



Национална програма за намаляване въздействието на радон в сгради върху българското население

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2

ОТЧЕТ ПО ИЗПИТВАНЕ НА МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РАЙОНИ С ПОВИШЕН РАДОНОВ РИСК НА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА РАДОНОВА КАРТА

СОФИЯ

2017 г.

Редакция 2

СЪДЪРЖАНИЕ

1	УВОД	3
2	Европейска карта на обемна активност на радон	8
3	Радонов потенциал.....	10
4	Измерване на обемна активност на радон в жилища	13
4.1	<i>Методология на пилотното проучване</i>	<i>13</i>
4.2	<i>Резултати</i>	<i>17</i>
5	Диференциране на площта на областта	23
6	Определяне на зони в зависимост от очакваната обемна активност на радон	24
6.1	<i>Обвързване с геологията на района</i>	<i>24</i>
6.2	<i>Влияние на характеристиката на сградата на обемната активност на радон</i>	<i>30</i>
6.3	<i>Моделиране на резултатите</i>	<i>33</i>
7	Представяне на зоните на карта на България.....	36
8	Схема на класификация на зоните	41
	ЛИТЕРАТУРА	43
	ПРИЛОЖЕНИЕ № 1	45
	ПРИЛОЖЕНИЕ № 2	49

1. УВОД

Проведените през последното десетилетие редица епидемиологични проучвания в Европа, Северна Америка и Азия (Darby et al., 2006, Krewski et al., 2006, Lubin et al. 2004 г.) потвърждават връзката между риска от рак на белия дроб и облъчването от радон в жилища. Анализите показват, че рискът от рак на белите дробове нараства пропорционално с увеличаване на облъчването от радон и съществува дори при относително умерено облъчване от радон (UNSCEAR, 2008). Радонът е втората причина за рак на белите дробове след тютюнопушенето. Резултатите от последните обобщени проучвания в жилища дават директен метод за оценка на риска за обитателите на жилища без необходимостта от екстраполация на проучванията при миньори (UNSCEAR, 2008). Значителният принос на облъчването от радон, както и фактът, че нивата на радон в сградите могат да бъдат контролирани, допринасят за промяна на политиката за ограничаване въздействието на радон, което е последвано от публикации на Международната комисия по радиологична защита (МКРЗ) и съответно от промени в международни, европейски и национални стандарти за защита на населението от облъчване от радон. Политиката на МКРЗ представлява основата за защита срещу радон в световен мащаб.

Комисията издава препоръки за защита от радон-222 в жилища и на работни места още през 1993 г. в Публикация 65 (ICRP, 1993). В тази публикация са разработени някои от ключовите стратегии за защита от радон, включително очертаване на радоново опасните райони, с цел да се съсредоточат защитните мерки, както и използването на критерии по отношение измерените нива на радон, който може да подпомогне вземането на решения относно необходимостта от коригиращи действия. Препоръчва се вземането на коригиращи мерки в жилища, където измерените нива съответстват на годишни ефективни дози от порядъка на 3-10 mSv.

Международната комисия по радиационна защита издаде нови препоръки за осигуряване на радиационна защита на персонал и население през 2007 г., в които основното е осигуряване на мерки за защита от облъчването от всички източници на йонизиращи лъчения, като се поставя акцент върху прилагане на принципа на оптимизация на защитата (ICRP, 2007). В препоръките се прави разлика между планирано, аварийно и ситуации на съществуващо облъчване. Този доклад представлява значителна стъпка напред в развитието на последователна система за радиационна защита. В повечето случаи облъчването от радон е ситуация на съществуващо облъчване. Защита на населението от облъчване от радон се постига чрез прилагане на референтни нива и принципа за оптимизация. Основната цел на радиационната защита, при ситуациите на съществуващо облъчване, е изпълнение на

принципа за оптимизиране чрез прилагане на стратегии за защита или прогресивен набор от такива стратегии, които да доведат до намаляване на индивидуалните дози под референтното ниво. Въпреки това, облъчването под референтното ниво не трябва да се пренебрегва; тези обстоятелства на облъчване също трябва да се разгледат, за да се установи дали защитата е оптимизирана и дали е необходимо прилагане на по-нататъшни защитни мерки, като процесът на оптимизация е непрекъснат, а нивото на оптимизация зависи от конкретната ситуация. Комисията вече препоръчва прилагането на принципите на радиационна защита, свързани с източника при контролиране на облъчването от радон. Това означава, че правителствата следва да определят национални референтни нива като се вземат предвид преобладаващите икономически и социални обстоятелства, за подпомагане оптимизирането на защитата. На национално ниво следва да се положат всички разумни усилия, за да се намали облъчването от радон в жилища и на работните места под референтните нива и до ниво, при което защитата може да се счита за оптимизирана. В новите препоръки МКРЗ продължава да поддържа становището, че има основание да се определят *райони, които са „податливи на радон“ (radon prone area), където концентрацията на радон в сградите има вероятност да бъде по-висока от типичната за страната като цяло*. Това позволява вниманието да се съсредоточи на местата, където е най-належащо, а действията, прилагани за намаляване на облъчването, има вероятност да бъдат най-ефективни или Комисията поддържа прилагането на степенувания подход за ситуациите на съществуващо облъчване.

Световната здравна организация издава през 2009 г. наръчник *WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective*, който дава основните препоръки и насоки при дейностите за редуциране на облъчването на населението от радон (WHO, 2009). Съществено място се отделя на необходимостта от разработването на национални програми, чиито основни приоритети са следните:

- да се редуцира рискът за населението, както и индивидуалният риск за хора, живеещи при високи концентрации на радон;
- да се установи национално референтно ниво от 100 Bq.m^{-3} , а ако това не е възможно, да се избере ниво, което не надхвърля 300 Bq.m^{-3} ;
- да се разработят и внедрят строителни правила и норми, регламентиращи противорадонови мерки в новостроящи се жилищни сгради;
- да се разработи национално ръководство за измервания, осигуряващи качество на резултатите.

Провеждането на програмата следва да се обвърже със съответните действия в законодателната област, които да въвлекат в процеса различни групи експерти, в това число строителни специалисти и лекари по трудова медицина. Световната здравна организация

препоръчва идентифицирането на *райони, предразположени към по-високи концентрации на радон (radon prone area), в които значителна част от жилищата имат стойности на концентрацията на радон надхвърляща референтно ниво*. Важно значение при разработването на национална политика е използването на резултатите от националното проучване на радон, за да се дефинират и идентифицират райони в страната, в които сградите ще имат най-вероятно повишени нива на радон. В тези райони страните следва да насочат ресурси и да прилагат подходящи мерки, както за идентифицирането на сгради над референтното ниво, така и за редуцирането на тези нива, както и подходящи мерки за превенция на новите сгради и проникването на радон от почвата. Кампаниите за информиране на обществеността следва да насърчават домакините в тези райони, за да тестват домовете си за радон.

Международната комисия по радиационна защита, отчитайки трудностите, които възникват при въвеждане на новите дейности, свързани с контрол на облъчването на населението от радон, е продължила работата по публикуване на допълнителни препоръки по темата. В Публикация 115 през 2010, МКРЗ актуализира оценките на риска от рак на белия дроб, свързани с облъчването от радон и дъщерните му продукти (ICRP, 2010). Определен е коефициентът на вреда и редуцирането на референтните нива на концентрацията на радон, като се вземат предвид най-новите проучвания на риска от рак на белия дроб. В доклада на МКРЗ също се препоръчва да се използва интегриран подход за защита срещу облъчване от радон във всички сгради, независимо от техните обитатели и тяхното предназначение и статут. Препоръчва се стойност за референтно ниво, от гледна точка на ефективна доза, приблизително 10 mSv/a след като са анализирани научните данни за риска за здравето, които свидетелстват за 2 пъти по-голям риск, отколкото се смяташе досега. В последните препоръки № 126, Комисията предоставя актуална насока за радиационна защита срещу излагане на радон (ICRP, 2014). В тези два доклада Комисията отново поддържа *дефинирането на географски район или административен район, на база на проучвания, показващи, че нивата на радон в сградите в тях са значително по-високи, отколкото в други части на страната*. Тези райони са база за прилагане на подхода за степенуване и приоритизиране на действия и мерки за радиационна защита на населението.

В новите Международни основни норми за радиационна защита (IAEA, 2014) облъчването от радон в жилища е включено в общата система за радиационна защита на населението. Международната агенция за атомна енергия (МААЕ) поставя изисквания за изготвяне и прилагане на Национални планове за действие за редуциране облъчването от радон. Страните следва да предприемат мерки на национално ниво за оценяване на облъчването от естествени източници в помещения, като ^{222}Rn , ^{220}Rn и гама-лъчи в жилища и да наложат разработването на стратегии и мерки за радиационна защита за намаляване на облъчването. Определянето на степента на облъчване на населението от радон се извършва чрез предприемане на

национални и регионални изследвания, използващи национални и международни стандарти. Такива проучвания са полезни за идентифициране на области с по-висока от средните концентрации на ^{222}Rn - радоно опасните райони (*radon prone area*). Идентифицирането на тези райони позволява даване на предимство на действията за намаляване на обемната активност от Rn в ситуации, за които това действие е вероятно да бъде най-ефективно. Примери за прилагането на приоритет за намаляване на обемната активност на радон в сгради, за които такива действия е вероятно да бъдат най-ефективни, включват ¹⁾ определяне на нивата обемната на активност на Rn в жилища и други сгради с високи фактори на заетост; ²⁾ идентифициране на райони, които са предразположени към радон; ³⁾ идентифициране на характеристиките на сградите, които могат да доведат до повишени обемни активности на Rn; и ⁴⁾ идентифициране и изискване на превантивни мерки за радон в бъдещи сгради, които могат да бъдат въведени при относително ниски разходи.

Новата Директива 2013/59, публикувана през 2014 г., установява единни основни норми на безопасност за защита здравето на професионалисти, население и пациенти в страните членки (ЕС, 2014). Тя е комплекс от организационни и технически мерки, чието приложение гарантира изключването на преки лъчеви увреждания и намаляване до приемливо ниво на вероятността за стохастични ефекти върху човека и потомството му. Новата Директива извежда категорично пред скоби контрола на жизнената среда, свързан с безопасността на населението като цяло и на рискови групи от него. За първи път тя обединява всички радиационни източници, в това число и контрола на естествените радионуклиди, включително и контрола на облъчването от радон в жилищни и обществени сгради, както и на работното място. Директивата следва препоръките на международните стандарти за радиационна защита в изискванията страните-членки да разработят Национални планове за действие за справяне с дългосрочните рискове от облъчването от радон. Едно от основните изисквания е да се *идентифицират зоните, където обемната активност на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава съответното национално референтно ниво*. Държавите членки изискват измерванията, свързани с радона, да се извършват на работни места, които са разположени на приземния етаж или в сутерена на идентифицираните зони. На база на определените зони, дейности се приоритизират с цел справяне с дългосрочните рискове от облъчване от радон. Наред с това да се прави необходимото за осигуряване на информация на местно и национално равнище за облъчването от радон в закрити помещения и свързаните с това рискове за здравето, както и за значението да се извършват измервания на радон и за съществуващите технически мерки за намаляване на съществуващите концентрации.

Препоръките и изискванията на международните организации дават основание за подготовка на методика за идентифициране на зони на територията на България, където обемната активност на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой

сгради се очаква да надвишава референтното ниво. Определянето на зони от различни категории, ще позволи резултатното прилагане на международните и европейските стандарти за защита от облъчването от радон в сгради за приоритизиране (степенуване) на прилаганите мерки за превенция на здравето на българското население.

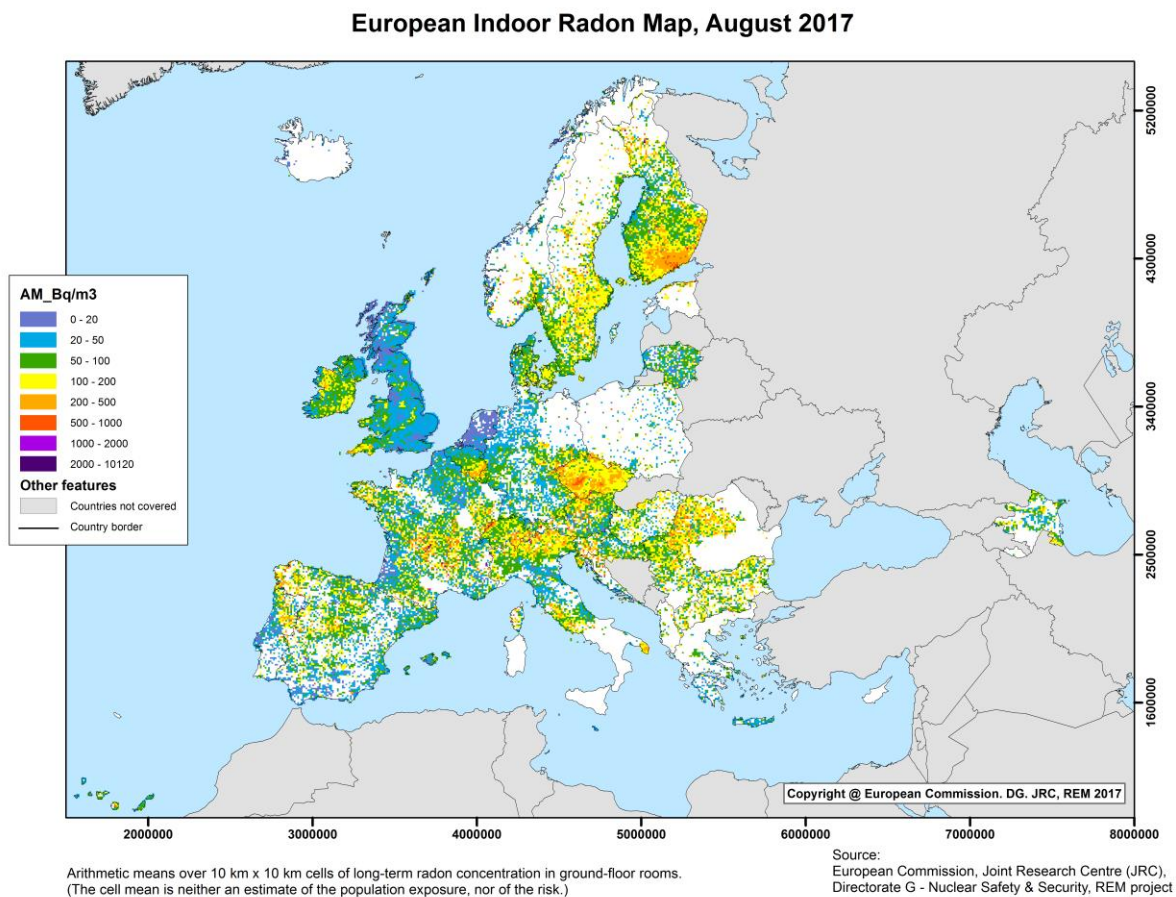
Подготовката на методиката цели да предложи варианти за идентифициране и категоризиране на зоните чрез анализ на съществуващи практики и изпитване на база на пилотно проучване на обемната активност на радон в жилища в област Благоевград за оптимизиране на избора на правителството на най-подходящ метод за определянето на зоните и позволи прилагането на адекватни мерки за редуциране на облъчването на населението от радон в сгради.

Зоните, където обемната активност на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава национално референтно ниво, могат да бъдат визуализирани с нанасянето им на карта чрез GIS системи на територията на България. Картите улесняват предприемането от строители, проектанти и архитекти на превантивни мерки при строежа на нови сгради. Наред с това картите осигуряват необходимата предварителна информация за програми за измерване на концентрацията на радон и улесняват насочването на бъдещите радонови проучвания и регионални кампании като по този начин максимално се използват данните от тези карти. Друго приложение на радоновите карти е, че те могат да се използват от областните органи и органите по радиационна защита за информиране на населението и насърчаване на домакинствата, живеещи в райони с висока концентрация на радон, да проведат измервания в домовете си. Въпреки това, от тези карти не трябва да се приема, че високите концентрации на радон в сгради могат да бъдат налични само в зоните, категоризирани с най-висок потенциал. Картите не могат да бъдат използвани, за да се предскаже нивото на радон в отделна сграда, тъй като нивата на радон могат да се различават значително дори в идентични и съседни сгради, разположени на една и съща геоложка единица. Картата дава оценки на средните концентрации на радон в сгради по области и райони и процента на сгради, в които са измерени обемни активности на радон над референтната стойност.

Изпитването на методиката за определяне на зоните, където обемната активност на радон в значителен брой сгради се очаква да надвишава национално референтно ниво и представянето на резултатите е направено по общини в област Благоевград, с цел реално предприемане на мерки за редуциране на облъчването.

2. Европейска карта на обемна активност на радон.

Европейската карта на обемна активност на радон е част от проекта на Европейския атлас на естествената радиоактивност (EANR), който е стартиран от групата за Мониторинг на околната среда (REM) на Съвместния изследователски център (JRC) на Европейската комисия в съответствие с нейната мисия относно Договора за Евратом за събиране и предоставяне на информация за нивата на радиоактивност в околната среда. Целта на атласа е да запознае населението с радиоактивността в околната среда и да даде по-балансиран поглед върху годишната доза от естествената радиоактивност, както и да предостави референтни материали и да генерира хармонизирани данни за научната общност (Bossey P., et.al, 2013). Такива европейски атласи са изготвени за съдържанието на цезий в почва, а в момента Европейската комисия е финансирала проект за изготвянето на атлас за концентрацията на радон в жилища. Събирането на тази информация и изготвянето на атлас може да послужи за предоставяне на референтни материали за естествената радиоактивност и получаване на хармонизирани данни за научната общност. В момента Европейският атлас е изготвен с наличните данни, предоставяни от страните в Европа (Фигура 1).



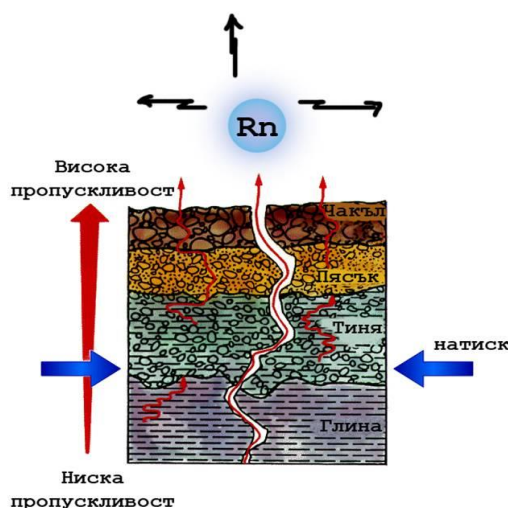
Фигура 1. Европейски атлас на обемната активност на радон

Предвид доминиращата радиологична значимост на обемната активност на радон в жилищни сгради, проектът за изготвяне на атлас е стартирал с такава карта. Идеята за изготвяне на карта за обемната активност на радон се заражда след проведено проучване от Съвместния изследователски център (JRC) на Европейската комисия през 2005 г. (Dubois G., 2005), което показва, че макар повечето европейски страни да са имали програми за проучване на радон и да са изработили радонови карти, на практика нито една от държавите не прилага една и същата методология по отношение на дизайна на изследването, картографирането и измерванията. Получените карти следователно не са съвместими и резултатите трудно се тълкуват на европейско равнище. Европейската карта на обемната концентрация на радон цели да обедини и унифицира на европейско ниво данните, предоставяни от страните. На картата се изобразява средногодишната обемната активност на радон на приземния етаж в жилищни сгради. Съставянето, оценката и картографирането се извършва от Съвместния изследователски център (JRC) на Европейската комисия. Картографските единици са 10 km x 10 km клетки, приведени в съответствие с обща координатна система. За да се гарантира неприкосновеност на личния живот, не се предават отделни данни от измервания, а статистическите данни за решетъчните клетки, а именно средноаритметичната стойност (AM) и стандартното отклонение (SD), минимална, средна и максимална обемна активност на радон. В голяма степен този избор е направен от прагматични съображения с оглед наличието на данни и техническата осъществимост.

Данните от Националното проучване са подготвени и предоставени от Националния център по радиобиология и радиационна защита на Съвместния изследователски център (JRC) на Европейската комисия в съответствие с Методика за определяне на райони с повишен радонов риск на територията на България с цел изработване на радонова карта, която бе обществено обсъдена през 2016 г. Статусът на Европейската карта на обемната активност на радон е представен на фигура 2. На картата вече може да се види и България. Подробна информация може да бъде получена на линка <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation/Indoor-radon-AM/Indoor-radon-concentration>.

3. Радонов потенциал

В околната среда основният източник на радон е земната кора/почвите, където радонът се образува от разпадането на съдържащия се в тях ^{226}Ra , съгласно така наречения процес „еманация“ (Spencer J. E., 1986). От голямо значение за количеството на постъпващия в атмосферния въздух радон е концентрацията на радий-226 в почвата, както и нейната структура и пропускливост. Различните типове скали и почви имат различно съдържание на радий и различна пропускливост. Известно е например, че гранитите имат по-голяма концентрация на радий, отколкото варовикът (UNSCEAR, 2000). Типът скали и почви за



Фигура 2. Пропускливост на скални слоеве

различните райони и измерването на концентрацията на радий в почвата биха допринесли много за изготвянето на „радонови“ геоложки прогнозни карти. Концентрацията на радон в атмосферата зависи най-вече от концентрацията на радий в почвата, натиска на земните пластовете, тяхната пропускливост и коефициента на дифузия на газа (Фигура 2). Концентрацията на радий в скалите и почвата, както и натискът на земните пластовете значително варират. Ключови параметри, характеризиращи есхалацията на радон от земните пластовете, са пропускливостта на изграждащия ги материал и коефициентът на дифузия на радон. Натрупвайки се в резултат на разпада на радий-226, радонът попада в почвения газ, намиращ се в порите на почвата и скалите. Частта на отделения радон, отнесена към общото количество радий, се дефинира като коефициент на еманация и е специфичен за всеки материал. Той се влияе от големината, формата и влагата на частиците, изграждащи земния слой и най-често варира в границите от 0,05 до 0,7.

Пропускливостта е способността на почвите да пропускат вода и въздух. Радонът е най-тежкия благороден газ и е химически инертен. На това се дължи голямата му мобилност в сравнение с фиксираните в твърдата материя на скалите и почвата уран и радий, към чиято верига на разпад принадлежи. Радонът се движи по-бързо през по-пропускливи почви, каквито са пясъкът и чакълът, в сравнение с непропускливите почви, каквато е глината (Фигура 2). Радонът достига атмосферата главно чрез механизма на молекулярната дифузия. Силно влияние върху концентрацията му във въздуха оказват температурните промени през различните сезони, скоростта на вятъра и атмосферното налягане.

Химическата инертност и периодът на полуразпад на радона ($T_{1/2}=3,824$ дни), който е достатъчно дълъг, му позволяват да напусне мястото си на образуване, по дифузионен и конвекционен път. Радонът изминава много по-голям път, в сухи пропускливи почви: едрозърнестия или речния пясък. Радонът е разтворим във вода и подземните води могат да го пренасят на дълги разстояния. Това негово движение обяснява защо жилищата в областите с ниско ниво на радий могат да имат високи нива на радона и защо нивата на радона могат да се изменят с няколко порядъка между съседни сгради. Движението на радон в порестите материали се причинява от градиентите на концентрацията и налягането. Механизмите на движението са молекулярна дифузия и принудителна конвекция. Коефициентът на дифузия изразява отношението на изменението на концентрацията на радон в почвените пори към общия газов поток и зависи в най-голяма степен от проникналата в порите вода, която може да блокира преноса на радон. Дифузията е правопрпорционална на концентрацията на радий-226 и обратнопропорционална на периода на полуразпад на радон. Дифузията се влияе основно и от коефициента на пропускливост на почвата. Тя от своя страна зависи от типа на скалите и почвите. Коефициентът на пропускливост зависи от структурата на почвата. Измерва се в $m.s^{-1}$. Стойностите му варират от 10 до $10^{-11} m.s^{-1}$, като най-малката е за практически непрпускливите почви. Съгласно НКДАР типичната стойност на концентрацията на радон във въздух на открито е $10 Bq/m^3$ (UNSCEAR, 2000).

Конвекция е процесът на топлопренасяне чрез движение на частиците на флуид. Принудителната конвекция на почвения газ от земната повърхност към сградата се причинява от отрицателната разлика в наляганията (подналягане), която обикновено съществува между вътрешната и външната атмосфера. Основната физическа причина за навлизането на радон в затворено пространство е свързана с появата на градиент на налягането между вътрешността и външността на жилището, както и с наличието на пукнатини и счупвания в фундаментните конструкции, през фуги и покрай тръбопроводи, които са преимуществени начини за влизане на радон в затворените пространства. Вятърът причинява спад в налягането върху външните конструкции на сградата. Големината на този спад се определя от конструкцията на сградата и варира с квадрата на скоростта на вятъра (при лек бриз този спад достига до няколко паскала (UNSCEAR, 2000)). По този начин външния въздух навлиза вътре в сградата (през дупки и пукнатини във фасадата) или през основите ѝ, заедно с радона от почвения газ. За сгради със сутерени това е по-труден процес поради голямата контактна площ между основите и земната повърхност. Други начини за постъпване в сградите чрез почвения газ са: кухините във вътрешните стени, конструктивните връзки, канализацията, комуникационните тръби. Освен от почвения газ, радонът постъпва в жилищата от строителните материали и водата. Други механизми, каквито са например промените в налягането или отрицателното налягане, причинено от механична вентилация, също могат да окажат влияние на концентрацията на радон (UNSCEAR, 2000). Външният въздух навлиза в сградите през отворените врати,

прозорци и вентилатори, както и през неизбежните пукнатини в строителните елементи. Терминът *инфилтрация* се използва за описване на степента на директен пренос на външен въздух вътре в сградата, който носи със себе си радон, обикновено в ниски концентрации.

Известно е, че радонът се разтваря във вода, поради което се пренася чрез водоснабдяването в сградата, което допринася към общата му концентрация чрез дееманация, в някои случаи и до значителна степен. Обемната активност на радон във водата варира силно. Водите могат да бъдат класифицирани като повърхностни и подземни. В повърхностните води се наблюдава по-ниска концентрация на радон в сравнение с подземните води.

Природният газ също е потенциален източник на радон. В него се съдържат различни концентрации на радиоактивни изотопи, зависещи предимно от геологията на добивния район и времето до предаването на крайния потребител. При изгарянето на природен газ в помещенията концентрацията на радон се увеличава с $0,3 \text{ Bq/m}^3$ (UNSCEAR, 2000).

Идеята на радоновия потенциал е да се установи вида на земната кора (скала и почва), с цел установяване дали радонът има вероятност да емира през повърхността и да навлезе в сградата. Един по-прост подход за определяне на потенциала на радон за определена зона е набирането и комбинирането на информация, свързана с геологията на зоната и определяне на данните за преноса на почвен газ в почвата - както дифузионен, така и конвективен поток (чрез пропускливостта на почвата или чрез вида почвата по базови данни).

Другата важна група от фактори, които оказват влияние на нивата на обемната активност на радон, са конструкцията и компонентите на сградата. Примерни фактори, които биха повлияли на обемната активност на радон са: асансьор, сутерен, механична вентилация, тип прозорци, фундамент на сградата, брой на етажите, ремонт на сградата, строителни материали, вид на помещението, вид отопление и период на строителство и други. Строителните материали са вторият по значимост източник на повишена концентрация на радон в жилища. Есхалацията на радон от строителните материали зависи не само от съдържането на радий, но и от фактори като: радон, освободен от строителния материал, порьозността на материала, повърхностната обработка и финалния слой на стената.

Връзката между измерените концентрации на радона и факторите на строителството, както и геоложките фактори, са документирани в много страни.

Трета група от фактори, които биха могли да повлияят на обемната активност на радон, са стилът на използване на сградата или навиците на обитателите (Yarmoshenko I. et al. 2016).

4. Измерване на обемна активност на радон в жилища.

Изпитването на методиката за определяне на райони с повишен радонов риск на територията на Българи, с цел изработване на радонова карта, е извършено от Национален център по радиобиология и радиационна защита (НЦРРЗ) по Националната програма за намаляване въздействието на радон в сгради върху здравето на българското население. Изпитването е подготвено, следвайки методиката за област Благоевград. Детекторите са разпространени от Районната здравна инспекция (РЗИ) – Благоевград, обработени са в лаборатория „Радиационни експертизи и мониторинг на радон“ към НЦРРЗ, а резултатите са предадени от НЦРРЗ за анализ и изпитване на Методиката.

4.1 Методология на пилотното проучване

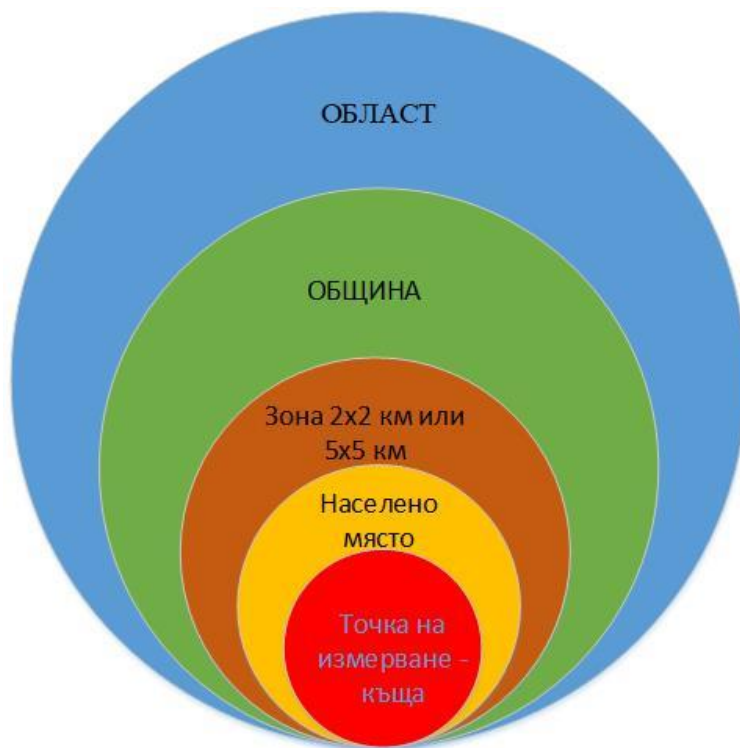
Обемната активност на концентрацията на радон е измерена в жилища, разположени по цялата територия на област Благоевград. Обемът на представителната извадка е определен в методиката, за лог-нормално разпределение на обемната активност на радон. При провеждането на пилотното проучване е приложен предложеният модел в методиката, в който представителната извадка се определя за общините на базата на площта, определеното очаквано средно геометрично отклонение с ниво на прецизност (точност) $ACC=0,2$ при доверителен интервал 95%. За хомогенизиране на извадката в зависимост от сградния фонд на територията на съответната област е използвано процентното съотношение на разпределението на сградите в съответните общини. Броя на детекторите по общини, определен в съответствие с площта и сградния фонд в общината е представен в таблица 1. В таблицата е оценен и процента на измерените сгради за всяка община. Броят на значимите резултати, които са взети в предвид в настоящия анализ са представени също в таблицата, както и процента на загубите. Броят на загубите на резултат, включва действителните загуби на детектори, както и резултати, обработени и оценени, които са под минимално откриваемата активност, вероятно поради не разпечатване на детектора или компрометиране на пробовемането. Общият процент на загубите на резултати е 8%, сравнително малък процент, което доказва качеството на проведената кампания по разпределението на детекторите. Броят на значимите резултати, загубите и процента на загубите по общини е представен в Таблица 1.

Таблица 1. Детектори разпределени в област Благоевград и брой обработени детектори след връщане (след пробовземане).

Процент за загубите на резултати.

Общини в Област Благоевград	брой населени места	площ [km2]	брой жилищни сгради към 2014 г.	брой проби /детектори	брой проби/1000 жители	% измерени сгради	брой детектори на населено място	брой измерени проби /детектори	брой загубени резултати	Процент на загуби на резултат %
Благоевград	274	6 449	79 172	1280	4.1	1.6		1173	107	8
Банско	8	476	4 390	70	5.5	1.6	9	62	8	11
Белица	12	290	2 651	40	4.2	1.5	3	39	1	3
Благоевград	26	620	9 948	190	2.5	1.9	7	182	8	4
Гоце Делчев	12	330	6 928	100	3.3	1.4	8	90	10	10
Гърмен	16	389	4 488	70	4.7	1.6	4	69	1	1
Кресна	7	345	2 243	40	7.2	1.8	6	39	1	3
Петрич	55	650	12 954	210	4.1	1.6	4	182	28	13
Разлог	8	506	6 103	90	4.5	1.5	11	84	6	7
Сандански	54	990	10 559	170	4.4	1.6	3	160	10	6
Сатовча	14	334	4 356	70	4.8	1.6	5	64	6	9
Симитли	18	550	5 080	80	5.8	1.6	4	69	11	14
Струмяни	21	355	3 212	50	9.3	1.6	2	44	6	12
Хаджидимово	15	328	3 597	60	6.3	1.7	4	50	10	17
Якоруда	8	330	2 663	40	3.9	1.5	5	39	1	3

Обемът на извадката за пилотното проучване е направен на базата на стратифициран метод за подбор. Йерархичната структура на модела, използван за анализ на резултатите от пилотното проучване е представен на *Фигура 3*.



Фигура 3. Йерархична структура на стратите (районите) на модела за анализ на резултатите

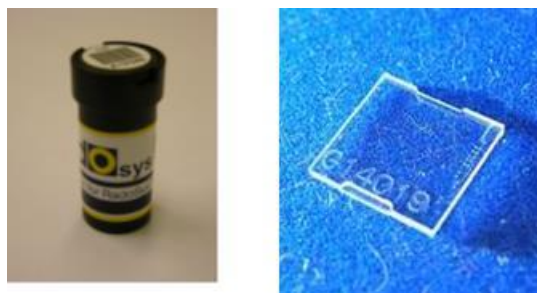
Първото ниво е областта, разделена на общини, за които са разпределени определен брой детектори в зависимост от площта и сградния фонд. За определянето на зоните, площта на община се разделя на зони 2 x 2 км. или 5 x 5 км., а детекторите се разпределят в населените места в произволно подбрани сгради. По този начин техниките и процедурите могат да бъдат адаптирани в различните мащаби на териториален анализ, които са интерактивни и постепенно по-специфични и задълбочени: от общините в регионален мащаб до математическото моделиране на зоната.

Методът на разпределение е избран „от врата до врата“ за домакинствата от служителите на РЗИ-Благоевград с помощта на кметствата на общините. Преди започване на разпределяне на детекторите са проведени информационни кампании. За кампанията са използвани следните комуникационни канали: радио и местната телевизия, брошури, флаери, табла, обяви и информация на интернет страницата на РЗИ и вестници. Проведени са множество кампании сред различни организации, като учители, детски градини и други. Тези две условия – контролираното разпределение на детектори и подбора на доброволци, както и личния

разговор на служителите от РЗИ „от врата до врата“, които са подбрани на случаен принцип, гарантират представителността на извадката.

Провеждането на проучването е следвало част от „Процедура за разпределяне на детектори при провеждане на национално проучване на нивата на радон в сгради“. Измерването на концентрацията на радон се извърши в приземните етажи на обитаеми жилищни сгради. Концентрацията на радон зависи и от начина на проветряване и навиците на обитателите, поради това детекторите са поставяни в дневни или спални, където се предполага, че обитателите прекарват повечето от времето си. За точното позициониране на детекторите в помещенията служителите на РЗИ са разпространили инструкции, предоставени от лабораторията на НЦРРЗ. В зависимост от инструкцията детекторите са поставени далеч от врати, прозорци и отоплителни уреди, като най-подходящите места са върху етажерка или библиотека в дневната или спалнята. За описанието на вида на конструкциите на сградите и други данни за сградата са попълвани въпросите от анкетната карта (*Приложение № 1*), тази информация се използва за моделирането на разпределението на обемната концентрация на радон по територията на областта.

За провеждане на пилотното проучване са използвани пасивни детектори за дългосрочно (3 месеца) измерване на концентрацията на радон в сгради. Детекторите се състоят от CR-39 чип, поставен в цилиндрични дифузионни камери, представляващи филтър за прах и дъщерните продукти на радон (*Фигура 4*). Алфа-частиците попаднали върху чипа оставят следи (трекове) върху него.



Фигура 4. Използвани детектори в пилотното проучване и чип на детекторите, в ляво.

Детекторите са тип RSKF камери. Детекторът има идентификационен номер от производителя, който се използва за идентифициране на движението му от лабораторията до измерваното жилище и обратно. Чипът има същия идентификационен номер, който се използва за проследяване на движението му при обработката.

За обработката на детекторите и оценяване на концентрацията на радон във въздух лаборатория „Радиационни експертизи и мониторинг на радон“ (PEMP) използва RADOSYS

система, която се състои от: баня за ецване, микроскоп за четене на трековете и софтуер за обработка на данните. Обработката на детекторите и средствата за измерване се подготвят за работа съгласно инструкциите за измерване в Лаборатория „РЕМР“. Пробовземането, обработката и изчислението на резултатите се извършва в съответствие с ISO 11665-4:2012 „Measurement of radioactivity in the environment - Air: radon-222 - Part 4: Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis“. Основен компонент при оценка на концентрацията на радон е фонът на партидата детектори. Фонът на детекторите зависи от условията на производство и съхранение и може да бъде доста различен за детекторите от различни производствени партии, така че те трябва да бъдат рутинно оценени, чрез измерване на плътността на трековете на детектори, които не са използвани за измерване, както и оценката на нулевите детектори. По този начин се оценява стареенето на чипа на детектора, което може да повлияе на коректната оценка на концентрацията на радон. Всяка партида детектори е калибрирана, като детекторите са облъчени от акредитирана лаборатория в различни точки. Облъчените детекторите се обработват, при рутинни условия на обработване на пробите и се определя калибровъчен фактор в съответствие с ISO 11665-4:2012. Определеното ниво на детектиране (откриване) на базата на калибрирането и оценения фон е $LD=10 \text{ Bq.m}^{-3}$ за партидата детектори, използвани при провеждане на пилотното проучване. За да се гарантира точността на получените резултати, се провеждат измервания за контрол на качеството. Използват се два типа измервания: дублиращи и нулеви. За оценка на точността и прецизността на измерваните концентрации на радон се разпространени дублиращи и нулеви детектори. С дублиращи измервания се оценява прецизността на измерванията. Те се използват за оценка на качеството на измерването през целия процес и не са представени в настоящия анализ на изпитване на методиката.

Периодът на вземане на извадката е три месеца от февруари/март 2017 г. до май/юни 2017 г. в зависимост от дата на поставяне. Разпределението по общини не е извършено едновременно, а поетапно. Средногодишните обемни активности на радон в жилищата са оценени като е използван коефициента за сезонни вариации от националното проучване.

4.2 Резултати

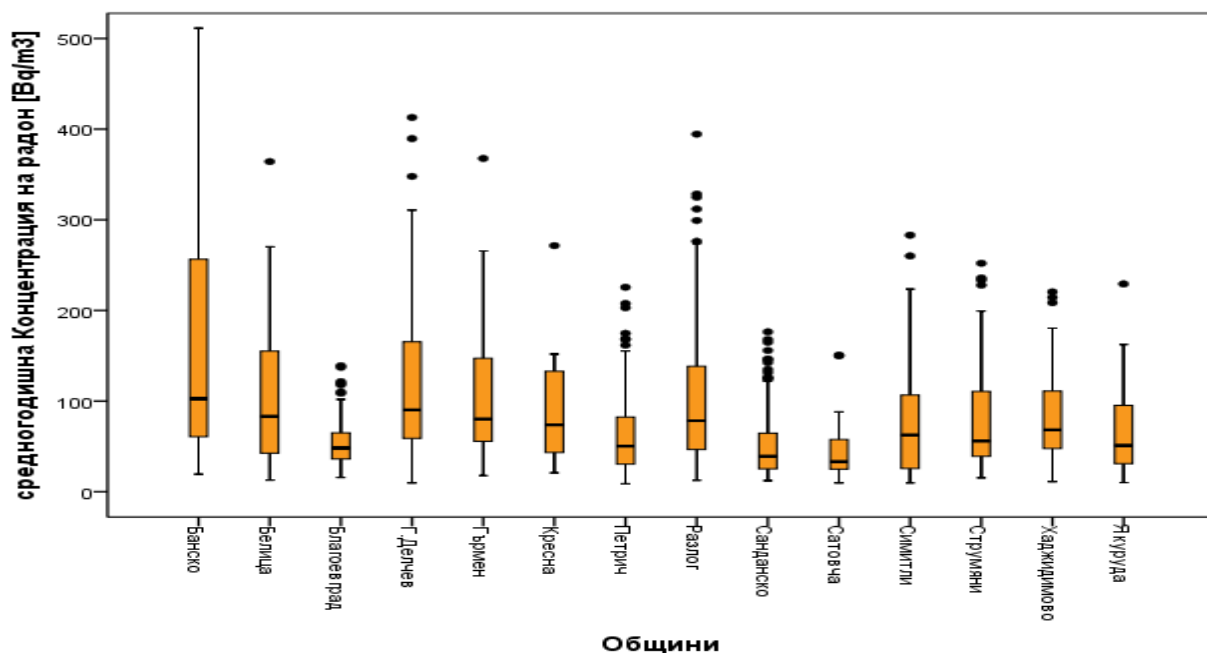
Обобщението на резултатите за област Благоевград и общините в нея е представено на Таблица 2. Средната годишна концентрация на радон в помещения за измерените жилища е 95 Bq.m^{-3} за област Благоевград. Оценената средна годишна обемна активност на радон е съизмерима с средногодишната обемна активност за областта от Националното проучване. Измерените стойности са в диапазона от 10 до 1523 Bq.m^{-3} . В таблицата са представени средните стойности на обемната активност на радон за всяка община. Най-високата средна стойност е измерена в община Банско.

Таблица 2. Статистика на резултатите от пилотното проучване по общини

Община/ Област	Брой проби N	Средна стойност на CRn [Bq/m ³]	станда ртно откло нение	вариации CV %	средна геометрична стойност GM	стандарно геометрично отклонение	потенциален % на сгради с CRn>300 Bq/m ³	Minimum	Maximum
Банско	62	193	212	110	123	2,54	17,0%	20	1075
Белица	39	132	162	122	85	2,51	8,5%	13	905
Благоевград	182	68	116	171	52	1,75	0,1%	16	1509
Г.Делчев	90	152	208	137	95	2,59	11,3%	10	1523
Гърмен	69	124	134	108	90	2,10	5,2%	18	823
Кресна	39	147	179	122	87	2,66	10,3%	21	750
Петрич	182	68	62	92	50	2,16	1,0%	10	380
Разлог	84	123	130	105	85	2,30	6,5%	13	674
Сандански	160	63	73	117	44	2,10	0,5%	12	559
Сатовча	64	44	32	72	36	1,84	0,03%	10	163
Симитли	69	94	107	113	59	2,67	4,8%	10	591
Струмяни	44	90	81	90	66	2,17	2,5%	15	412
Хаджидимово	50	99	104	104	72	2,20	3,5%	11	658
Якуруда	39	74	63	85	54	2,24	1,7%	10	299
Общо за Благоевград	1173	95	127	134	62	2,34	3,2%	10	1523
Благоевград национално проучване	102	96	69	72	78	1,9	1,6%	27	335

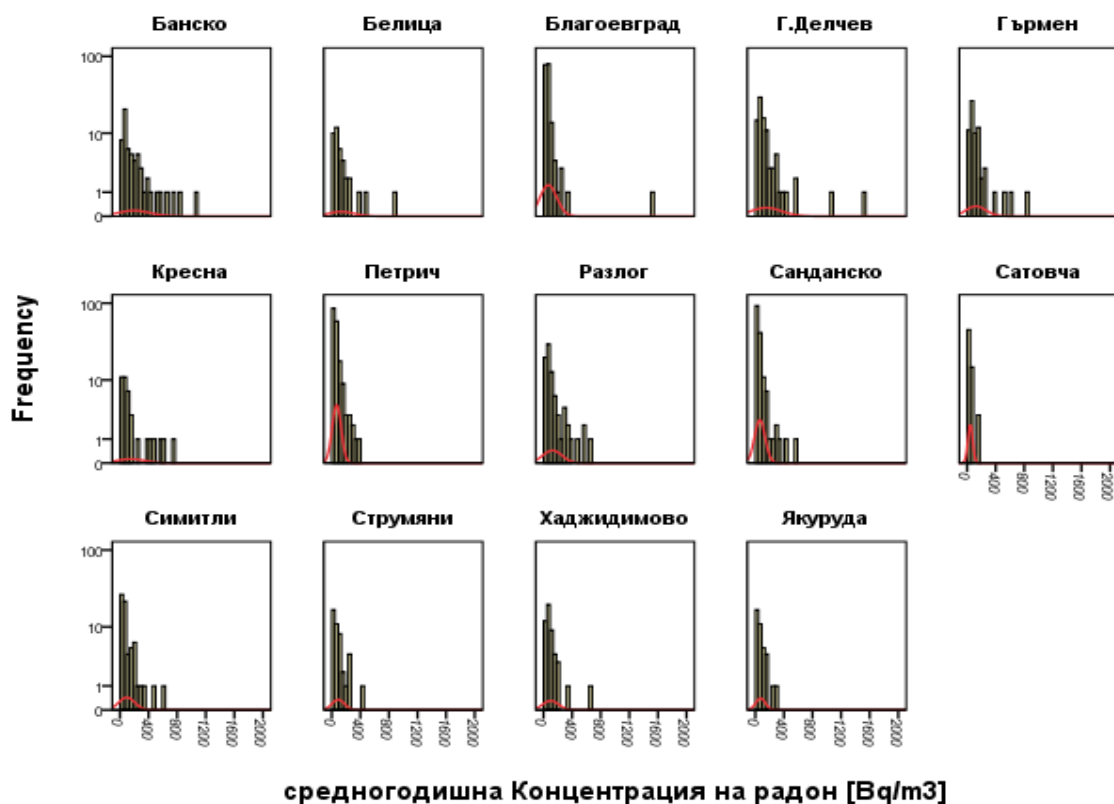
Оценен е потенциалният процент на жилищата с обемна активност на радон над референтното ниво от 300 Bq.m⁻³ за област Благоевград и за всяка община. Разпределението на медианите на обемна активност по общини е представено на *Фигура 5*. Най-високи стойности и най-голяма вариация на обемната активност на радон има в община Банско, следвана от община Гоце Делчев и община Разлог. В Таблица 2 са представени оценените стойности на средно-геометричните стойности (GM) по общини и средногеометричното отклонение (GSD). Знаейки GM и GSD, процентът на жилищата, надхвърлящи референтното ниво (RL), е оценен, като се използват статистическите таблици на площта под стандартната нормална крива, като k се определя по следната формула (Fennell, S.G., et al, 2002):

$$k = \frac{\ln(RL) - \ln(GM)}{\ln(GSD)}$$



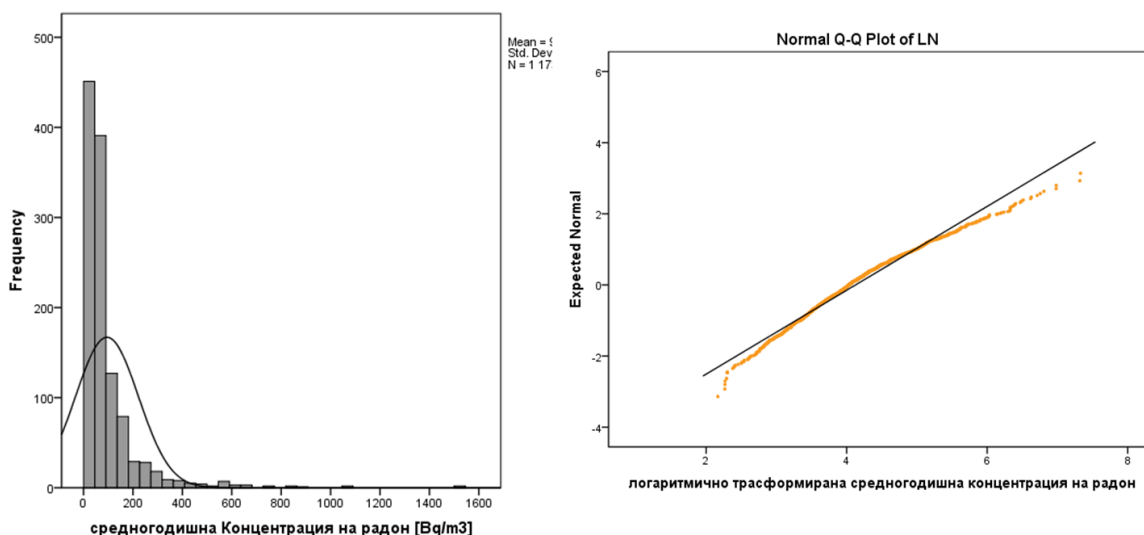
Фигура 5. Разпределение на медианите на обемната активност на радон по общини

Хистограмите на измерените средногодишни обемни активности по общини са представени на Фигура 6. На фигурата общините са подредени по азбучен ред.



Фигура 6. Хистограми на средногодините обемни активности на радон по общини

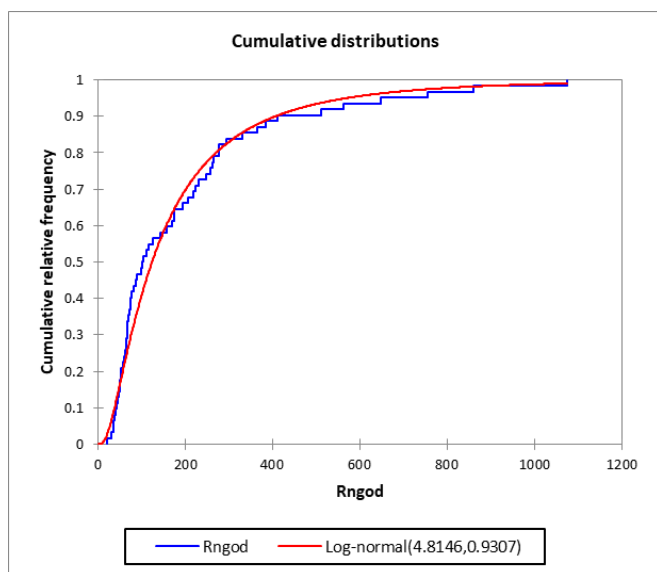
От *фигура 6* се вижда, че измерените стойности не следват нормалното разпределение. Разпределението на измерените концентрации на радон има логнормална форма. Това се дължи на мултипликативната комбинация от много параметри, влияещи на концентрацията на радон в сградите (Nero, A.V, et.al, 1986). При разглеждането на разпределението на стойностите е извършена проверка на логнормалността чрез графично представяне на стойностите върху Q-Q графика представено на *Фигура 7*. На *фигура 7* е представена и хистограмата на честотите на стойностите на средногодишната обемна активност на радон.



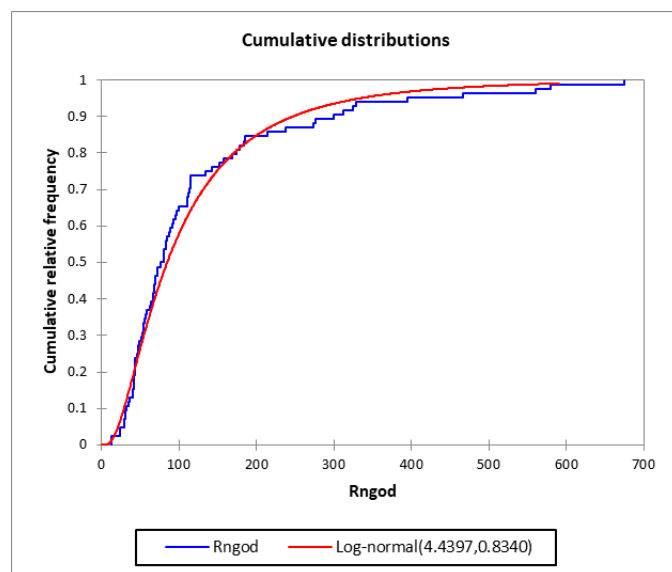
Фигура 7. Разпределение на стойностите на средногодишна обемната активност на радон. В ляво хистограма, в дясно Q-Q плот на логаритмичните стойности

Определена е средно претеглената стойност (92 Bq.m^{-3}) въз основа на броя на населението към 31.12.2016 г. за страната по статистически данни от Националния статистически институт (<http://www.nsi.bg/bg/content/>). Стойността е приблизително равна на средно аритметичната стойност на средногодишната обемна активност на радон.

За изпитването на методиката са разгледани по-подробно общините Банско и Разлог. За оценка на нормалното разпределение на логаритмичните стойности на резултатите за обемната активност на радон е приложен теста на Колмогоров-Смирнов. Стойностите на средногодишните обемни активности на радон следват лог-нормално разпределение за община Банско (KS, $p=0.305$), а за община Разлог (KS, $p=0.406$) при $p>0.05$ за 95% доверителен интервал. Ако приемем нулевата хипотеза, че стойностите следват лог-нормално разпределение, то риска тя да бъде отхвърлена, ако е вярна за община Банско е 31%, а за община Разлог е 41%. Съпоставянето на теоретичните кумулативни стойности с реално оценените стойности на обемната активност на радон за община Банско и община Разлог са представени на *Фигура 8* и *Фигура 9*.



Фигура 8. Кумулативно разпределение на теоретичните и измерените стойности на обемната активност на радон в община Банско.



Фигура 9. Кумулативно разпределение на теоретичните и измерените стойности на обемната активност на радон в община Разлог.

Средната стойност на обемната активност за община Банско е 193 Bq.m^{-3} , а средногеометричната стойност е 123 Bq.m^{-3} . Най-високият резултат на средногодишната обемна активност на радон от 1075 Bq.m^{-3} е измерена в гр. Банско. Населеното място с най-висока средноаритметична стойност на радон е гр. Банско, следвано от с. Филиповци. Средноаритметичните, минималните и максималните стойности на средногодишната обемна активност на радон по населени места за община Банско са представени в Таблица 3.

Таблица 3. Обобщение на резултатите за обемната активност на радон по населени места в община Банско.

Населено място	Брой на измерванията N	Средно аритметична стойност [Bq.m ⁻³]	Стандартно отклонение	Минимална стойност [Bq.m ⁻³]	Максимална стойност [Bq.m ⁻³]
гр. Банско	37	240	254	20	1075
с. Филиповци	9	172	116	37	366
с. Места	6	88	65	50	218
гр. Добринище	5	157	90	66	276
с. Кремен	3	41	5	36	45
с. Осеново и Обидим	2	55	3	53	58
Общо	62	193	212	20	1075

Средната стойност на обемната активност за община Разлог е 123 Bq.m^{-3} , а средногеометричната стойност е 85 Bq.m^{-3} . Най-високият резултат на средногодишната

обемна активност на радон от 674 Bq.m^{-3} е измерена в с. Добърско. Населеното място с най-висока средноаритметична стойност е с. Елешница, който е втория район от бившата уранодобивна промишленост, следвано от с. Баня и с. Добърско. Средноаритметичните, минималните и максималните стойности на средногодишната обемна активност на радон по населени места са представени в Таблица 4.

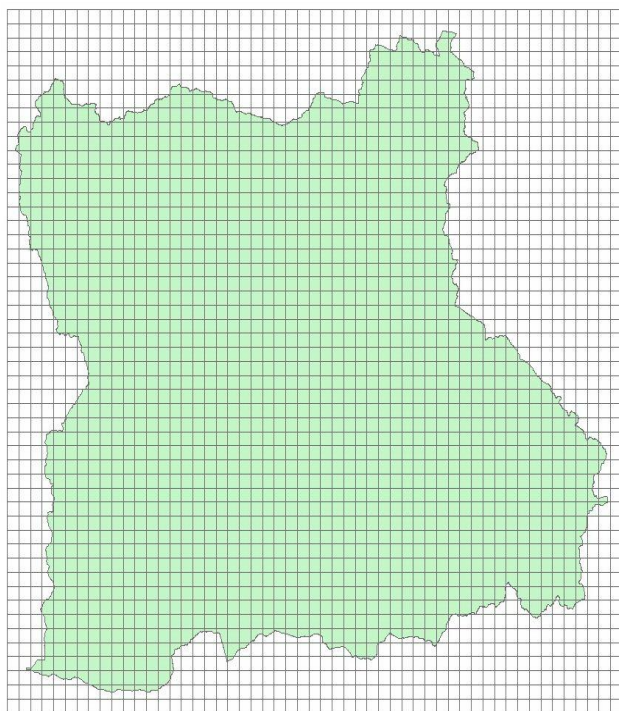
Таблица 4. Обобщение на резултатите за обемната активност на радон по населени места в община Разлог.

Населено място	Брой на измерванията N	Средно аритметична стойност [Bq.m ⁻³]	Стандартно отклонение	Минимална стойност [Bq.m ⁻³]	Максимална стойност [Bq.m ⁻³]
с. Добърско	6	184	246	24	674
с. Бачево	8	75	39	31	135
с. Баня	13	178	148	58	580
с. Долно Драглище и Горно Драглище	10	99	57	13	186
с. Годлево	8	92	80	13	274
с. Елешница	16	199	169	41	560
гр. Разлог	22	62	45	23	237
Общо	83	124	130	13	674

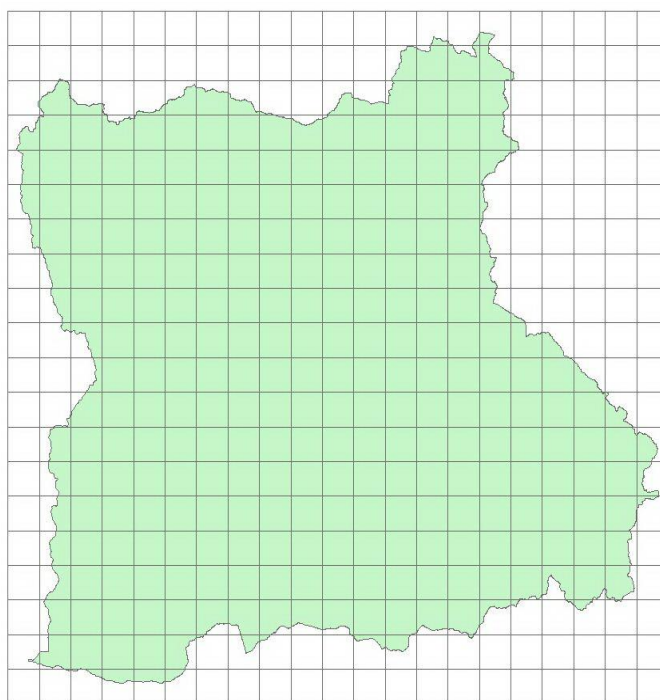
Приложен е непараметричния тест на Крускал-Уолис за изследване на различията между групите населени места в общините. Разгледана е нулевата хипотеза, че медианите на извадките по населени места в една община са равни, която се приема за вярна при $p > 0.05$ за 95% доверителен интервал. За двете общини нулевата хипотеза е отхвърлена, което показва, че има статистически значима разлика между медианите на групите населени места в община Банско (KW, $p=0.041$) и между медианите на групите населени места в община Разлог (KW, $p=0.003$). Следователно въпреки, че площта на общите е сравнително малка се наблюдават различия на извадките по населени места, което показва необходимостта от разглеждане на площта на общината на отделни зони, за да се приложи интегриран метод за определяне на зоните където обемната активност на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава референтно ниво в рамките на общината.

5 Диференциране на площта на областта

Различни видове граници на района са използвани при анализа на данни за обемната активност на радон в сгради и при представянето на карти. Геоложките граници очертават разликите в радоновия потенциал много по-ясно от други видове граници, макар при отделните геоложки единици също да се наблюдава вариация в радоновия потенциал (Miles JCH. and Appleton JD., 2000). Използването на мрежата с квадрати за групиране на данните за обемната активност на радон в сгради при картографиране има предимства, тъй като позволява да се избере подходящ размер на площта и опростява анализа на данните, но при този метод могат да се пренебрегнат вариациите в потенциала на радон в рамките на мрежите. Прилагането на интегриран подход за определянето на зоните където обемната активност на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава съответното национално референтно ниво в рамките на общината е оптимален. Интегрираният подход се изразява в групирането на данните за средногодишната обемна активност по квадрати, на които е разделена площта на областта. На базата на наслояване на геологията се групират квадратите по геоложките единици.



Фигура 10 а. Мрежа 2х2 км. на територията на област Благоевград



Фигура 10 б. Мрежа 5х5 км. на територията на област Благоевград

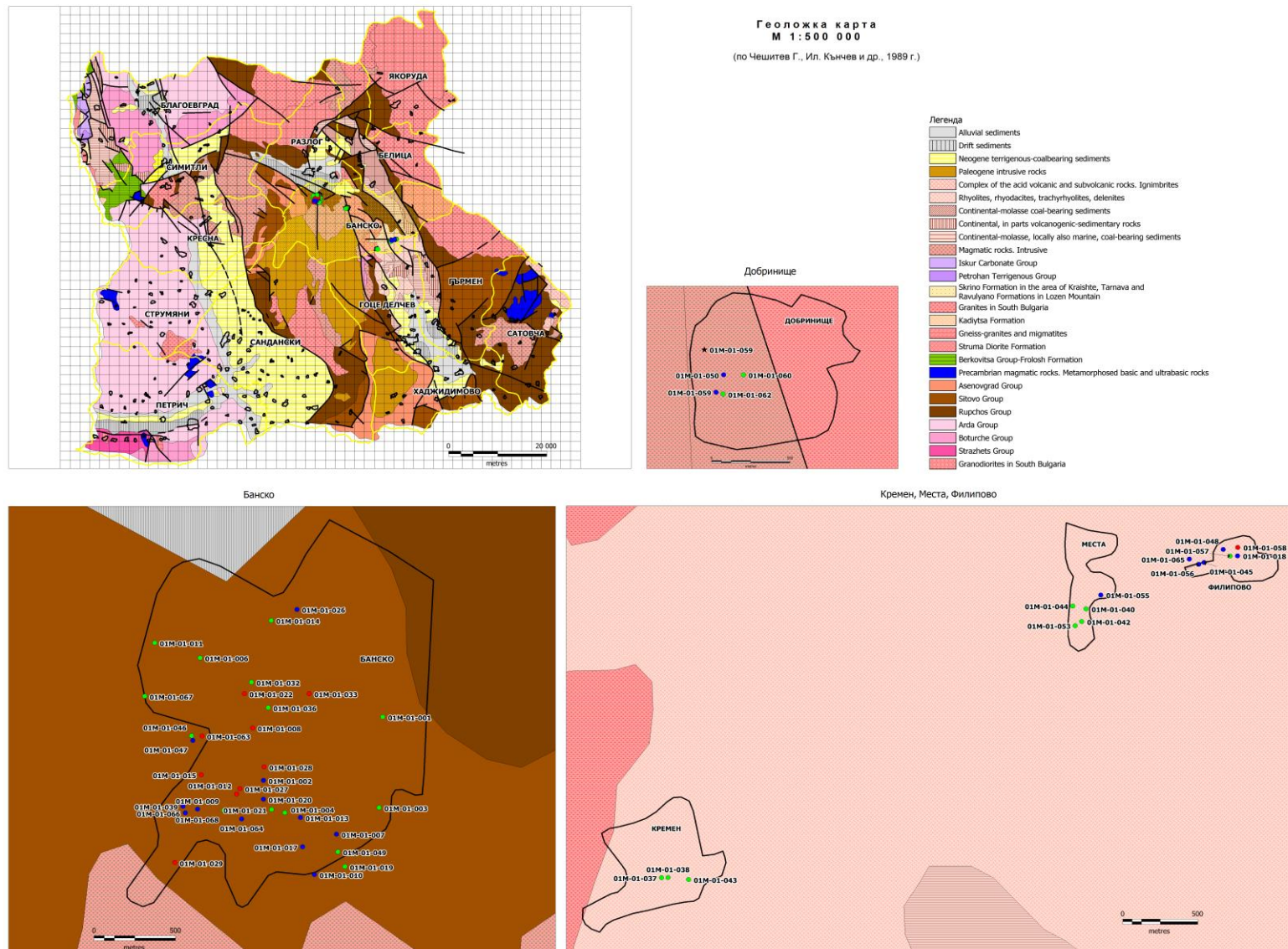
На Фигури 10 а и б са представени две квадратни мрежи, наложени върху територията на област Благоевград. Едната е с размери 2 x 2 км., а другата 5 x 5 км. Може да бъде използван и комбиниран метод за разделяне на територията в зависимост от гъстотата на сградите.

6 Определяне на зони в зависимост от очакваната обемна активност на радон

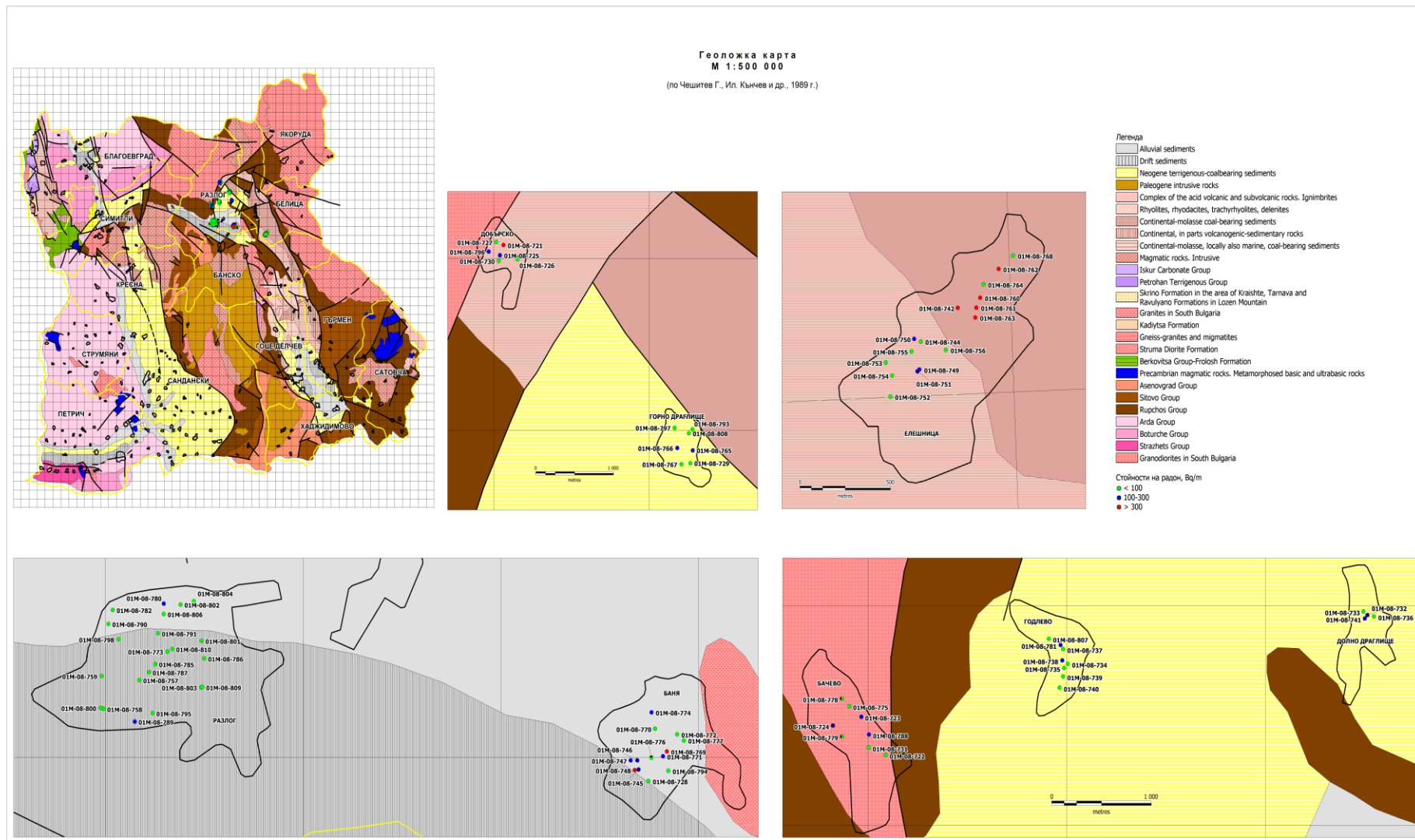
За да се идентифицират зоните, където обемната активност на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава референтно ниво в рамките на общината на първо място трябва измерените сгради да се обвържат с координати. Обвързването на измерената сграда с координати е необходимо за извличане на допълнителна информация на базата на съпоставяне на различни видове карти за последващ анализ на данните чрез географска информационна система (GIS). Данните от пилотното проучване не са обвързани с GPS координати. Въпреки че, се изисква събиране на тези данни, това е много трудоемко и е необходимо допълнително време за тяхното определяне. Детекторите в повечето случаи са изпращани и събирани от кметовете на населените места, които са ги изпращали чрез куриери за обработка. Това изискване за обвързване на измерваната сграда с GPS координати, следва да бъде допълнително обмислено. За обработката на данните от пилотното проучване за двете разглеждани общини адресите на сградите са обвързани с координати чрез приложението Google Earth.

6.1 Обвързване с геологията на района

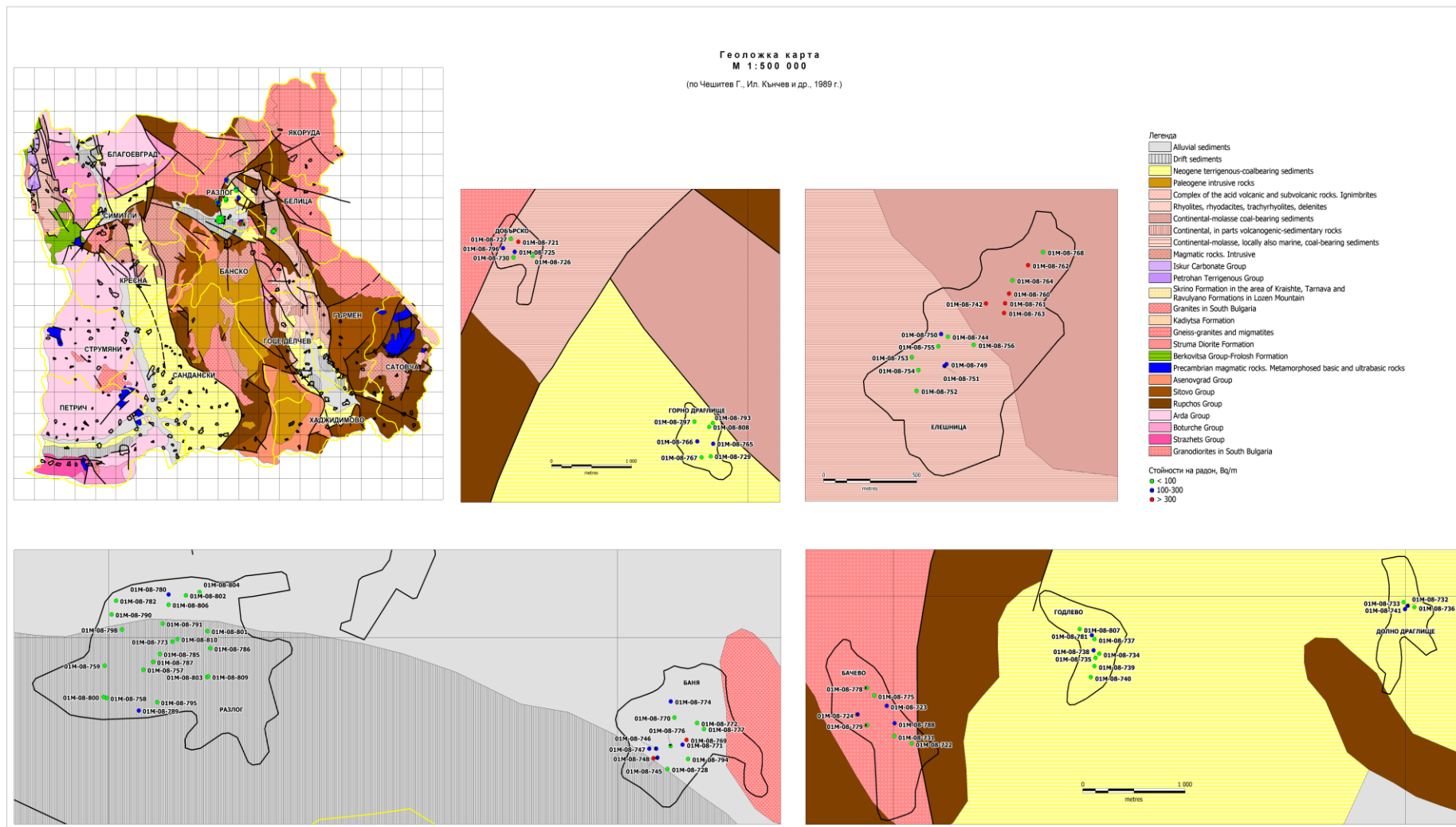
Геологията на района е един от основните източници на радон в сградите, като първата стъпка е обвързване на данните с геоложката карта за региона. На *Фигури 11 а и б* са представени геоложки карти с мрежи 2 x 2 км. и 5 x 5 км. съответно с обвързани измерени сгради за община Банско. На *Фигури 12 а и б* са представени геоложки карти с мрежи 2 x 2 км. и 5 x 5 км. съответно с обвързани измерени сгради за община Разлог. Населените места в община Банско попадат в следните геоложки единици: гр. Банско – скални образувания от Ситова група; с. Места, с. Филипово и с. Кремен – риолити и други; гр. Добринище – магмени скали, интрузити. Населените места в община Разлог попадат в различни скални образувания в сравнение с община Банско. Геоложките единици, в които те попадат са както следва: гр. Разлог измерваните сгради попадат в два вида: алувиални образувания от заливните и надзаливни тераси и пролувиални образувания (наносни конуси); с. Баня измерванията попадат в алувиални алувиални образувания от заливните и надзаливни тераси– чакъли и пясъци; с. Бачево – Южнобългарски гранодиорити; села Годлево, Долно Драглище и Горно Драглище - всички точки са върху теригенно-въгленосни седименти конгломерати, брекчоконгломерати, пясъчници, алевролити, аргилити, пясъци, глини и въглища; в с. Елешница и с. Добърско измерванията попадат в континентално-моласови седименти, състоящи се от конгломерати, пясъчници, аргилити, битумолити и въглища.



Фигура 11а. Геоложка карта с координати на измерваните сгради на територията на община Банско с мрежа 2 x 2 км.



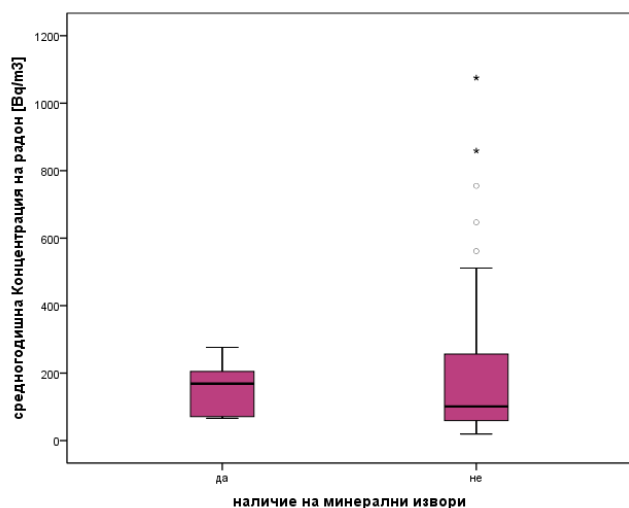
Фигура 12а. Геоложка карта с координати на измерваните сгради на територията на община Разлог с мрежа 2 x 2 км.



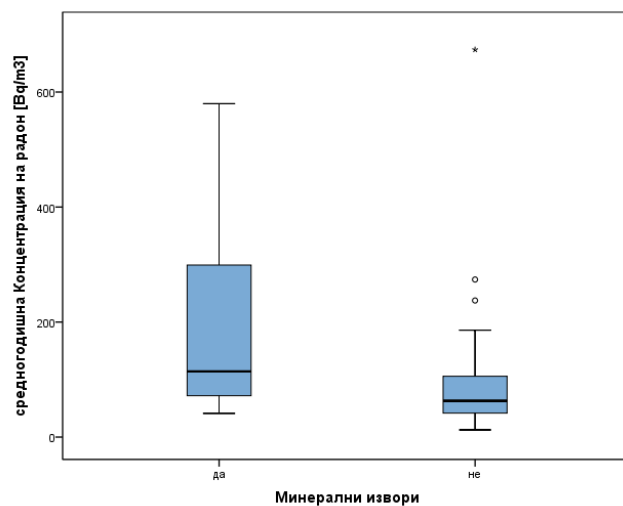
Фигура 126. Геоложка карта с координати на измерваните сгради на територията на община Разлог с мрежа 5 x 5 км.

Вариациите в измерванията на обемната активност на радон в двете общини се дължат на геоложките единици, в които попадат измерванията, но в много случаи не могат да бъдат обяснени достатъчно добре, ако не се обвържат и с пропускливостта на самите скали. Високите констатирани стойности на обемната активност на радон в с. Елешница и с. Добърско биха могли да се обяснят с високата пропускливост на седиментите. Наред с това високите стойности, констатирани в гр. Банско обуславят твърдението, че обемната активност на радон в една сграда се влияе от множество фактори.

Разгледани са фактор - хидрологията на района и е оценен фактор - наличие на минерални води в района на населеното място. Измерванията са разделени на две групи – група 1 наличие на източник на минерална вода и група 2 – в района няма източник на минерална вода. Разпределението на обемната активност на радон по групите е представено на *Фигура 13а* за община Банско и *Фигура 13б* за община Разлог.



Фигура 13а. Разпределение на обемната активност на радон по групи при наличие на минерални извори за община Банско

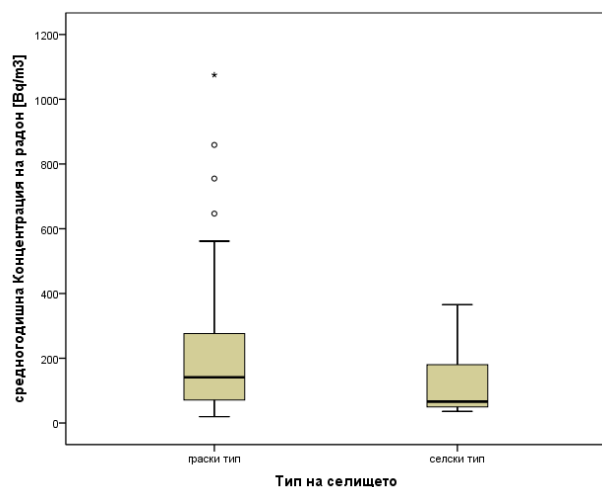


Фигура 13б. Разпределение на обемната активност на радон по групи при наличие на минерални извори за община Разлог

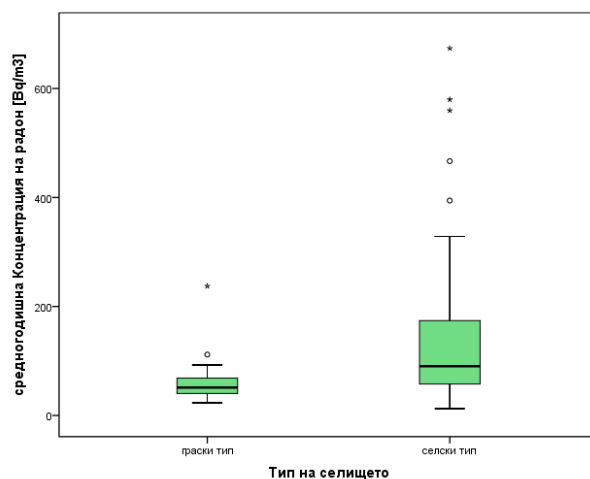
Разгледана е статистически значимата разлика и е оценен процента, с който наличието на минерални източници допринася за очакваната вариация на радон за двете общини. Приложен е теста на Ман-Уитни. За община Банско е установена статистически значима разлика между групите (MW, $p=0.0219$), при ниво на значимост $p<0.05$ за 95% доверителен интервал. За община Банско е установена статистическа значима разлика между групите (MW, $p=0.0001$), при ниво на значимост $p<0.05$ за 95% доверителен интервал. Приложен е коефициента на Пирсън за оценка на зависимостта на обемната активност на радон за община Разлог. Приносът на наличието на минерални извори за дисперсията на обемната активност на радон за община Разлог е 19% от общата дисперсия.

6.2 Влияние на характеристиката на сградата за вариациите на обемната активност на радон

Видът на сградата оказва съществено влияние върху обемната активност на радон в нея. Големината на конструкцията, дали е къща на един етаж или на два-три етажа или това блок, годината на строителство, вид на строителните материали, вид на прозорците и начин на отопление, извършен ли е ремонт или не и други, всички тези характеристики на сградата могат значително да променят обемната активност на радон в сградата. За оценка на влиянието на вида на сградите в зависимост от типа на селището измерванията в общините са разделени на две групи населени места – градски и селски тип. Предполага се че, сградите в населените места от селски тип населено място са по-малки и по-стари. За оценка на различията е използван теста на Ман-Уитни при ниво на значимост $p < 0.05$ за 95% доверителен интервал и нулева хипотеза че, съществуват различия в така образуваните групи измервания на обемната активност на радон. Установена е статистически значима разлика между групите за община Банско - MW, $p = 0.0234$, а за община Разлог - MW, $p = 0.0015$. Приносът, оценен с коефициента на Пирсън на типа селище за общата дисперсия на обемната активност на радон за община Разлог е 12%, а за община Банско – 53%. Разпределението на обемната активност на радон по групите на типа на населеното място е представено на *Фигура 14а* за община Банско и *Фигура 14б* за община Разлог.



Фигура 14а. Разпределение на обемната активност на радон по тип населено място за община Банско

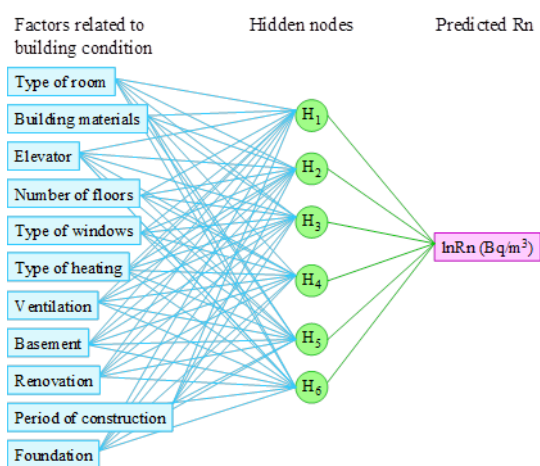


Фигура 14б. Разпределение на обемната активност на радон по тип населено място в община Разлог

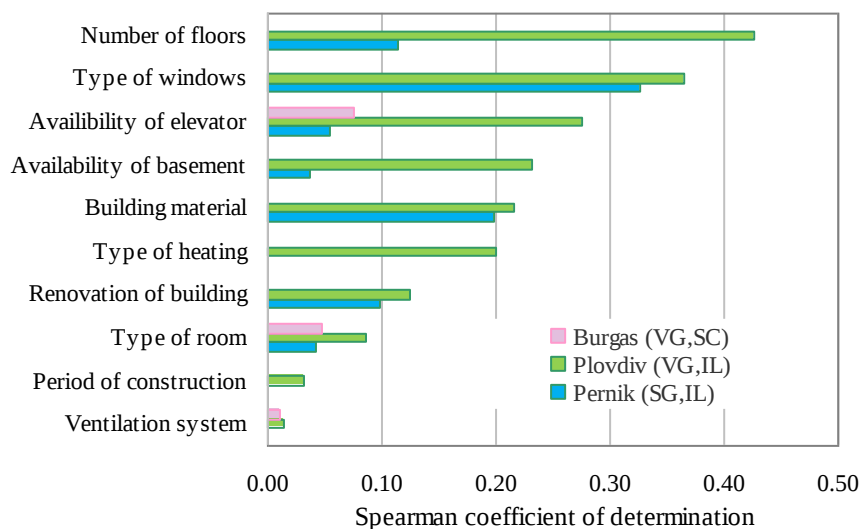
Средната обемната активност на радон за групата от градски тип (146 Bq.m^{-3}) е със стойност по-висока в сравнение с тази за селски тип (86 Bq.m^{-3}) в община Банско, докато в община Разлог е обратното за селски тип (145 Bq.m^{-3}) стойността е по-висока отколкото за

градски тип (61 Bq.m^{-3}). За това зависимостта следва да бъде изследвана за всяка община и нейния принос да бъде оценяван.

Характеристиките на сградата оказват влияние на обемната активност на радон по различен начин при различна геология и климатични условия. Изследваната зависимост на 11 фактора, свързани с характеристиката на сградите в три различни града в България показва, че конструкцията на сградата следва да бъде разглеждана в комбинация с геология и климатичната зона (Ivanova, et.al, 2017). Разгледаните влияещи фактори са представени на *Фигура 15а*, а влиянието на съответните фактори върху обемната активност за съответния град на *Фигура 15б*.



Фигура 15а. Фактори, свързани с конструкцията на сградата.



Фигура 15б. Статистически значими коефициенти на Spearman за определяне на влиянието на изследваните фактори върху CRn.

Анализът показва, че зависимостта от специфични фактори, характеризиращи сградата и които влияят върху дисперсията на обемната активност на радон, също са обект на пространствени вариации.

- За гр. Пловдив, който е град с геология от вулканичен произход, дисперсията на обемната активност на радон би могла да се обясни с 10 фактора: наличие на сутерен, наличие на механична вентилация, вид на прозорците, брой на етажите на сградата, ремонт на сградата, наличие на асансьор, вид на строителни материали, вид на отоплението и година на строителство. Факторът на сградата, който доминира при оценка на очакваната обемна активност на радон е брой на етажи на сградата.

- За гр. Перник, който се характеризира със седиментна геология вариациите на обемната активност се описват от 7 фактора: наличие на сутерен, тип на прозорците, брой на етажите, ремонт на сградата, наличие на асансьор, вид на строителните материали и вид на помещението в което е извършено измерването. Доминиращ фактор за оценка на очакваната обемна активност на радон е вида на прозорците в сградата.

- За гр.Бургас, който е разположен на морето с вулканична геология, само 3 фактора на конструкцията на сградата обясняват вариациите на обемната активност на радон: вида на помещенията в които са извършени измерванията, наличието на вентилационна система, както и наличието на асансьор.

Следователно влиянието на различните фактори на конструкцията на сградата допринасят по различен начин за оценката на очакваната обемна активност на радон в зависимост от геологията и климатичната зона и следва да бъдат анализирани за съответната община.

6.3 Моделиране на резултатите

Разположението на изследваните сгради на територията на общините, разделена на квадрати с големина 2 x 2 км., представено на *Фигури 11a* и *Фигура 12a* показва, че населените места попадат в един или два квадрата. Останалата част от квадратите по територията на общините нямат достатъчен брой измервания или в някои от квадратите няма измервания. Очакваната средногодишна обемна активност на радон (ОАР) или процент на сградите със средногодишна концентрация над референтното ниво следва да бъде оценявана на базата на модел, в който различните фактори, оказват различно влияние, оценено предварително за съответната община. По този начин ще бъдат получени изолинии, обвързващи отделните квадрати показващи определените зони по територията на общината и съответно в областта. Съществуват различни модели, които се прилагат за такива оценки, основното в тях е прилагане на йерархичното моделиране или влиянието на различни фактори на различни нива за определяне на очакваната обемната активност на радон (Borgoni R. et.al. 2014). Приемайки подхода на смесения модел ние показваме до каква степен тези фактори имат отношение към обясняването на вариациите на концентрацията на радон и колко от източниците на радон в сградите остават невключени в модела. Въпреки тенденцията за намаляване на радона с придвижване към по-високите етажи, това не винаги е така. Конкретно предлагаме модел, показващ не само зависимостта между обемната активност на радон и разликите в помещенията, но и как се получават разлики от един етаж до друг, което не може да бъде обяснено с данните от измерванията.

Многофакторният анализ е метод за анализ на сложни модели от по няколко променливи. Степенното (йерархично) моделиране се осъществява удобно чрез използване на модели с комплексни влияещи фактори. Това е статистически регресионен модел, който включва фиксираните влияещи променливи (запазващи се константи в рамките на групата) и случайните променливи (вариращи на случаен принцип в рамките на групата). Фиксираните променливи можем да свържем с линейна регресия, а случайните с експериментални данни получени на случаен принцип.

Многофакторният модел е бил използван в миналото за моделиране на ОАР. Използваните модели са предимно двупараметрични с цел обяснение на пространствените вариации на ОАР и картирането им в пространството, за идентифициране на потенциалните зони където е възможно повишено облъчване от радон.

Целта на моделирането е да предложим изграждане на тристепенен модел, като се вземе предвид (степенната) йерархична структура на данните от даденото проучване и натрупаните данни, като покажем как ОАР зависи от, или може да бъде обяснена с набор от вторични

променливи (фактори), отнасящи се към всяко ниво от йерархичната структура, а също така да осигури оценка за промените в нивата, които не могат да бъдат обяснени.

Йерархия (степенуване) на данните.

Отчитайки извадката от данните за ОАР, направени в различни помещения на една и съща сграда, които са естествено групирани за сградата. Измерванията направени на различни етажи в една и съща сграда се очаква да бъдат по-близки, отколкото измерванията направени в стаи от други сгради, поради това данните могат да бъдат считани за независими (невлияещи). Данни с такава структура се наричат йерархични, гнездови, или многостепенни. Съгласно тази терминология, стаите могат да бъдат единици от първата степен в двустепенната структура, сградите единици от втората степен. Третото ниво в йерархията може да бъде представено с измерванията направени в помещения с еднакъв тип скали и почви, където би трябвало да се очакват сходни стойности спрямо тези помещения разположени върху други геоложки класове. Съществуването на тази йерархия на данните не е случайно, нито пък може да се пренебрегне, поради риска да пренебрегнем значимостта на данните в групата. Това разбира се може да направи невалидни и използваните техники за статистическия анализ. Поради това е целесъобразно да се усилят връзките (зависимостите) между единиците в една и съща сграда или геология, както и да се усилят връзките (зависимостите) между различните сгради и геоложките класове. Степента на прилика между концентрациите измерени на различни етажи в една сграда може да бъде изразена чрез вътрегрупов корелационен коефициент. Терминът група е условен и се използва, за да обозначи групата от единиците погледнато извън самата група (т.е. сградите по отношение на геологията и помещенията). Например вътрешните разлики в сградата (дисперсията) са разлики вътре в сградата, според тяхното значение (разлики в състоянието на различните помещения в сградата). Докато разликите между сградите са разлики между типовете строителство на сградите. Пълната дисперсия в този случай може да бъде разложена като сума от тези два компонента. Вътрегруповите корелационни коефициенти се дефинират като отношение на дисперсията на строителството между сградите и пълната дисперсия, респ. частта от дисперсията в помещенията на разглежданата сграда (2-ро ниво в йерархичната структура). Тези коефициенти измерват корелацията между две случайно подбрани стаи в една и съща, произволно избрана сграда. Когато има повече от две нива, е възможно да възникнат няколко вида сложни корелации.

Допълнително към вътресградовите корелации може да се пресметнат и вътрегеоложките (за една и съща геоложка група) коефициенти на корелация, т.е. отношението между геоложката дисперсия и пълната дисперсия и да получим корелацията между две стаи в една и съща геоложка група.

Наличието на вътрегрупова корелация и последващото нарушаване на предположението за независимост, допускат че стандартната множествена регресия по метода на най-малките

квадрати може да доведе до неправилни изводи, дължащи се на неизместената оценка на стандартната грешка на регресионните коефициенти.

При изследване на многофакторните връзки се нуждаем от адекватни модели, които представят със задоволителна точност изследваните зависимости. Задължително е моделът да бъде представен с подходящо регресионно уравнение

В резюме, тристепенната йерархична структура показва три източника на промени и пълната дисперсия на ОАР σ^2 може да бъде разложена на

$$\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2 + \sigma_e^2,$$

където σ_v^2 е геоложката дисперсия, σ_u^2 е междусградовата дисперсия на дадена геоложка подложка, σ_e^2 е дисперсията свързана с дадена сграда, разположена на дадена геоложка подложка.

За целта трябва да се оцени пълната дисперсия и от съотношенията $\frac{\sigma_i^2}{\sigma^2}$ да се намери какви са приносите на различните съставни на пълната дисперсия. От тук може да се получат вътрегруповите корелации, които изразяват сходството в ОАР в стаите от един геоложки клас. Друг пример, който може да бъде показан е как влияе етажа на сградата по подобие на горния.

Предвид начина, по който се групират данните в сградите и дадената геоложка подложка при моделирането на данните за ОАР можем да изтъкнем няколко предимства.

На първо място, тя дава възможност да се получат статистически ефективни оценки на регресионните коефициенти и да се коригират оценените стандартни грешки, доверителни интервали и тестовите за проверка на хипотезата за зависимост на променливите в групите.

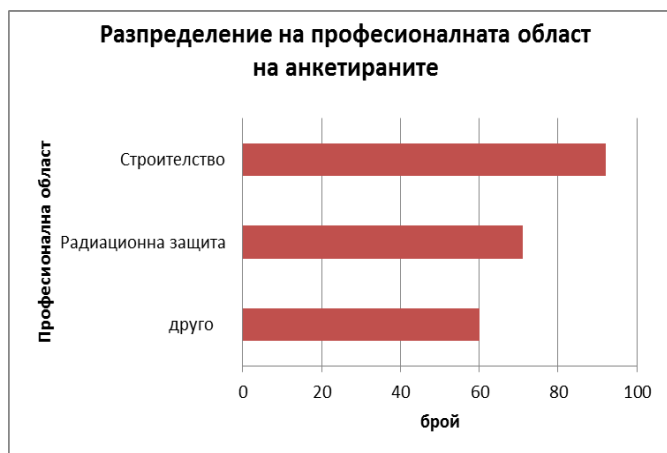
Изводът при корелационният анализ ще бъде по принцип по-консервативен (т.е. водещ до достоверен резултат), отколкото при традиционния регресионен модел, който пренебрегва корелацията в рамките на групите.

Използвайки ковариациите измерени в стаята (например честотата на отваряне на прозореца) или годината на строителство позволяват изследването до каква степен разликите в ОАР се отчитат от измерими фактори въздействащи на тези стойности. Това може да се направи с многостепенно моделиране.

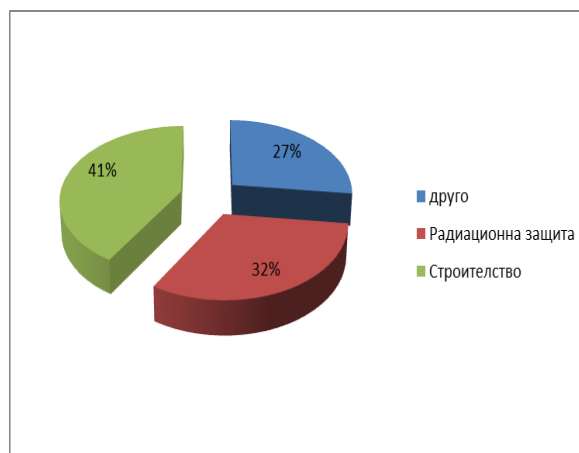
7 Представяне на зоните на карта на България

Лесен начин на онагледяване на зоните и представяне на резултатите е картографирането на зоните, където обемната активност на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава референтно ниво. Картите служат за информиране на населението за риска от облъчване на радон в сгради. На базата на изготвената радонова карта на България може да се предвидят мерки чрез използване на степенуван подход и да се предприемат действия за справяне с дългосрочните рискове от облъчване от радон. Строгостта на мерките и условията за контрол, които се прилагат зависят от големината на вероятността и възможните последици от облъчването.

При изпитването на „Методиката за определяне на райони с повишен радонов риск“ е проведено запитване. Основният мотив на изготвената анкета по запитването (*Приложение № 2*) е да се установи най-достъпният начин за населението, относно възприемане на информацията за разпределението на обемната активност на радон при изготвянето на картите. Обобщението на получените отговори ще бъде полезно за подготовка при представянето на резултатите по области и общини. Проведената анкета е анонимна и съдържа само информация за професията и образованието на отговорилите хора. Тя се състои от три въпроса и няколко варианта за отговори. Анкетата е попълнена от 227 души, работещи в следните области: радиационна защита - 71 души, строителство - 92 души и други области 60 души, като четирима участници не са попълнили областта в която работят. На *Фигури 16а и 16б* са представени резултатите за участниците в анкетата по вид на областта в която работят.



Фигура 16а. Разпределение на анкетираните по професия



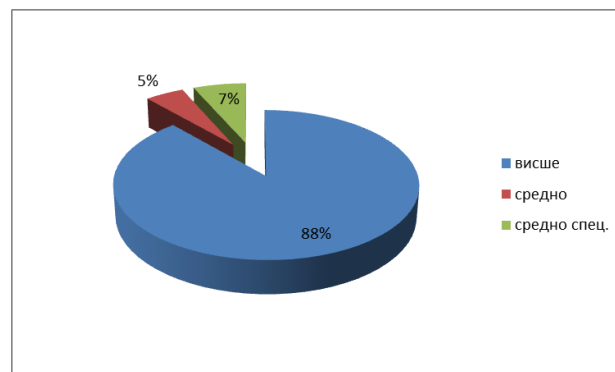
Фигура 16б. Процентно разпределение на анкетираните по професия

Процентното разпределение на анкетираните по професионална област е както следва: строителство 41%, радиационна защита 32 % и друга професионална област 27 %. В това допитване са взели участие хора с различна степен на образование. На база на отговорите те са

разпределени в три групи. Резултатите са представени на *Фигури 17а и 17б*. Участниците с висше образование са 201 души, със средно специално 15 души и със средно образование 11 души. Най-голям процент участници в анкетата 88% са с висше образование, 7% са със средно специално и 5% със средно образование.

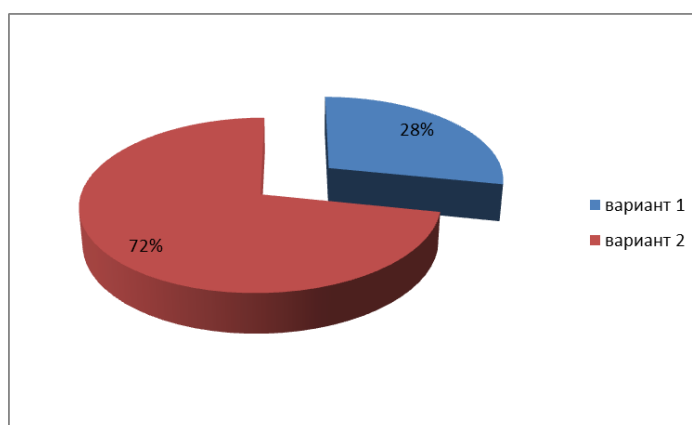


Фигура 17а. Разпределение на анкетираните по степен на образование



Фигура 17б. Процентно разпределение на анкетираните по степен на образование

Първият въпрос е свързан с изборът на вариант за разделяне на картата, който е по-информативен, по-достъпен и по-разбираем за анкетираните. На този въпрос има два възможни отговора: Вариант 1 - средно аритметична стойност на средногодишната концентрация на радон за общината и Вариант 2 - процентът на сградите (жилищата) в общината със стойности на измерената концентрация на радон над референтното ниво от 300 Bq.m^{-3} . Процентното разпределение на отговорите на този въпрос са, както следва: 28% са избрали Вариант 1, а 72 % Вариант 2. Резултатите от разпределението на отговорите на първия въпрос са представени на *Фигура 18*.



Фигура 18. Процентно разпределение на отговорите за вариант за разделяне на картата

Като Вариант 1 са избрали 64 души, от които работещи в областта на радиационната защита 10, в строителството 19 и друга област 35. Вариант 2 за радонова карта на база на процентът на сградите (жилищата) в общината със стойности на измерената концентрация на

радон над референтното ниво от 300 Bq.m^{-3} са избрали 73 души работещи в сферата на строителството, 61 души от сферата на радиационната защита и 27 души занимаващи се в други професионални области.

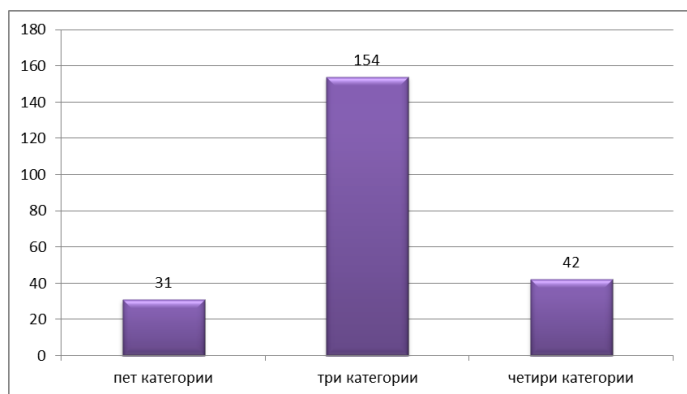
В общение Вариант 2 е предпочетен, като по-информативен, по-достъпен и по-разбираем от 72 % от анкетираните. Изборът на модел на радонова карта е посредством определените средни стойности на концентрацията на радон в сгради да се оцени вероятността, че концентрацията на радон в сградите може да надхвърли референтното ниво в голям брой сгради от съответната територия.

Съдържанието на вторият въпрос е свързано с допълнителната информация, която да се изобразява на картите, като са дадени 8 отговора. При този въпрос анкетираните имат право да изберат 3-4 от изброените опции от осемте отговора, а именно:

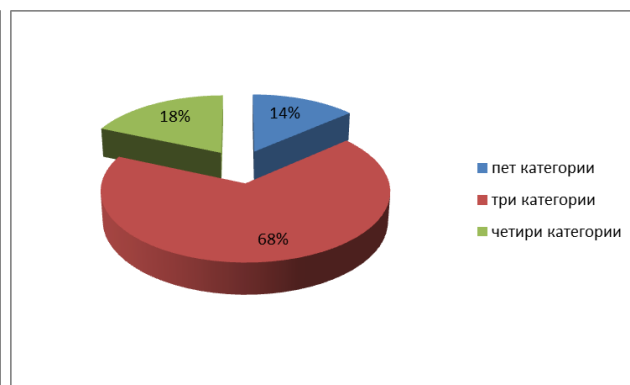
- ✓ Брой на измерените сгради (жилища) в общината;
- ✓ Средноаритметична стойност на средногодишната концентрация на радон за общината;
- ✓ Стандартно отклонение на средната стойност;
- ✓ Средногеометрична стойност със стандартно геометрично отклонение;
- ✓ Процентът на сградите в общината със стойности над референтното ниво;
- ✓ Минимално измерена стойност на концентрацията на радон в общината;
- ✓ Максимално измерена стойност на концентрацията на радон в общината;
- ✓ Друга информация.

Отговорилите на въпроса относно броя на допълнителните категории са, както следва: 154 анкетирани са избрали три категории, 42 -ма четири категории и най-малък брой от 31 души са се спрели на пет категории, свързани с допълнителната информация, която трябва да съдържат радоновите карти за общините. Съгласно попълнените анкети 205 отговора са като допълнителна информация в картата да присъства броят на измерените сгради (жилища) в общината; 149 души предлагат да бъде включена средноаритметична стойност на средногодишната концентрация на радон за общината; 57 анкетирани са отбелязали стандартно отклонение на средната стойност; като допълнителна информация за средногеометрична стойност със стандартно геометрично отклонение са дали отговор 32 души; 91 участници са предпочели да бъде включен процентът на сградите в общината със стойности над референтното ниво; 112 души са посочили минимално измерена стойност на концентрацията на радон в общината и 183 души предпочитат да има информация за максимално измерена стойност на концентрацията на радон в общината.

Третият въпрос от попълнената анкета обхваща броят категории (райони), на които ще бъде разделена картата. Възможен е само един отговор от три опции, а именно: три зони (висок, среден, нисък радонов риск), четири зони (много висок, висок, среден, нисък радонов риск) и пет зони (много висок, висок, среден, нисък и пренебрежителен радонов риск). Най-голям брой 154 анкетираните, са дали предпочитание на 3 броя зони, 42 души на четири броя зони и 31 души за пет броя зони. Най-голям дял от анкетираните 68% са избрали три броя категории от възможните осем, 18% са посочили четири категории и 14% - пет категории. Резултатите са представени на *Фигури 19а и 19б*.



Фигура 19а. Разпределение на анкетираните по отговори на трети въпрос, относно брой категории



Фигура 19б. Процентно разпределение на участниците в анкетата по отговори на трети въпрос, относно брой категории

В обобщение от направеното изпитване може да се направят следните изводи:

- Като най-достъпен начин за възприемане на информацията за разпределението на концентрацията на радон при изготвянето на радонови карти е избран вариантът с процент на сградите (жилищата) в общината със стойности на измерената концентрация на радон над референтното ниво от 300 Bq.m^{-3} ;
- Най- голям брой от анкетираните биха искали като допълнителна информация към радоновата карта да бъдат включени следните отговори: брой на измерените сгради (жилища) в общината; средноаритметична стойност на средногодишната концентрация на радон за общината и максимално измерена стойност на концентрацията на радон в общината;
- Анкетираните са предпочели, като най-удачен вариант радоновата карта да бъде разделена на три броя зони (висок, среден, нисък радонов риск).

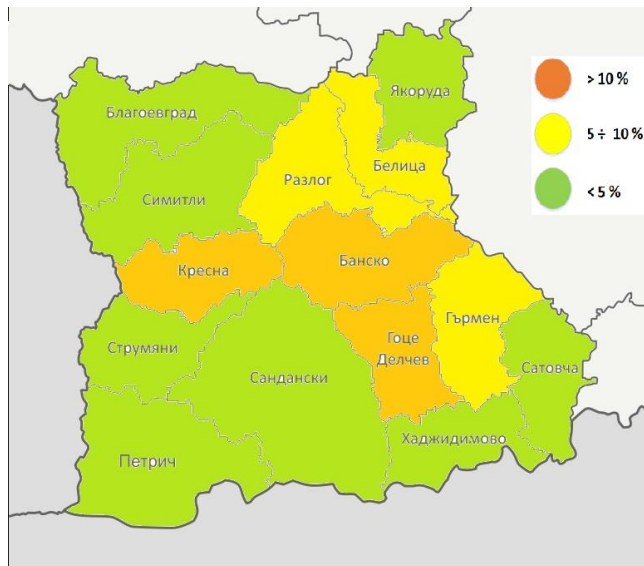
Моделът за представяне на зоните на територията на България е по-информативен, по-достъпен и по-разбираем за специалистите, които ще използват картата. Изработването на картата със съответните зони е оптимален вариант не само за представяне на резултатите, информизиране на населението, но и предприемане на мерки за редуциране на риска от

облъчване от радон. Тази информация може да бъде полезен инструмент за изпълнение на националната политика за предпазване на населението от вредното въздействие на радон, тъй като дейностите по програмата се осъществяват от специфични организации и специалисти, занимаващи се с общественото здраве, като и строители, архитекти и проектанți, представители на регионални и местни власти.

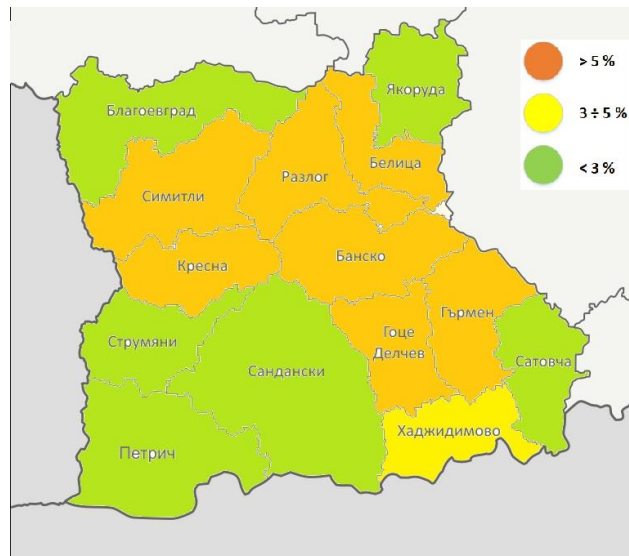
Картата с приоритизирани зони на ниво области е подходяща да бъде направена на база потенциалния процент на сградите, които се очаква да имат нива на обемната активност на радон над референтното ниво от 300 Bq.m^{-3} . При направата е необходимо да бъде използвана GIS оперативна система, подходяща за работа с карти. Зоните, където обемната активност на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава референтно ниво да бъдат класифицирани в три категории, в зависимост от очаквания процент на сградите със стойности над референтното ниво. Категория I – зона с най-висок процент на сградите с нива на обемната активност на радон над 300 Bq.m^{-3} , Категория II – зона със среден процент на сградите с нива на обемната активност на радон над 300 Bq.m^{-3} , Категория III – зона с нисък процент на сградите с нива на обемната активност на радон над 300 Bq.m^{-3} . На областно ниво картата следва да бъде динамична и да има възможност да дава допълнителна информация.

8 Схема на класификация на зоните

От особено значение е схемата на класификация на зоните, където обемната активност на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава референтно ниво. В зависимост от скалата зоните могат да имат различна площ на територията на общината. На *Фигури 20а и 20б* са представени два варианта на класификация на зоните.



Фигура 20а. Класификация на зоните в област Благоевград при максимален очакван процент над 10% на сградите със средногодишна обемна активност над $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,



Фигура 20б. Класификация на зоните в област Благоевград при максимален очакван процент над 5% на сградите със средногодишна обемна активност над $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,

При първата класификация на *Фигура 20а* зоната Категория I включва райони, където определения потенциален процент на сградите с обемна активност на радон е над 10% и включва общини Кресна, Банско и Гоце Делчев. Зоната от Категория II включва територии с очакван процент от 5 до 10% и в нея попадат общините Разлог, Белица, Гърмен, а зоната от Категория III обхваща останалите общини. При втората класификация зоната Категория I включва райони, където определения потенциален процент на сградите с обемна активност на радон е над 5% и включва по-голям брой общини: Кресна, Банско, Гоце Делчев, Разлог, Белица и Гърмен. Зоната от Категория II включва територии с очакван процент от 3 до 5% и в нея попадат община Хаджидимово, а зоната от Категория III обхваща останалите общини. От фигурата се вижда, че при схема на класификация с по-малък процент на сгради с очаквана обемна активност над референтното ниво, определените зони обхващат по-голям брой общини. Класификацията на зоните, където обемната активност на радон (в средногодишни

стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава референтно ниво, позволява прилагането на степенуван подход при предприемане на действие за справяне с дългосрочните рискове от облъчване от радон. Това не означава, че в зоната от Категория III няма да бъдат констатирани сгради с нива на обемната активност на радон над референтното ниво, за това действия в тези зони също трябва да бъдат предвидени. ***Това решение следва да бъде взето на правителствено ниво, но като се има в предвид, че всяко действие за намаляване на обемната концентрация на радон в сградите носи повече полза отколкото вреда, като схемата на класификация на зоните с по-нисък процент (5%) от гледна точка на превенция на здравето на населението е по-удачна.***

Обосноваването на различните схеми на класификация би могло да се извърши на база на анализ полза-цена. Такъв анализ е разгледан от различни автори и се възприема в много страни. За България е сложно да се направи оценка на разходите за лечение на рак на белия дроб, поради труднодостъпната информация относно здравни пътеки и разходи за лекарства, които могат да достигнат значителни суми. От друга страна би следвало да се посочат приблизителни разходи за предприемане на ремонт на една сграда с активни мерки за намаляване на концентрацията на радон. По този начин да се оцени ползата, която се получава при превенцията на заболяемостта от рак на белия дроб за сметка на вложените средства за намаляване на облъчването от радон.

За да се предотврати облъчването на населението от радон и справяне с дългосрочните здравни последици от действието му, е необходимо да се идентифицират онези райони, които са най-застрашени от високите му нива. Изследванията на радон позволяват идентифицирането на зони, където концентрацията на радон (в средногодишни стойности) в значителен брой сгради се очаква да надвишава националното референтно ниво. Това позволява изследването на радон в жилища, да бъде насочено към тези области, където е най-вероятно да бъдат измерени високи концентрации на радон. Наред с това е полезна направата на оценка на регионално ниво, което ще осигури информация на местно равнище за облъчването от радон в жилища и свързания с това риск за здравето и ще спомогне за предприемането на оптимални мерки за редуциране на облъчването на регионално ниво.

Информацията от картите, които представят различните зони може да бъде полезен инструмент за изпълнение на националната политика за предпазване на населението от вредното въздействие на радон и да позволи вземането на решения за намаляване на въздействието на радон върху здравето на българското население.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bossew P., Tollefsen T., Gruber V., De Cort M. The European Radon Mapping Project. IXLatin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety - IRPA 2013 Rio de Janeiro, RJ, Brazil, April 15-19, (2013).
2. Borgoni, R, Francesco D, Bartolo, D, Tzavidis, N. Hierarchical modeling of indoor radon concentration: how much do geology and building factors matter? Journal of Environmental Radioactivity 138, 227-237, (2014)
3. Darby S et al. Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. Scand J Work Environ Health, 32 Suppl1:1-83, (2006)
4. Dubois G. (2005): An Overview of Radon Surveys in Europe. Report EUR 21892 EN, ISBN 92-79-01066-2. Download (acc. 22.1.2013):
<http://rem.jrc.ec.europa.eu/RemWeb/Publications.aspx>
5. European Commission. Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, Official Journal of the European Union, L 13/1 (2014).
6. Fennell, S.G., et al., Radon in dwellings: the Irish national radon survey, Radiological Protection Institute of Ireland, RPII-02/1 (2002) (available for download at www.rpii.ie/Site/Publications.aspx)
7. IAEA Safety Standards. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. General Safety Requirements Part 3 No. GSR Part 3 Vienna: International Atomic Energy Agency (2014).
8. ICRP. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2), (1993)
9. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4), (2007).
10. ICRP. The 2010 Recommendation of Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 37 (2–4), (2010).
11. ICRP. The 2014 Recommendation of Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43 (5), (2014).
12. Ivanova, K, Stojanovska, Z., Tsenova, M., Kunovska, B. Building-specific factors affecting indoor radon concentration variations in different regions in Bulgaria. Air Qual Atmos Health, Volume 10, Issue 9, pp 1151–1161, (2017).

13. Krewski, D., Lubin, J.H., Zielinski, J.M., et al., A combined analysis of North American casecontrol studies of residential radon and lung cancer. *J. Toxicol. Environ. Health Part A* 69, 533–597, (2006).
14. Lubin, J.H., Wang, Z.Y., Boice Jr., J.D., et al., Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. *Int. J. Cancer* 109 (1), 132–137, (2004).
15. Miles JCH and Appleton JD. Identification of localised areas of England where radon concentrations are most likely to have >5% probability of being above the Action Level, (2000).
16. Nero, A.V., Schwehr, M.B., Nazaroff, W.W., Revzan, K.L., Distribution of airborne radon-222 concentrations in U.S. homes, *Science* 234, 992–997, (1986).
17. Spencer J. E., Radon gas: A geologic hazard. *Fieldnotes*, 16(4), Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology, (1986),
18. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR, Report to the general Assembly with Annexes, UN Publication, New York, (2000).
19. UNSCEAR,. Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY, (2008).
20. World Health Organization. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective; Eds. Zeeb, H. and Shannoun, F. WHO Press, Geneva, (2009).
21. Yarmoshenko I, Malinovsky G, Vasilyev A, Onischenko A, Seleznev A. Geogenic and anthropogenic impacts on indoor radon in the Techa River region. *Sci Total Environ* 571: 1298-1303, (2016).

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

Анкетна карта за измерване на концентрацията на радон в жилищни сгради №/.....

I. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ <i>(Попълват се данни за местоположението на жилището и обитатели, информация за връзка. В т.8 „допълнителна информация“ се попълва информация за собственика на жилището, когато той не живее в него или друга информация, необходима за връзка. Във т. 9 „вид на земния материал“ се отбелязва преобладаващия материал около жилището или в населеното място).</i>	1. ОБЛАСТ	
	2. ОБЩИНА	
	3. НАСЕЛЕНО МЯСТО	
	4. АДРЕС	
	5. GPS координати	N ____ ° ____ ' ____ " E ____ ° ____ ' ____ "
	6. ИМЕ на обитателите	
	7. Телефон за връзка	
	8. Допълнителна информация	
	9. Вид на земния материал	☐ пясъчлива почва ☐ глинеста почва ☐ магмени скали(гранит,базалт) ☐ утаечни скали (варовик, доломит, пясъчник..) ☐ метаморфни скали(мрамор, гнайс...)

II. ХАРАКТЕРИСТИКА НА ЖИЛИЩЕТО <i>(В т.1 се отбелязва тип на сградата според предназначението и. В т. 2 се отбелязва етажността на сградата, а в т. 3 приблизителната година на строителство на сградата. В т.4 се отбелязва вида на основата на сградата и материала и. В т. 5 се отбелязва наличието на подземни етажи и вида им. В т.6 се отбелязва типа на асансьора ако има такъв. В т.7 се попълва информация за извършен ремонт на сградата / жилището за енергийна ефективност и тип на използвания материал.</i>	1. Предназначение и тип на сградата	Жилищни сгради за постоянно обитаване: ☐ къща (самостоятелно едно и двуетажно жилище) ☐ къща-близнак ☐ долепени жилищни сгради ☐ кооперация (блок) с един вход ☐ кооперация (блок) с много входове
	2. Етажност на сградата	☐ малоетажни (от 1 до 2 етажа) ☐ средноетажни сгради (3 до 5) ☐ многоетажни сгради (6 до 9) ☐ високи сгради - на повече от 10 ет.
	3. Година на стр.	
	4. Конструкция на основите <i>*при неясноти ползвай приложение А</i>	☐ Фундаментна плоча и стоманобетонкови ограждащи подземни стени (предимно високоетажни сгради) ☐ Ивични стоманобетонкови фундаменти и стоманобетонкови ограждащи подземни стени (предимно в къщи) ☐ Единични фундаменти, ивични основи и стоманобетонкови ограждащи подземни стени (стари къщи)

		☐ Бетонова подова настилка на подземния етаж ☐ Каменни основи и каменни ограждащи подземни стени ☐ Без вкопан фундамент (основа)
	5. Наличие на подземни етажи	☐ сгради с полуподземен етаж ☐ сгради с един подземен етаж ☐ сгради с повече от един подземни етажи
	6. Асансьори и подеминици	☐ Пътнически асансьори със затворена кабина ☐ Товарни асансьори със закрыта кабина ☐ Външни асансьори
	7. Извършен ремонт за енергийна ефективност-фасадна топло и паро изолация - материал	☐ експандиран полистирол - стиропор ☐ екструдирани полистирол - фибран ☐ каменна минерална вата ☐ трансперантна или вакуумна

III. ХАРАКТЕРИСТИКА НА СТРОИТЕЛНИЯ МАТЕРИАЛ И КОНСТРУКЦИЯТА <i>(В т.1 се отбелязва конструкцията на сградата, която определя основния вид на строителния материал, който е използван за строителството на сградата. В т.2 се записва вида на покритието на пода. В т.3 се отбелязва покритието на стените и тавана)</i>	1. Вид конструкция на сградата и основен строителен материал <i>*при неясноти ползвай приложение А</i>	☐ масивни конструкции ☐ дървени конструкции ☐ пластмасови конструкции ☐ монолитни (носещи стоманобетонери колони, греди, плочи) ☐ зидани сгради (носеща зидария от тухли) ☐ скелетно-гредова (греди, колони) ☐ едроплощен кофраж (ЕПК) ☐ пакетно повдигани плочи (ППП) ☐ пълзящ кофраж ☐ панелно строителство (ПЖС) ☐ сгради с комбинирани конструкции от други нови строителни материали
	2. Материал на пода	☐ паркет – дърво или ламинат, дюшеме ☐ плочки – фаянс, теракот, гранитогрес ☐ балатум ☐ без покритие ☐ утъпкана почва, глина
	3. Материал на стените и тавана	☐ Варо-циментова мазилка ☐ Гипсова шпакловка ☐ Гипсо-картон

		☐ Тапети ☐ Ламперия -дървена или пластмасова
--	--	---

IV. ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛАЦИЯ, ДОГРАМА, ВОДОИЗТОЧНИЦИ И <i>(В т.1 се попълва вида на използваното отопление в жилището. В т.2 се уточнява вида на вентилационната система. В т.3 се отбелязва вида на дограмата на прозорците. В т. 4 се описва водопроводната система, която се ползва в сградата.</i>	1. Вид на отоплителната система	☐ Централно градско отопление ☐ Локално отопление (водна пара) ☐ Отопление на газ ☐ Локално отопление на дизелово гориво ☐ Отопление на твърдо гориво (дърва, въглища, пелети и др.) ☐ Соларно отопление ☐ Без отопление ☐ Електрическо
	2. Вид на вентилационната система.	☐ Естествена вентилация (отдушници) ☐ Изкуствена вентилация ☐ Приточна (нагнетателна) вентилация ☐ Смукателна вентилация ☐ Общообменна вентилация (централна) ☐ Без вентилация
	3. Вид на дограмата на прозорците.	☐ Дървена дограма(еднокатна или двукатна) ☐ Дървена дограма (със стъклопакет) ☐ Пласмасова дограма (PVC) ☐ Метална дограма (алуминиева,стоманена...) ☐ Комбинирана дограма
	4. Водопроводна система	☐ Локален открит водоизточник(кладенец,езеро,язови р.) ☐ Локален закрит водоизточник (каптаж) ☐ Централно водоснабдяване ☐ Минерален водоизточник

V. ИНФОРМАЦИЯ ЗА ОБИТАТЕЛИТЕ НА ЖИЛИЩЕТО <i>(Тази информация е необходима за оценката на облъчването на обитателите.</i>	1. От коя година живеете в сградата.	
	2. Колко човека живеят в жилището.	 (брой) (от тях до 18 г. ; над 18 г.)
	3. Брой обитатели на приземен или подземен етаж.	 (брой)

<i>В т.1 се попълват от коя година обитателите живеят в сградата. В т.2 се уточнява броя на обитателите в жилището и броя на обитателите до 18 и над 18 години. т.3 се уточнява броя обитатели на подземен или приземен етаж ако има такива.</i> <i>В т.4 се уточнява времето на престой в жилището. В т. 5 се отбелязва дали се пуши и колко.</i>	4. Колко време се престоява в жилището	 (часове)
	5. Пушите ли?	☐ > 20 цигари ☐ < 20 цигари ☐ не

VI. ПРОБОВЗЕМАНЕ (В колона 1 се попълват номера на детектора, които е изписан на него и на металния плик. В к. 2 се отбелязва етажа на измерваното жилище. В к. 3 се отбелязва къде е поставен детектора в жилището. В к. 4 се записва дата, когато е разпечатан металния плик и детектора/ите е/са поставен/и в жилището, а в к. 5 - датата на събиране на детектора/ите).

Номер на детектора	Местоположение		Период на пробовземане	
	Място в сградата	Място в жилището	Начална дата	Крайна дата
1	2	3	4	5
	Етаж	☐ дневна ☐ спалня ☐ детска		

VII. ДОПЪЛНИТЕЛНА ИНФОРМАЦИЯ <i>Попълва се ако е необходимо.</i>	1. Забележка (при поставяне на дублиращ детектор се записва номера му) 2. При загубване на детектора се отбелязва -	 ☐ Загубен
---	---	---

VIII. ПОПЪЛНИЛ АНКЕТАТА	1.	ПОДПИС
--------------------------------	----	--------

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2

Целта на запитването е да се установи най-достъпният начин за възприемане на информацията за разпределението на концентрацията на радон при изготвянето на радонови карти. Тази информация може да бъде полезен инструмент за изпълнение на националната политика за предпазване на населението от вредното въздействие на радон и за информиране на населението. Вашите отговори ще бъдат полезни за подготовка при представянето на резултатите за концентрацията на радон по области и общини.

Моля отговорете на следните въпроси, като изберете един от предложените варианти:

1. Изберете варианта за разделяне на картата, който е по-информативен, по-достъпен и по-разбираем за вас. (*поставете X в квадратчето на избория от Вас вариант*)

☐ Вариант 1 Средно аритметична стойност на средногодишната концентрация на радон за общината. Пример: 200 Bq/m ³	☐ Вариант 2 Процентът на сградите (жилищата) в общината със стойности на измерената концентрация на радон над референтното ниво от 300 Bq/m ³ . Пример: 10 %
---	---

2. Каква допълнителна информация бихте искали да има в допълнително меню към общината. (*отбележете с X в квадратчето 3-4 от изброените опции*)

☐	Брой на измерените сгради (жилища) в общината.
☐	Средноаритметична стойност на средногодишната концентрация на радон за общината
☐	Стандартно отклонение на средната стойност
☐	Средногеометрична стойност със стандартно геометрично отклонение
☐	Процентът на сградите в общината със стойности над референтното ниво
☐	Минимално измерена стойност на концентрацията на радон в общината
☐	Максимално измерена стойност на концентрацията на радон в общината
☐	Друга информация

3. На колко категории райони, според Вас ще бъде удачно да бъде разделена картата. (отбележете с X в квадратчето срещу варианта, който според Вас е най-информативен).

☐	Три зони (висок, среден, нисък радонов риск)
☐	Четири категории (много висок, висок, среден, нисък радонов риск)
☐	Пет категории (много висок, висок, среден, нисък и пренебрежителен радонов риск)

Запитването е анонимно, но моля да запишете изпълняваната професия от Вас и образованието Ви.

Професия (област)

Образование:

БЛАГОДАРЯ ЗА ОТДЕЛЕНОТО ВРЕМЕ И ПОПЪЛВАНЕ НА ЗАПИТВАНЕТО!