
    this.fixedPanelHeight = -1;

    Spry.Widget.Accordion.setOptions(this, opts, true);

    if (this.element)
        this.attachBehaviors();
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.getElement = function(ele)
{
    if (ele && typeof ele == "string")
        return document.getElementById(ele);
    return ele;
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.addClassName = function(ele, className)
{
    if (!ele || !className || (ele.className && ele.className.search(new
RegExp("\\b" + className + "\\b")) != -1))
        return;
    ele.className += (ele.className ? " " : "") + className;
}

```

```
};
```

```
Spry.Widget.Accordion.prototype.removeClassName = function(ele,
className)
{
    if (!ele || !className || (ele.className && ele.className.search(new
RegExp("\\b" + className + "\\b")) == -1))
        return;
    ele.className = ele.className.replace(new RegExp("\\s*\\b" +
className + "\\b", "g"), "");
};
```

```
Spry.Widget.Accordion.setOptions = function(obj, optionsObj,
ignoreUndefinedProps)
{
    if (!optionsObj)
        return;
    for (var optionName in optionsObj)
    {
        if (ignoreUndefinedProps && optionsObj[optionName] ==
undefined)
            continue;
        obj[optionName] = optionsObj[optionName];
    }
};
```

```
Spry.Widget.Accordion.prototype.onPanelTabMouseOver = function(e, panel)
{
    if (panel)
        this.addClassName(this.getPanelTab(panel), this.hoverClass);
    return false;
};
```

```
Spry.Widget.Accordion.prototype.onPanelTabMouseOut = function(e, panel)
{
    if (panel)
        this.removeClassName(this.getPanelTab(panel), this.hoverClass);
    return false;
};
```

```

Spry.Widget.Accordion.prototype.openPanel = function(elementOrIndex)
{
    var panelA = this.currentPanel;
    var panelB;

    if (typeof elementOrIndex == "number")
        panelB = this.getPanels()[elementOrIndex];
    else
        panelB = this.getElement(elementOrIndex);

    if (!panelB || panelA == panelB)
        return null;

    var contentA = panelA ? this.getPanelContent(panelA) : null;
    var contentB = this.getPanelContent(panelB);

    if (!contentB)
        return null;

    if (this.useFixedPanelHeights && !this.fixedPanelHeight)
        this.fixedPanelHeight = (contentA.offsetHeight) ?
contentA.offsetHeight : contentA.scrollHeight;

    if (this.enableAnimation)
    {
        if (this.animator)
            this.animator.stop();
        this.animator = new Spry.Widget.Accordion.PanelAnimator(this,
panelB, { duration: this.duration, fps: this.fps, transition: this.transition });
        this.animator.start();
    }
    else
    {
        if(contentA)
        {
            contentA.style.display = "none";
            contentA.style.height = "0px";
        }
    }
}

```

```

        contentB.style.display = "block";
        contentB.style.height = this.useFixedPanelHeights ?
this.fixedPanelHeight + "px" : "auto";
    }

    if(panelA)
    {
        this.removeClassName(panelA, this.openClass);
        this.addClassName(panelA, this.closedClass);
    }

    this.removeClassName(panelB, this.closedClass);
    this.addClassName(panelB, this.openClass);

    this.currentPanel = panelB;

    return panelB;
};

```

```

Spry.Widget.Accordion.prototype.closePanel = function()
{
    // The accordion can only ever have one panel open at any
    // give time, so this method only closes the current panel.
    // If the accordion is in fixed panel heights mode, this
    // method does nothing.

    if (!this.useFixedPanelHeights && this.currentPanel)
    {
        var panel = this.currentPanel;
        var content = this.getPanelContent(panel);
        if (content)
        {
            if (this.enableAnimation)
            {
                if (this.animator)
                    this.animator.stop();
                this.animator = new
Spry.Widget.Accordion.PanelAnimator(this, null, { duration: this.duration, fps:
this.fps, transition: this.transition });
            }
        }
    }
};

```



```

        this.ancestor.start();
    }
    else
    {
        content.style.display = "none";
        content.style.height = "0px";
    }
}
this.removeClassName(panel, this.openClass);
this.addClassName(panel, this.closedClass);
this.currentPanel = null;
}
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.openNextPanel = function()
{
    return this.openPanel(this.getCurrentPanelIndex() + 1);
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.openPreviousPanel = function()
{
    return this.openPanel(this.getCurrentPanelIndex() - 1);
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.openFirstPanel = function()
{
    return this.openPanel(0);
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.openLastPanel = function()
{
    var panels = this.getPanels();
    return this.openPanel(panels[panels.length - 1]);
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.onPanelTabClick = function(e, panel)
{
    if (panel != this.currentPanel)
        this.openPanel(panel);
};

```

```

        else
            this.closePanel();

        if (this.enableKeyboardNavigation)
            this.focus();

        if (e.preventDefault) e.preventDefault();
        else e.returnValue = false;
        if (e.stopPropagation) e.stopPropagation();
        else e.cancelBubble = true;

        return false;
    };

    Spry.Widget.Accordion.prototype.onFocus = function(e)
    {
        this.hasFocus = true;
        this.addClassName(this.element, this.focusedClass);
        return false;
    };

    Spry.Widget.Accordion.prototype.onBlur = function(e)
    {
        this.hasFocus = false;
        this.removeClassName(this.element, this.focusedClass);
        return false;
    };

    Spry.Widget.Accordion.KEY_UP = 38;
    Spry.Widget.Accordion.KEY_DOWN = 40;

    Spry.Widget.Accordion.prototype.onKeyDown = function(e)
    {
        var key = e.keyCode;
        if (!this.hasFocus || (key != this.previousPanelKeyCode && key !=
this.nextPanelKeyCode))
            return true;

        var panels = this.getPanels();

```

```

    if (!panels || panels.length < 1)
        return false;
    var currentPanel = this.currentPanel ? this.currentPanel : panels[0];
    var nextPanel = (key == this.nextPanelKeyCode) ?
currentPanel.nextSibling : currentPanel.previousSibling;

    while (nextPanel)
    {
        if (nextPanel.nodeType == 1 /* Node.ELEMENT_NODE */)
            break;
        nextPanel = (key == this.nextPanelKeyCode) ?
nextPanel.nextSibling : nextPanel.previousSibling;
    }

    if (nextPanel && currentPanel != nextPanel)
        this.openPanel(nextPanel);

    if (e.preventDefault) e.preventDefault();
    else e.returnValue = false;
    if (e.stopPropagation) e.stopPropagation();
    else e.cancelBubble = true;

    return false;
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.attachPanelHandlers = function(panel)
{
    if (!panel)
        return;

    var tab = this.getPanelTab(panel);

    if (tab)
    {
        var self = this;
        Spry.Widget.Accordion.addEventListener(tab, "click", function(e)
{ return self.onPanelTabClick(e, panel); }, false);
        Spry.Widget.Accordion.addEventListener(tab, "mouseover",
function(e) { return self.onPanelTabMouseOver(e, panel); }, false);
    }
}

```

```

        Spry.Widget.Accordion.addListener(tab, "mouseout",
function(e) { return self.onPanelTabMouseOut(e, panel); }, false);
    }
};

```

```

Spry.Widget.Accordion.addListener = function(element, eventType,
handler, capture)
{
    try
    {
        if (element.addListener)
            element.addListener(eventType, handler, capture);
        else if (element.attachEvent)
            element.attachEvent("on" + eventType, handler);
    }
    catch (e) {}
};

```

```

Spry.Widget.Accordion.prototype.initPanel = function(panel, isDefault)
{
    var content = this.getPanelContent(panel);
    if (isDefault)
    {
        this.currentPanel = panel;
        this.removeClassName(panel, this.closedClass);
        this.addClassName(panel, this.openClass);

        // Attempt to set up the height of the default panel. We don't
want to
        // do any dynamic panel height calculations here because our
accordion
        // or one of its parent containers may be display:none.

        if (content)
        {
            if (this.useFixedPanelHeights)
            {
                // We are in fixed panel height mode and the user
passed in

```

```

        // a panel height for us to use.

        if (this.fixedPanelHeight)
            content.style.height = this.fixedPanelHeight +
"px";
    }
    else
    {
        // We are in variable panel height mode, but since
we can't
height to
        // calculate the panel height here, we just set the
        // auto so that it expands to show all of its content.

        content.style.height = "auto";
    }
}
}
else
{
    this.removeClassName(panel, this.openClass);
    this.addClassName(panel, this.closedClass);

    if (content)
    {
        content.style.height = "0px";
        content.style.display = "none";
    }
}

    this.attachPanelHandlers(panel);
};

```

```

Spry.Widget.Accordion.prototype.attachBehaviors = function()
{
    var panels = this.getPanels();
    for (var i = 0; i < panels.length; i++)
        this.initPanel(panels[i], i == this.defaultPanel);
}

```

```

// Advanced keyboard navigation requires the tabindex attribute
// on the top-level element.

this.enableKeyboardNavigation = (this.enableKeyboardNavigation &&
this.element.attributes.getNamedItem("tabindex"));
if (this.enableKeyboardNavigation)
{
    var self = this;
    Spry.Widget.Accordion.addEventListener(this.element, "focus",
function(e) { return self.onFocus(e); }, false);
    Spry.Widget.Accordion.addEventListener(this.element, "blur",
function(e) { return self.onBlur(e); }, false);
    Spry.Widget.Accordion.addEventListener(this.element,
"keydown", function(e) { return self.onKeyDown(e); }, false);
}
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.getPanels = function()
{
    return this.getElementChildren(this.element);
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.getCurrentPanel = function()
{
    return this.currentPanel;
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.getPanelIndex = function(panel)
{
    var panels = this.getPanels();
    for( var i = 0 ; i < panels.length; i++ )
    {
        if( panel == panels[i] )
            return i;
    }
    return -1;
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.getCurrentPanelIndex = function()

```

```

{
    return this.getPanelIndex(this.currentPanel);
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.getPanelTab = function(panel)
{
    if (!panel)
        return null;
    return this.getElementChildren(panel)[0];
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.getPanelContent = function(panel)
{
    if (!panel)
        return null;
    return this.getElementChildren(panel)[1];
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.getElementChildren = function(element)
{
    var children = [];
    var child = element.firstChild;
    while (child)
    {
        if (child.nodeType == 1 /* Node.ELEMENT_NODE */)
            children.push(child);
        child = child.nextSibling;
    }
    return children;
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.focus = function()
{
    if (this.element && this.element.focus)
        this.element.focus();
};

Spry.Widget.Accordion.prototype.blur = function()
{

```

```

        if (this.element && this.element.blur)
            this.element.blur();
    };

Spry.Widget.Accordion.PanelAnimator = function(accordion, panel, opts)
{
    this.timer = null;
    this.interval = 0;

    this.fps = 60;
    this.duration = 500;
    this.startTime = 0;

    this.transition
Spry.Widget.Accordion.PanelAnimator.defaultTransition;

    this.onComplete = null;

    this.panel = panel;
    this.panelToOpen = accordion.getElement(panel);
    this.panelData = [];
    this.useFixedPanelHeights = accordion.useFixedPanelHeights;

    Spry.Widget.Accordion.setOptions(this, opts, true);

    this.interval = Math.floor(1000 / this.fps);

    // Set up the array of panels we want to animate.

    var panels = accordion.getPanels();
    for (var i = 0; i < panels.length; i++)
    {
        var p = panels[i];
        var c = accordion.getPanelContent(p);
        if (c)
        {
            var h = c.offsetHeight;
            if (h == undefined)
                h = 0;
        }
    }
}

```



```

        if (p == panel && h == 0)
            c.style.display = "block";

        if (p == panel || h > 0)
        {
            var obj = new Object;
            obj.panel = p;
            obj.content = c;
            obj.fromHeight = h;
            obj.toHeight = (p == panel) ?
(accordion.useFixedPanelHeights ? accordion.fixedPanelHeight : c.scrollHeight)
: 0;

            obj.distance = obj.toHeight - obj.fromHeight;
            obj.overflow = c.style.overflow;
            this.panelData.push(obj);

            c.style.overflow = "hidden";
            c.style.height = h + "px";
        }
    }
};

```

```

Spry.Widget.Accordion.PanelAnimator.defaultTransition = function(time,
begin, finish, duration) { time /= duration; return begin + ((2 - time) * time *
finish); };

```

```

Spry.Widget.Accordion.PanelAnimator.prototype.start = function()
{
    var self = this;
    this.startTime = (new Date).getTime();
    this.timer = setTimeout(function() { self.stepAnimation(); }, this.interval);
};

```

```

Spry.Widget.Accordion.PanelAnimator.prototype.stop = function()
{
    if (this.timer)
    {

```

```

clearTimeout(this.timer);

// If we're killing the timer, restore the overflow
// properties on the panels we were animating!

for (i = 0; i < this.panelData.length; i++)
{
    obj = this.panelData[i];
    obj.content.style.overflow = obj.overflow;
}

this.timer = null;
};

Spry.Widget.Accordion.PanelAnimator.prototype.stepAnimation = function()
{
    var curTime = (new Date).getTime();
    var elapsedTime = curTime - this.startTime;

    var i, obj;

    if (elapsedTime >= this.duration)
    {
        for (i = 0; i < this.panelData.length; i++)
        {
            obj = this.panelData[i];
            if (obj.panel != this.panel)
            {
                obj.content.style.display = "none";
                obj.content.style.height = "0px";
            }
            obj.content.style.overflow = obj.overflow;
            obj.content.style.height = (this.useFixedPanelHeights ||
obj.toHeight == 0) ? obj.toHeight + "px" : "auto";
        }
        if (this.onComplete)
            this.onComplete();
        return;
    }

```

```

    }

    for (i = 0; i < this.panelData.length; i++)
    {
        obj = this.panelData[i];
        var ht = this.transition(elapsedTime, obj.fromHeight, obj.distance,
this.duration);
        obj.content.style.height = ((ht < 0) ? 0 : ht) + "px";
    }

    var self = this;
    this.timer = setTimeout(function() { self.stepAnimation(); }, this.interval);
};

})(); // EndSpryComponent

(function() { // BeginSpryComponent

if (typeof Spry == "undefined") window.Spry = {}; if (!Spry.Widget)
Spry.Widget = {};

Spry.Widget.TabbedPanels = function(element, opts)
{
    this.element = this.getElement(element);
    this.defaultTab = 0; // Show the first panel by default.
    this.tabSelectedClass = "TabbedPanelsTabSelected";
    this.tabHoverClass = "TabbedPanelsTabHover";
    this.tabFocusedClass = "TabbedPanelsTabFocused";
    this.panelVisibleClass = "TabbedPanelsContentVisible";
    this.focusElement = null;
    this.hasFocus = false;
    this.currentTabIndex = 0;
    this.enableKeyboardNavigation = true;
    this.nextPanelKeyCode = Spry.Widget.TabbedPanels.KEY_RIGHT;
    this.previousPanelKeyCode = Spry.Widget.TabbedPanels.KEY_LEFT;

    Spry.Widget.TabbedPanels.setOptions(this, opts);

    // If the defaultTab is expressed as a number/index, convert

```

```

    // it to an element.

    if (typeof (this.defaultTab) == "number")
    {
        if (this.defaultTab < 0)
            this.defaultTab = 0;
        else
        {
            var count = this.getTabbedPanelCount();
            if (this.defaultTab >= count)
                this.defaultTab = (count > 1) ? (count - 1) : 0;
        }

        this.defaultTab = this.getTabs()[this.defaultTab];
    }

    // The defaultTab property is supposed to be the tab element for the tab
content
    // to show by default. The caller is allowed to pass in the element itself
or the
    // element's id, so we need to convert the current value to an element if
necessary.

    if (this.defaultTab)
        this.defaultTab = this.getElement(this.defaultTab);

    this.attachBehaviors();
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getElement = function(ele)
{
    if (ele && typeof ele == "string")
        return document.getElementById(ele);
    return ele;
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getElementChildren = function(element)
{
    var children = [];

```

```

    var child = element.firstChild;
    while (child)
    {
        if (child.nodeType == 1 /* Node.ELEMENT_NODE */)
            children.push(child);
        child = child.nextSibling;
    }
    return children;
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.addClassName = function(ele,
className)
{
    if (!ele || !className || (ele.className && ele.className.search(new
RegExp("\\b" + className + "\\b")) != -1))
        return;
    ele.className += (ele.className ? " " : "") + className;
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.removeClassName = function(ele,
className)
{
    if (!ele || !className || (ele.className && ele.className.search(new
RegExp("\\b" + className + "\\b")) == -1))
        return;
    ele.className = ele.className.replace(new RegExp("\\s*" +
className + "\\b", "g"), "");
};

Spry.Widget.TabbedPanels.setOptions = function(obj, optionsObj,
ignoreUndefinedProps)
{
    if (!optionsObj)
        return;
    for (var optionName in optionsObj)
    {
        if (ignoreUndefinedProps && optionsObj[optionName] ==
undefined)
            continue;

```

```

        obj[optionName] = optionsObj[optionName];
    }
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getTabGroup = function()
{
    if (this.element)
    {
        var children = this.getElementChildren(this.element);
        if (children.length)
            return children[0];
    }
    return null;
};

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getTabs = function()
{
    var tabs = [];
    var tg = this.getTabGroup();
    if (tg)
        tabs = this.getElementChildren(tg);
    return tabs;
};

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getContentPanelGroup = function()
{
    if (this.element)
    {
        var children = this.getElementChildren(this.element);
        if (children.length > 1)
            return children[1];
    }
    return null;
};

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getContentPanels = function()
{
    var panels = [];
    var pg = this.getContentPanelGroup();

```

```

        if (pg)
            panels = this.getElementChildren(pg);
        return panels;
    };

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getIndex = function(ele, arr)
{
    ele = this.getElement(ele);
    if (ele && arr && arr.length)
    {
        for (var i = 0; i < arr.length; i++)
        {
            if (ele == arr[i])
                return i;
        }
    }
    return -1;
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getTabIndex = function(ele)
{
    var i = this.getIndex(ele, this.getTabs());
    if (i < 0)
        i = this.getIndex(ele, this.getContentPanels());
    return i;
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getCurrentTabIndex = function()
{
    return this.currentTabIndex;
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.getTabbedPanelCount = function(ele)
{
    return Math.min(this.getTabs().length, this.getContentPanels().length);
};

Spry.Widget.TabbedPanels.addEventListener = function(element, eventType,
handler, capture)

```

```

{
    try
    {
        if (element.addEventListener)
            element.addEventListener(eventType, handler, capture);
        else if (element.attachEvent)
            element.attachEvent("on" + eventType, handler);
    }
    catch (e) {}
};

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.cancelEvent = function(e)
{
    if (e.preventDefault) e.preventDefault();
    else e.returnValue = false;
    if (e.stopPropagation) e.stopPropagation();
    else e.cancelBubble = true;

    return false;
};

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.onTabClick = function(e, tab)
{
    this.showPanel(tab);
    return this.cancelEvent(e);
};

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.onTabMouseOver = function(e, tab)
{
    this.addClassName(tab, this.tabHoverClass);
    return false;
};

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.onTabMouseOut = function(e, tab)
{
    this.removeClassName(tab, this.tabHoverClass);
    return false;
};

```



```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.onTabFocus = function(e, tab)
{
    this.hasFocus = true;
    this.addClassName(tab, this.tabFocusedClass);
    return false;
};

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.onTabBlur = function(e, tab)
{
    this.hasFocus = false;
    this.removeClassName(tab, this.tabFocusedClass);
    return false;
};

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.KEY_UP = 38;
Spry.Widget.TabbedPanels.KEY_DOWN = 40;
Spry.Widget.TabbedPanels.KEY_LEFT = 37;
Spry.Widget.TabbedPanels.KEY_RIGHT = 39;

```

```

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.onTabKeyDown = function(e, tab)
{
    var key = e.keyCode;
    if (!this.hasFocus || (key != this.previousPanelKeyCode && key !=
this.nextPanelKeyCode))
        return true;

    var tabs = this.getTabs();
    for (var i = 0; i < tabs.length; i++)
        if (tabs[i] == tab)
            {
                var el = false;
                if (key == this.previousPanelKeyCode && i > 0)
                    el = tabs[i-1];
                else if (key == this.nextPanelKeyCode && i < tabs.length-1)
                    el = tabs[i+1];

                if (el)

```

```

        {
            this.showPanel(el);
            el.focus();
            break;
        }
    }

    return this.cancelEvent(e);
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.preorderTraversal = function(root, func)
{
    var stopTraversal = false;
    if (root)
    {
        stopTraversal = func(root);
        if (root.hasChildNodes())
        {
            var child = root.firstChild;
            while (!stopTraversal && child)
            {
                stopTraversal = this.preorderTraversal(child, func);
                try { child = child.nextSibling; } catch (e) { child =
null; }
            }
        }
        return stopTraversal;
    }
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.addPanelEventListeners = function(tab,
panel)
{
    var self = this;
    Spry.Widget.TabbedPanels.addEventListener(tab, "click", function(e) {
return self.onTabClick(e, tab); }, false);
    Spry.Widget.TabbedPanels.addEventListener(tab, "mouseover",
function(e) { return self.onTabMouseOver(e, tab); }, false);
};

```

```

        Spry.Widget.TabbedPanels.addEventListener(tab, "mouseout",
function(e) { return self.onTabMouseOut(e, tab); }, false);

    if (this.enableKeyboardNavigation)
    {

        var tabIndexEle = null;
        var tabAnchorEle = null;

        this.preorderTraversal(tab, function(node) {
            if (node.nodeType == 1 /* NODE.ELEMENT_NODE */)
            {
                var tabIndexAttr =
tab.attributes.getNamedItem("tabindex");
                if (tabIndexAttr)
                {
                    tabIndexEle = node;
                    return true;
                }
                if (!tabAnchorEle &&
node.nodeName.toLowerCase() == "a")
                    tabAnchorEle = node;
            }
            return false;
        });

        if (tabIndexEle)
            this.focusElement = tabIndexEle;
        else if (tabAnchorEle)
            this.focusElement = tabAnchorEle;

        if (this.focusElement)
        {

            Spry.Widget.TabbedPanels.addEventListener(this.focusElement, "focus",
function(e) { return self.onTabFocus(e, tab); }, false);

```

```
Spry.Widget.TabbedPanels.addEventListener(this.focusElement, "blur",
function(e) { return self.onTabBlur(e, tab); }, false);
```

```
Spry.Widget.TabbedPanels.addEventListener(this.focusElement,
"keydown", function(e) { return self.onTabKeyDown(e, tab); }, false);
    }
}
};
```

```
Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.showPanel = function(elementOrIndex)
{
```

```
    var tpIndex = -1;
```

```
    if (typeof elementOrIndex == "number")
```

```
        tpIndex = elementOrIndex;
```

```
    else // Must be the element for the tab or content panel.
```

```
        tpIndex = this.getTabIndex(elementOrIndex);
```

```
    if (!tpIndex < 0 || tpIndex >= this.getTabbedPanelCount())
```

```
        return;
```

```
    var tabs = this.getTabs();
```

```
    var panels = this.getContentPanels();
```

```
    var numTabbedPanels = Math.max(tabs.length, panels.length);
```

```
    for (var i = 0; i < numTabbedPanels; i++)
```

```
    {
```

```
        if (i != tpIndex)
```

```
        {
```

```
            if (tabs[i])
```

```
                this.removeClassName(tabs[i],
```

```
this.tabSelectedClass);
```

```
            if (panels[i])
```

```
            {
```

```
                this.removeClassName(panels[i],
```

```
this.panelVisibleClass);
```

```
                panels[i].style.display = "none";
```

```

        }
    }
}

this.addClassName(tabs[tpIndex], this.tabSelectedClass);
this.addClassName(panels[tpIndex], this.panelVisibleClass);
panels[tpIndex].style.display = "block";

this.currentTabIndex = tpIndex;
};

Spry.Widget.TabbedPanels.prototype.attachBehaviors = function(element)
{
    var tabs = this.getTabs();
    var panels = this.getContentPanels();
    var panelCount = this.getTabbedPanelCount();

    for (var i = 0; i < panelCount; i++)
        this.addPanelEventListeners(tabs[i], panels[i]);

    this.showPanel(this.defaultTab);
};

})(); // EndSpryComponent

if (typeof Spry == "undefined") window.Spry = {}; if (!Spry.Widget)
Spry.Widget = {};

Spry.Widget.CollapsiblePanel = function(element, opts)
{
    this.element = this.getElement(element);
    this.focusElement = null;
    this.hoverClass = "CollapsiblePanelTabHover";
    this.openClass = "CollapsiblePanelOpen";
    this.closedClass = "CollapsiblePanelClosed";
    this.focusedClass = "CollapsiblePanelFocused";
    this.enableAnimation = true;
    this.enableKeyboardNavigation = true;
    this.animator = null;

```

```

    this.hasFocus = false;
    this.contentIsOpen = true;

    this.openPanelKeyCode = Spry.Widget.CollapsiblePanel.KEY_DOWN;
    this.closePanelKeyCode = Spry.Widget.CollapsiblePanel.KEY_UP;

    Spry.Widget.CollapsiblePanel.setOptions(this, opts);

    this.attachBehaviors();
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.getElement = function(ele)
{
    if (ele && typeof ele == "string")
        return document.getElementById(ele);
    return ele;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.addClassName = function(ele,
className)
{
    if (!ele || !className || (ele.className && ele.className.search(new
RegExp("\\b" + className + "\\b")) != -1))
        return;
    ele.className += (ele.className ? " " : "") + className;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.removeClassName = function(ele,
className)
{
    if (!ele || !className || (ele.className && ele.className.search(new
RegExp("\\b" + className + "\\b")) == -1))
        return;
    ele.className = ele.className.replace(new RegExp("\\s*" +
className + "\\b", "g"), "");
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.hasClassName = function(ele,
className)

```

```

{
    if (!ele || !className || !ele.className || ele.className.search(new
RegExp("\\b" + className + "\\b")) == -1)
        return false;
    return true;
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.setDisplay = function(ele, display)
{
    if( ele )
        ele.style.display = display;
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.setOptions = function(obj, optionsObj,
ignoreUndefinedProps)
{
    if (!optionsObj)
        return;
    for (var optionName in optionsObj)
    {
        if (ignoreUndefinedProps && optionsObj[optionName] ==
undefined)
            continue;
        obj[optionName] = optionsObj[optionName];
    }
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.onTabMouseOver = function(e)
{
    this.addClassName(this.getTab(), this.hoverClass);
    return false;
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.onTabMouseOut = function(e)
{
    this.removeClassName(this.getTab(), this.hoverClass);
    return false;
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.open = function()
{
    this.contentIsOpen = true;
    if (this.enableAnimation)
    {
        if (this.animator)
            this.animator.stop();
        this.animator = new
Spry.Widget.CollapsiblePanel.PanelAnimator(this, true, { duration:
this.duration, fps: this.fps, transition: this.transition });
        this.animator.start();
    }
    else
        this.setDisplay(this.getContent(), "block");

    this.removeClassName(this.element, this.closedClass);
    this.addClassName(this.element, this.openClass);
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.close = function()
{
    this.contentIsOpen = false;
    if (this.enableAnimation)
    {
        if (this.animator)
            this.animator.stop();
        this.animator = new
Spry.Widget.CollapsiblePanel.PanelAnimator(this, false, { duration:
this.duration, fps: this.fps, transition: this.transition });
        this.animator.start();
    }
    else
        this.setDisplay(this.getContent(), "none");

    this.removeClassName(this.element, this.openClass);
    this.addClassName(this.element, this.closedClass);
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.onTabClick = function(e)

```



```

{
    if (this.isOpen())
        this.close();
    else
        this.open();

    this.focus();

    return this.stopPropagation(e);
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.onFocus = function(e)
{
    this.hasFocus = true;
    this.addClassName(this.element, this.focusedClass);
    return false;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.onBlur = function(e)
{
    this.hasFocus = false;
    this.removeClassName(this.element, this.focusedClass);
    return false;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.KEY_UP = 38;
Spry.Widget.CollapsiblePanel.KEY_DOWN = 40;

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.onKeyDown = function(e)
{
    var key = e.keyCode;
    if (!this.hasFocus || (key != this.openPanelKeyCode && key !=
this.closePanelKeyCode))
        return true;

    if (this.isOpen() && key == this.closePanelKeyCode)
        this.close();
    else if (key == this.openPanelKeyCode)
        this.open();
};

```

```

        return this.stopPropagation(e);
    };

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.stopPropagation = function(e)
{
    if (e.preventDefault) e.preventDefault();
    else e.returnValue = false;
    if (e.stopPropagation) e.stopPropagation();
    else e.cancelBubble = true;
    return false;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.attachPanelHandlers = function()
{
    var tab = this.getTab();
    if (!tab)
        return;

    var self = this;
    Spry.Widget.CollapsiblePanel.addEventListener(tab, "click", function(e) {
return self.onTabClick(e); }, false);
    Spry.Widget.CollapsiblePanel.addEventListener(tab, "mouseover",
function(e) { return self.onTabMouseOver(e); }, false);
    Spry.Widget.CollapsiblePanel.addEventListener(tab, "mouseout",
function(e) { return self.onTabMouseOut(e); }, false);

    if (this.enableKeyboardNavigation)
    {

        var tabIndexEle = null;
        var tabAnchorEle = null;

        this.preorderTraversal(tab, function(node) {
            if (node.nodeType == 1 /* NODE.ELEMENT_NODE */)
            {
                var
                tabIndexAttr
                =
tab.attributes.getNamedItem("tabindex");

```

```

        if (tabIndexAttr)
        {
            tabIndexEle = node;
            return true;
        }
        if (!tabAnchorEle &&
node.nodeName.toLowerCase() == "a")
            tabAnchorEle = node;
    }
    return false;
});

```

```

    if (tabIndexEle)
        this.focusElement = tabIndexEle;
    else if (tabAnchorEle)
        this.focusElement = tabAnchorEle;

```

```

    if (this.focusElement)
    {

```

```

        Spry.Widget.CollapsiblePanel.addEventListener(this.focusElement,
"focus", function(e) { return self.onFocus(e); }, false);

```

```

        Spry.Widget.CollapsiblePanel.addEventListener(this.focusElement,
"blur", function(e) { return self.onBlur(e); }, false);

```

```

        Spry.Widget.CollapsiblePanel.addEventListener(this.focusElement,
"keydown", function(e) { return self.onKeyDown(e); }, false);
    }
}

```

```

};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.addEventListener = function(element,
eventType, handler, capture)
{

```

```

    try
    {

```

```

        if (element.addEventListener)
            element.addEventListener(eventType, handler, capture);
    }
}

```

```

        else if (element.attachEvent)
            element.attachEvent("on" + eventType, handler);
    }
    catch (e) {}
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.preorderTraversal = function(root,
func)
{
    var stopTraversal = false;
    if (root)
    {
        stopTraversal = func(root);
        if (root.hasChildNodes())
        {
            var child = root.firstChild;
            while (!stopTraversal && child)
            {
                stopTraversal = this.preorderTraversal(child, func);
                try { child = child.nextSibling; } catch (e) { child =
null; }
            }
        }
    }
    return stopTraversal;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.attachBehaviors = function()
{
    var panel = this.element;
    var tab = this.getTab();
    var content = this.getContent();

    if (this.contentIsOpen || this.hasClassName(panel, this.openClass))
    {
        this.addClassName(panel, this.openClass);
        this.removeClassName(panel, this.closedClass);
        this.setDisplay(content, "block");
        this.contentIsOpen = true;
    }
};

```

```

    }
    else
    {
        this.removeClassName(panel, this.openClass);
        this.addClassName(panel, this.closedClass);
        this.setDisplay(content, "none");
        this.contentIsOpen = false;
    }

    this.attachPanelHandlers();
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.getTab = function()
{
    return this.getElementChildren(this.element)[0];
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.getContent = function()
{
    return this.getElementChildren(this.element)[1];
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.isOpen = function()
{
    return this.contentIsOpen;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.getElementChildren
function(element)                                     =
{
    var children = [];
    var child = element.firstChild;
    while (child)
    {
        if (child.nodeType == 1 /* Node.ELEMENT_NODE */)
            children.push(child);
        child = child.nextSibling;
    }
    return children;
};

```

```
};
```

```
Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.focus = function()
```

```
{
```

```
    if (this.focusElement && this.focusElement.focus)
        this.focusElement.focus();
```

```
};
```

```
Spry.Widget.CollapsiblePanel.PanelAnimator = function(panel, doOpen, opts)
```

```
{
```

```
    this.timer = null;
```

```
    this.interval = 0;
```

```
    this.fps = 60;
```

```
    this.duration = 500;
```

```
    this.startTime = 0;
```

```
    this.transition
```

```
=
```

```
Spry.Widget.CollapsiblePanel.PanelAnimator.defaultTransition;
```

```
    this.onComplete = null;
```

```
    this.panel = panel;
```

```
    this.content = panel.getContent();
```

```
    this.doOpen = doOpen;
```

```
Spry.Widget.CollapsiblePanel.setOptions(this, opts, true);
```

```
    this.interval = Math.floor(1000 / this.fps);
```

```
    var c = this.content;
```

```
    var curHeight = c.offsetHeight ? c.offsetHeight : 0;
```

```
    this.fromHeight = (doOpen && c.style.display == "none") ? 0 : curHeight;
```

```
    if (!doOpen)
```

```
        this.toHeight = 0;
```

```
    else
```

```

    {
        if (c.style.display == "none")
        {
            // The content area is not displayed so in order to calculate
the extent
            // of the content inside it, we have to set its display to
block.

            c.style.visibility = "hidden";
            c.style.display = "block";
        }

        c.style.height = "";
        this.toHeight = c.offsetHeight;
    }

    this.distance = this.toHeight - this.fromHeight;
    this.overflow = c.style.overflow;

    c.style.height = this.fromHeight + "px";
    c.style.visibility = "visible";
    c.style.overflow = "hidden";
    c.style.display = "block";
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.PanelAnimator.defaultTransition =
function(time, begin, finish, duration) { time /= duration; return begin + ((2 -
time) * time * finish); };

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.PanelAnimator.prototype.start = function()
{
    var self = this;
    this.startTime = (new Date).getTime();
    this.timer = setTimeout(function() { self.stepAnimation(); }, this.interval);
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanel.PanelAnimator.prototype.stop = function()
{

```

```

    if (this.timer)
    {
        clearTimeout(this.timer);

        this.content.style.overflow = this.overflow;
    }

    this.timer = null;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanel.PanelAnimator.prototype.stepAnimation =
function()
{
    var curTime = (new Date).getTime();
    var elapsedTime = curTime - this.startTime;

    if (elapsedTime >= this.duration)
    {
        if (!this.doOpen)
            this.content.style.display = "none";
        this.content.style.overflow = this.overflow;
        this.content.style.height = this.toHeight + "px";
        if (this.onComplete)
            this.onComplete();
        return;
    }

    var ht = this.transition(elapsedTime, this.fromHeight, this.distance,
this.duration);

    this.content.style.height = ((ht < 0) ? 0 : ht) + "px";

    var self = this;

    this.timer = setTimeout(function() { self.stepAnimation(); }, this.interval);
};

```



```

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup = function(element, opts)
{
    this.element = this.getElement(element);
    this.opts = opts;

    this.attachBehaviors();
};

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.setOptions =
Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.setOptions;
Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.getElement =
Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.getElement;
Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.getElementChildren =
Spry.Widget.CollapsiblePanel.prototype.getElementChildren;

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.setElementWidget =
function(element, widget)
{
    if (!element || !widget)
        return;
    if (!element.spry)
        element.spry = new Object;
    element.spry.collapsiblePanel = widget;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.getElementWidget =
function(element)
{
    return (element && element.spry && element.spry.collapsiblePanel) ?
element.spry.collapsiblePanel : null;
};

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.getPanels = function()
{
    if (!this.element)
        return [];
    return this.getElementChildren(this.element);
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.getPanel = function(panelIndex)
{
    return this.getPanels()[panelIndex];
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.attachBehaviors = function()
{
    if (!this.element)
        return;

    var cpanels = this.getPanels();
    var numCPanels = cpanels.length;
    for (var i = 0; i < numCPanels; i++)
    {
        var cpanel = cpanels[i];
        this.setElementWidget(cpanel,
Spry.Widget.CollapsiblePanel(cpanel, this.opts));
    }
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.openPanel
function(panelIndex)
{
    var w = this.getElementWidget(this.getPanel(panelIndex));
    if (w && !w.isOpen())
        w.open();
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.closePanel
function(panelIndex)
{
    var w = this.getElementWidget(this.getPanel(panelIndex));
    if (w && w.isOpen())
        w.close();
};

```

```

Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.openAllPanels = function()
{
    var cpanels = this.getPanels();

```

```

        var numCPanels = cpanels.length;
        for (var i = 0; i < numCPanels; i++)
        {
            var w = this.getElementWidget(cpanels[i]);
            if (w && !w.isOpen())
                w.open();
        }
    };

    Spry.Widget.CollapsiblePanelGroup.prototype.closeAllPanels = function()
    {
        var cpanels = this.getPanels();
        var numCPanels = cpanels.length;
        for (var i = 0; i < numCPanels; i++)
        {
            var w = this.getElementWidget(cpanels[i]);
            if (w && w.isOpen())
                w.close();
        }
    };

    }); // EndSpryComponent

```

8.3. Приказ koda grafičko-korisničkog interfejsa

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<title>Program za rezidencijalno modelovanje i mapiranje radona</title>
<link href="css/radon.css" rel="stylesheet" type="text/css">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/style.css" />
<link href="css/SpryAccordion.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
<link href="css/SpryTabbedPanels.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
<link href="css/SpryCollapsiblePanel.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
<link href='http://fonts.googleapis.com/css?family=Lato:300,400,700'
rel='stylesheet' type='text/css' />
<script src="js/SpryAccordion.js" type="text/javascript"></script>

```

```

<script src="js/SpryTabbedPanels.js" type="text/javascript"></script>
<script src="js/SpryCollapsiblePanel.js" type="text/javascript"></script>
<script type="text/javascript" src="js/modernizr.custom.79639.js"></script>
<noscript><link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/noJS.css" />
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Lato, Arial, sans-serif;
}
</style>
</noscript>

</head>

<body>

<div class="container">
<div class="header">
<div align="left">

<p>
<script type="text/javascript"
src="http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.8.2/jquery.min.js"></scri
pt>
<script type="text/javascript">
</script></p>
</div>
<div class="content">
<div id="Accordion1" class="Accordion" tabindex="1">
<div class="AccordionPanel">
<div class="AccordionPanelTab">Izračunavanje ekshalacije materijala</div>
<div class="AccordionPanelContent" id="posalji">
<div id="TabbedPanels1" class="TabbedPanels">
<ul class="TabbedPanelsTabGroup">
<li class="TabbedPanelsTab" tabindex="0">Dodavanje novih materijala</li>
<li class="TabbedPanelsTab" tabindex="1">Izračunavanje ekshalacije</li>

```

```

<li class="TabbedPanelsTab" tabindex="2">Dozimetrijsko modelovanje</li>
<li class="TabbedPanelsTab" tabindex="0">Rezidencijalno modelovanje</li>
</ul>
<div class="TabbedPanelsContentGroup">
<div class="TabbedPanelsContent">
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<form id="UnosMaterijala" name="UnosMaterijala" method="post" action="">
<div align="center"></div>
<div align="center">
<table width="1027" border="1">
<tr>
<td width="328">Naziv materijala</td>
<td width="361">Poreklo</td>
<td width="171">Površina</td>
<td width="139">Masa</td>
</tr>
<tr>
<td><label for="Materijal"></label>
<input name="Materijal" type="text" id="Materijal" size="50" /></td>
<td><input name="MaterijalPoreklo" type="text" id="MaterijalPoreklo"
size="50" /></td>
<td><label for="A"></label>
<input name="A" type="text" id="A" size="5" />
m<sup>2</sup></td>
<td><input name="m" type="text" id="m" size="5" />
kg</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4"><div align="center">
<input name="UnosMaterijala2" type="submit" class="izborni"
id="UnosMaterijala2" value="Unesi materijal" />
<input name="PregledMaterijala" type="submit" class="izborniZeleno"
id="PregledMaterijala" value="Pregled unetih materijala" />
</div></td>
</tr>
</table>
</div>
</form>

```

```

<p>&nbsp;</p>
<p align="center">&nbsp;</p>
<p align="justify">&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
</div>
<div class="TabbedPanelsContent">
<form id="IzračunavanjeEkshalacije" name="IzračunavanjeEkshalacije"
method="post" action="">
<div align="center"></div>
<div align="center"></div>
<div align="center">
<table width="839" border="1">
<tr>
<td colspan="3"><div align="center">UNOS PARAMETARA</div></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3"><div align="left">Materijal:
<select name="select3" class="CollapsiblePanelTab" id="select3">
</select>
</div></td>
</tr>
<tr>
<td width="269"><div align="left">Početna koncentracija C<sub>0</sub> :
<input name="C0" type="text" id="C0" size="10" />
Bqm<sup>-3</sup></div></td>
<td width="283"><div align="left">Krajnja koncentracija C<sub>b</sub>:
<input name="Ck" type="text" id="Ck" size="10" />
Bqm<sup>-3</sup></div></td>
<td width="265">Zapremina aparature, V:
<input name="V" type="text" id="V" size="10" />
m<sup>3</sup></td>
</tr>
<tr>
<td><span style="font-size: 12px"><strong style="text-align:
center">λ</strong>=</span>
<input name="L" type="text" id="L" value="0.00756" size="10" />
h<sup>-1</sup></td>

```

```

<td><p><span style="font-size: 12px; color: #666;"><strong style="text-align:
center"> $\lambda$ </strong><sub>v</sub>=</span>
<input name="Lv" type="text" id="Lv" value="0.00756" size="10" />
</p>
<p></p></td>
<td><span style="font-size:
12px"><strong> $\lambda$ </strong><sup>*</sup>=</span>
<input name="L*" type="text" id="L*" value="L+Lv" size="10" />
      h<sup>-1</sup></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3"><div align="center">
<input name="IzračunajEkshalaciju2" type="submit" class="izborniZeleno"
id="IzračunajEkshalaciju2" value="Izračunaj ekshalaciju" />
</div></td>
</tr>
<tr>
<td><div align="left">Stopa ekshalacije:
<input name="E" type="text" id="E" value="(Ck*(L+Lv)-LvC0)*V/A" size="10"
/>
      Bqm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup></div></td>
<td><div align="left">Stopa masene ekshalacije:
<input name="Em2" type="text" id="Em2" value="E0*A/m" size="10" />
      Bqkg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup></div></td>
<td><div align="left">Efektivni sadržaj radijuma:
<input name="Ra2" type="text" id="Ra2" value="Em/L*" size="10" />
      Bqkg<sup>-1</sup></div></td>
</tr>
</table>
</div>
<div align="center"></div>
</form>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>

```

```

<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
<p>&nbsp;</p>
</div>
<div class="TabbedPanelsContent">
<form id="form1" name="form1" method="post" action="" align="center">
<div align="center">
<p>&nbsp;</p>
<table width="1236" border="1">
<tr>
<td width="171"><input type="radio" name="radio" id="materijal2"
value="materijal" />
Koncentracija </td>
<td width="277"><input type="radio" name="radio" id="materijal"
value="materijal" />
MATERIJAL</td>
<td colspan="2">RAVNOTEŽNI FAKTOR</td>
<td colspan="2">ARHITEKTONSKI PARAMETRI</td>
</tr>
<tr>
<td><label for="C"></label>
<input name="C" type="text" id="C" size="10" />
Bqm<sup>-3</sup></td>
<td><select name="select2" class="CollapsiblePanelTab" id="select2">
</select></td>
<td width="196"><div align="left">
<input type="radio" name="radio" id="materijal3" value="materijal" />
Za zatvorene prostorije
<input name="C2" type="text" id="C2" value="0.4" size="5" />
</div></td>
<td width="185"><input type="radio" name="radio" id="materijal4"
value="materijal" />
Za otvoren prostor
<input name="C3" type="text" id="C3" value="0.6" size="5" /></td>
<td width="187"><div align="left">Površina izvora

```



```

<input name="C4" type="text" id="C4" size="10" />
      m<sup>2</sup></div></td>
<td width="180"><div align="left">Zapremina prostorije
<input name="C5" type="text" id="C5" size="10" />
      m<sup>3</sup></div></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4"><div align="center">REZIDENCIJALNI PARAMETRI I
DOZNI FAKTORI</div></td>
<td colspan="2"><div align="center">Stopa ventilacije
<input name="C6" type="text" id="C6" size="10" />
      h <sup>-1</sup></div></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4"><div align="left">
<input type="radio" name="radio" id="materijal5" value="materijal" />
      Radni vek u trajanju od
<input name="C7" type="text" id="C7" size="5" />
      godina, pri
<input name="C8" type="text" id="C8" size="10" />
      radnih sati godišnje i doznom faktorom od
<input name="C9" type="text" id="C9" size="5" />
      mSv/WLM </div></td>
<td colspan="2" rowspan="4"><p align="center">
<label for="DozeRezultati"></label>
<textarea name="DozeRezultati" id="DozeRezultati" cols="45" rows="5">Stopa
doze = 2.261 μSv/h
Godišnja stopa doze = 15.85 mSv/a
Kumulativna doza = 15.85 mSv
</textarea>
</p>
<p align="center">
<input name="IzračunajDozu" type="submit" class="izborniZeleno"
id="IzračunajDozu" value="Izračunaj dozu" />
</p></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2"><div align="left">
<input type="radio" name="radio" id="materijal6" value="materijal" />

```

```

                Vreme provedeno na zatvorenom prostoru
<input name="C10" type="text" id="C10" size="5" />
                % godišnje
                , </div></td>
<td colspan="2" rowspan="3"><p class="tabela">U periodu od
<input name="C11" type="text" id="C11" size="5" />
                godina,</p>
<p class="tabela"> i pri doznom faktoru za populaciju od
<input name="C13" type="text" id="C13" size="5" />
                DCF</p></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2"><div align="left">
<input type="radio" name="radio" id="materijal8" value="materijal" />
                Vreme provedeno na otvorenom prostoru
<input name="C12" type="text" id="C12" size="5" />
                % godišnje </div></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2"><div align="left">
<input type="radio" name="radio" id="materijal7" value="materijal" />
                Kontinualna ekspozicija</div></td>
</tr>
</table>
<p>&nbsp;</p>
</div>
<div align="center"></div>
</form>
</div>
<div class="TabbedPanelsContent">
<p>&nbsp;</p>
<form id="form2" name="form2" method="post" action="">
<div align="center">
<table width="200" border="1">
<tr>
<td><div align="center"></div></td>
</tr>
</table>
</div>

```

```

</form>
<p>&nbsp;</p>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
<div class="AccordionPanel">
<div class="AccordionPanelTab">Mapiranje radona</div>
<div class="AccordionPanelContent">
<p>&nbsp;</p>
<form id="MapiranjeRadona" name="MapiranjeRadona" method="post"
action="">
<div align="center"></div>
<div align="center">
<table width="910" border="1">
<tr>
<td width="156">Serijski broj detektora</td>
<td width="86">Geografska širina</td>
<td width="91">Geografska dužina</td>
<td width="155">Lokacija</td>
<td width="98">Početak merenja</td>
<td width="99">Kraj merenja</td>
<td width="57">Doza KBqhm<sup>-3</sup></td>
<td width="65">Greška merenja KBqhm<sup>-3</sup></td>
<td width="49">C <sub>Rn</sub> Bqhm<sup>-3</sup></td>
</tr>
<tr>
<td><label for="SerijskiDetektor1"></label>
<input name="SerijskiDetektor1" type="text" id="SerijskiDetektor1"
value="624762-1" /></td>
<td><input name="geografskaširina1" type="text" id="geografskaširina1"
value="43.578670" size="12" /></td>
<td><input name="geografskadužina1" type="text" id="geografskadužina1"
value="21.334103" size="12" /></td>
<td><input name="Lokacija1" type="text" id="Lokacija1" value="Kruševac"
/></td>
<td><input name="startmerenja1" type="text" id="startmerenja1" value="2015-
04-15" size="14" /></td>

```

```

<td><input name="krajmerenja1" type="text" id="krajmerenja1" value="2015-
07-14" size="14" /></td>
<td><input name="Dozatrak1" type="text" id="Dozatrak1" value="164" size="5"
/></td>
<td><input name="GreškaTrak1" type="text" id="GreškaTrak1" value="38"
size="5" /></td>
<td><input name="koncentracijatrak1" type="text" id="koncentracijatrak1"
value="75" size="5" /></td>
</tr>
<tr>
<td><input name="SerijskiDetektor2" type="text" id="SerijskiDetektor2"
value="624849-6" /></td>
<td><input name="geografskaširina2" type="text" id="geografskaširina2"
value="43.578576" size="12" /></td>
<td><input name="geografskadužina2" type="text" id="geografskadužina2"
value="21.335560" size="12" /></td>
<td><input name="Lokacija2" type="text" id="Lokacija2" value="Kruševac"
/></td>
<td><input name="startmerenja2" type="text" id="startmerenja2" value="2015-
04-15" size="14" /></td>
<td><input name="krajmerenja2" type="text" id="krajmerenja2" value="2015-
07-14" size="14" /></td>
<td><input name="Dozatrak2" type="text" id="Dozatrak2" value="1683"
size="5" /></td>
<td><input name="GreškaTrak2" type="text" id="GreškaTrak2" value="208"
size="5" /></td>
<td><input name="koncentracijatrak2" type="text" id="koncentracijatrak2"
value="779" size="5" /></td>
</tr>
<tr>
<td><input name="SerijskiDetektor3" type="text" id="SerijskiDetektor3"
value="626244-8" /></td>
<td><input name="geografskaširina3" type="text" id="geografskaširina3"
value="43.578696" size="12" /></td>
<td><input name="geografskadužina3" type="text" id="geografskadužina3"
value="21.335022" size="12" /></td>
<td><input name="Lokacija3" type="text" id="Lokacija3" value="Kruševac"
/></td>

```

```

<td><input name="startmerenja3" type="text" id="startmerenja3" value="2015-
04-15" size="14" /></td>
<td><input name="krajmerenja3" type="text" id="krajmerenja3" value="2015-
07-14" size="14" /></td>
<td><input name="Dozatr3" type="text" id="Dozatr3" value="1085"
size="5" /></td>
<td><input name="GreškaTrag3" type="text" id="GreškaTrag3" value="138"
size="5" /></td>
<td><input name="koncentracijatr3" type="text" id="koncentracijatr3"
value="502" size="5" /></td>
</tr>
<tr>
<td><input name="SerijskiDetektor4" type="text" id="SerijskiDetektor4"
value="624934-6" /></td>
<td><input name="geografskaširina4" type="text" id="geografskaširina4"
value="43.578244" size="12" /></td>
<td><input name="geografskadužina4" type="text" id="geografskadužina4"
value="21.335583" size="12" /></td>
<td><input name="Lokacija4" type="text" id="Lokacija4" value="Kruševac"
/></td>
<td><input name="startmerenja4" type="text" id="startmerenja4" value="2015-
04-15" size="14" /></td>
<td><input name="krajmerenja4" type="text" id="krajmerenja4" value="2015-
07-14" size="14" /></td>
<td><input name="Dozatr4" type="text" id="Dozatr4" value="1120"
size="5" /></td>
<td><input name="GreškaTrag4" type="text" id="GreškaTrag4" value="142"
size="5" /></td>
<td><input name="koncentracijatr4" type="text" id="koncentracijatr4"
value="518" size="5" /></td>
</tr>
<tr>
<td><input type="text" name="SerijskiDetektor5" id="SerijskiDetektor5"
/></td>
<td><input name="geografskaširina5" type="text" id="geografskaširina5"
size="12" /></td>
<td><input name="geografskadužina5" type="text" id="geografskadužina5"
size="12" /></td>
<td><input type="text" name="Lokacija5" id="Lokacija5" /></td>

```

```

<td><input name="startmerenja5" type="text" id="startmerenja5" size="14"
/></td>
<td><input name="krajmerenja5" type="text" id="krajmerenja5" size="14"
/></td>
<td><input name="Dozatrag5" type="text" id="Dozatrag5" size="5" /></td>
<td><input name="GreškaTrag5" type="text" id="GreškaTrag5" size="5"
/></td>
<td><input name="koncentracijatrag5" type="text" id="koncentracijatrag5"
size="5" /></td>
</tr>
<tr>
<td><input type="text" name="SerijskiDetektor6" id="SerijskiDetektor6"
/></td>
<td><input name="geografskaširina6" type="text" id="geografskaširina6"
size="12" /></td>
<td><input name="geografskadužina6" type="text" id="geografskadužina6"
size="12" /></td>
<td><input type="text" name="Lokacija6" id="Lokacija6" /></td>
<td><input name="startmerenja6" type="text" id="startmerenja6" size="14"
/></td>
<td><input name="krajmerenja6" type="text" id="krajmerenja6" size="14"
/></td>
<td><input name="Dozatrag6" type="text" id="Dozatrag6" size="5" /></td>
<td><input name="GreškaTrag6" type="text" id="GreškaTrag6" size="5"
/></td>
<td><input name="koncentracijatrag6" type="text" id="koncentracijatrag6"
size="5" /></td>
</tr>
<tr>
<td><input type="text" name="SerijskiDetektor7" id="SerijskiDetektor7"
/></td>
<td><input name="geografskaširina7" type="text" id="geografskaširina7"
size="12" /></td>
<td><input name="geografskadužina7" type="text" id="geografskadužina7"
size="12" /></td>
<td><input type="text" name="Lokacija7" id="Lokacija7" /></td>
<td><input name="startmerenja7" type="text" id="startmerenja7" size="14"
/></td>

```

```

<td><input name="krajmerenja7" type="text" id="krajmerenja7" size="14"
/></td>
<td><input name="Dozatrags7" type="text" id="Dozatrags7" size="5" /></td>
<td><input name="GreškaTrags7" type="text" id="GreškaTrags7" size="5"
/></td>
<td><input name="koncentracijatrags7" type="text" id="koncentracijatrags7"
size="5" /></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3"><div align="left">
<input name="UnesiTrag" type="submit" class="izborni" id="UnesiTrag"
value="Unesi podatke" />
<input name="PregledMapeRadona" type="submit" class="izborniNar"
id="PregledMapeRadona" value="Pregled mape radona" />
</div></td>
<td colspan="6"><div align="left">Pregledaj po:
<label for="Pregled"></label>
<select name="Pregled" size="1" id="Pregled">
<option value="Najvišoj koncentraciji">Najvišoj koncentraciji</option>
<option value="Najnižoj koncentraciji">Najnižoj koncentraciji</option>
<option value="Mestu">Mestu</option>
</select>
<input name="ŠtampajTabelu" type="submit" class="izborniZeleno"
id="ŠtampajTabelu" value="Prikaži tabelu" />
</div></td>
</tr>
</table>
<p align="right">&nbsp;</p>
</div>
<div align="center"></div>
</form>
<p>&nbsp;</p>
</div>
</div>
<h1>&nbsp;</h1>
<!-- end .content --></div>
<div class="footer">
<p align="center">&nbsp;</p>

```

```
<!-- end .footer --></div>
<!-- end .container --></div>
```

```
<script type="text/javascript">
var Accordion1 = new Spry.Widget.Accordion("Accordion1",
{useFixedPanelHeights: false, defaultPanel: 0});
var TabbedPanels1 = new Spry.Widget.TabbedPanels("TabbedPanels1");
var CollapsiblePanel1 = new Spry.Widget.CollapsiblePanel("CollapsiblePanel1",
{contentIsOpen:false});
var TabbedPanels1 = new Spry.Widget.TabbedPanels("TabbedPanels1",
{defaultTab:1});
var CollapsiblePanel2 = new Spry.Widget.CollapsiblePanel("CollapsiblePanel2",
{contentIsOpen:false});
var TabbedPanels3 = new Spry.Widget.TabbedPanels("TabbedPanels1");
var TabbedPanels4 = new Spry.Widget.TabbedPanels("TabbedPanels4");

</script>

</body>
</html>
```