НАЦИОНАЛЕН ЦЕНТЪР ПО РАДИОБИОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННА ЗАЩИТА КЪМ МИНИСТЕРСТВОТО НА ЗДРАВЕОПАЗВАНЕТО

ИЛИЯ КОСТАДИНОВ ТАСЕВ

АНАЛИЗ НА ОБЛЪЧВАНЕТО ОТ РАДОН В ДЕТСКИ ЯСЛИ И ДЕТСКИ ГРАДИНИ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за присъждане на научната

и образователна степен

„доктор”

Професионално направление 7.1. Медицина

Научна област 7. Здравеопазване и спорт

Научна специалност: Радиационна защита

Научен ръководител: проф. д-р Жана Джунова, дм

София, 2026

Научно жури:

Председател:

Проф. Кремена Иванова, дм

Членове:

1. Проф. д-р Пламен Димитров, дм

2. Проф. д-р Вили Захариев, дм

3. Проф. д-р Петко Салчев, дм

4. доц. д-р Нина Чобанова, дм

Официални рецензенти:

1. проф. Кремена Иванова

2.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Научния колегиум при НЦРРЗ на 16.09.2026 г.

Дисертационният труд съдържа 127 страници, и включва 30 фигури, 37 таблици и 3 приложения. Използвани са 237 литературни източника, от които 23 на кирилица и 214 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на ..... от .14,00 часа, в залата на НЦРРЗ, бул. „Свети Георги Софийски” № 23, сграда 7, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в отдел „на НЦРРЗ, бул. „Свети Георги Софийски” № 23, сграда 7, София.

СЪДЪРЖАНИЕ

Увод 4

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ 5

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ 6

Материали 6

Методи 7

Оценка на облъчването на децата и персонала 8

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ 10

Оценка на облъчването на децата и персонала 27

ИЗВОДИ 34

ПРИНОСИ 37

Увод

Широката общественост все повече се интересува от влиянието на околната среда върху начина на живот и най-вече върху здравето, замърсителите на жизнената среда и в тази връзка се провеждат множество изследвания за идентифициране на тези замърсители. По отношение на природните замърсители, специално внимание се отделя на естествената радиоактивност. Счита се, че съвременният човек престоява около 80% от времето си в сгради и около 20% на открито (UNSCEAR 2000, 2009; WHO, 2009).

В последните години, естественият радиоактивен газ радон е един от най-често изследваните замърсители в помещения. Облъчването от радон и неговите дъщерни продукти допринася за половината от годишната доза, получена от населението от всички естествени радиоактивни източници (UNSCEAR, 2000, 2009). Световната здравна организация (СЗО) го оценява като втори рисков фактор (след тютюнопушенето), причиняващ рак на белия дроб, а за хора които никога не са пушили е причинител номер едно на това заболяване (WHO, 2009). Смята се, че между 3% и 14% от всички ракови заболявания на белия дроб са свързани с облъчване от радон.

Радиологичният статус на въздуха в помещенията се определя основно от измерване на обемната активност на радон, която се влияе от редица фактори включително географско местоположение, характеристиките на строителството и навиците на обитателите и е специфична за всяка сграда.

Като образователни институции детските ясли и детските градини представляват специфичен тип сгради с обществено предназначение, които са и работни места. Същевременно те са с критична вътрешна среда, където пребивават деца и това прави още по-важно изследването на нивата на радон, а облъчването на децата и персонала в детски ясли и детски градини да бъде анализирано. Това е важна стъпка за изпълнението на задачите стоящи пред общественото здраве и би спомогнало за предотвратяване и намаляване на здравния риск чрез оптимизиране на процесите за предприемане на коригиращи мерки. Наред с това изследването на радон в затворени помещения може да бъде подходящ индикатор за замърсяването на атмосферния въздух в помещенията на детските градини.

Това е и основната цел, която този научен труд си поставя.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Цел

Целта на настоящото проучване е **анализ на облъчването от радон в детски градини и детски ясли, с цел прилагането му като индикатор за качеството на въздуха в помещенията и оценка на мерките за опазване на общественото здраве за предотвратяване и намаляване на здравния риск**.

Задачи

За постигането на поставената цел са формулирани следните задачи**:**

1. Анализ на резултатите от измерванията на обемната активност на радон в сградите на детски градини и детски ясли на територията на България.

2. Анализ на факторите, влияещи на обемната активност на радон в помещенията на детските градини и ясли. Прилагане на степенуван подход за класифициране на групите от фактори, които оказват влияние на обемната активност на радон.

а). географско/геоложко местоположение;

б). наличие на мазе в сградата и използването му;

в). етажност на сградата, вид на строителната система, година на строителство и наличие на асансьор;

г). отопление и вентилация;

д). водоснабдяване и канализация;

е). вид на дограма и проветряване;

ж). видове помещения и влиянието на обичайните дейности на потребителите на услугата и работещите

3. Оценка на облъчването на деца и персонал

4. Анализ на нормативната уредба в областта на общественото здраве, с цел прилагане на холистичен подход за превенция и защита на здравето.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Материали

Данни от проведени проучвания на обемната активност на радон (ОАР) в сгради на всички детски градини и ясли в 11 области (Силистра, Разград, Смолян, Монтана, Враца, Ловеч, Видин, Добрич, Перник, Пазарджик и Сливен), в периода 2015- 2023 г. Изследването обхваща 795 сгради.

Използвани са данни за географската и геоложката характеристика на района, климатът на всяка от областите, извлечени от публикации на НСИ и други общодостъпни източници.

Областите бяха групирани по региони: ***северен***, в който са включени областите Видин, Монтана, Враца, Ловеч, Разград, Силистра и Добрич и ***южен*** - областите Перник, Пазарджик, Смолян и Сливен. (фигура 1).



фиг. 1: Области, където са проведени проучвания

В таблица 1 е представен общият брой детектори за всяка от обследваните области и съответният брой сгради на детските заведения, в които са направени проучвания.

Таблица 1. Брой детектори и брой сгради по области.

ОБЛАСТ	Общ брой детектори	Брой сгради
ПАЗАРДЖИК	740	112
СЛИВЕН	518	79
ВИДИН	202	35
РАЗГРАД	234	90
ДОБРИЧ	1074	90
ПЕРНИК	276*	53
ЛОВЕЧ	202	45
ВРАЦА	764	93
МОНТАНА	667	64
СИЛИСТРА	193	66
СМОЛЯН	278	68

**обобщени данни от две проучвания*

Обект на измерване са помещенията на приземения и първия етаж и сутерена, ако той се използва. Предварително беше събрана информация от представителите на РЗИ (в съответната област), за броя и вида на помещенията във всяка сграда.

При поставянето на детекторите е попълвана подробна анкетна карта, чрез която се събира информация за вида на сградната конструкция, етажност, година на построяване, наличие на мазе, вид дограма, наличие на обща вентилационна система, вид на канализационната система и други.

Методи

За измерване на обемната активност на радон са използвани пасивни детектори (тип RSKS) за дългосрочно измерване на нивата на радон в сгради. Детекторът се състои от CR-39 чип, поставен в цилиндрични дифузионни камери, представляващи филтър за прах и дъщерните продукти на радон. Алфа-частиците попадат върху чипа и оставят следи (трекове) върху него. Материалът на детектора се подлага на химична обработка (ецване) за уголемяване на тековете. Така диаметърът им става няколкостотин пъти по-голям, което позволява наблюдаването им с оптичен електронен микроскоп. Броят на следите от алфа-частиците на единица площ, след изваждане на фона, е право пропорционален на обемната активност на радон в измерваното помещение.

Детекторите са поставяни в нормално обитаемата зона на помещенията на детските заведения, на чиста повърхност на височина между 1 m и 2 m от пода, т.е. „зоната за дишане“, на разстояние от всякакви източници на топлина (радиатор, комин, електрическо оборудване, телевизор, пряка слънчева светлина и др.) и от зони на движение, врати и прозорци, стени и източници на естествена вентилация, както и приблизително на 20 cm от стените за да се избегне влиянието на Торон – 220.

За обработката на детекторите и оценяването на нивата на радон е използвана RADOSYS система, която се състои от: баня за ецване, микроскоп за четене на тековете и софтуер за обработка на данните.

Пробовземането, обработката и изчислението на резултатите се извършват в съответствие с ISO 11665-4 (ISO, 2021). Обработката на детекторите се извършва в акредитирана лаборатория на Националния център по радиобиология и радиационна защита.

Статистическа обработка

Статистическият анализ за оценка на влиянието на фактори върху обемната активност на радон е извършен чрез използване на софтуерните продукти: JASP Statistics, v. 0.18.3.0 (MacDougall, J., 2024) и SPSS Statistics, v. 23 (Kirkpatrick et al. 2015).

За обработка на данните са приложени дескриптивен анализ, проверка на хипотезите, факторен анализ.

Оценка на облъчването на децата и персонала

Оценката на годишната ефективна доза за децата и персонала от инхалацията на радон е извършена въз основа на дозиметрични модели и дозови коефициенти съгласно Публикация 137 на Международната комисия за радиационна защита (ICRP, 2017). Конверсионните (преходни) дозови коефициенти се използват за преминаване от „обемна активност на радон" към „ефективна доза". МКРЗ препоръчва съответни конверсионни дозови коефициенти за радон от $6.7.10^{-6}$ $mSv/Bq.h.m^{-3}$ (ICRP, 2017) при измерване на обемна активност на радон, като се приеме фактор на равновесие, F = 0.4 (ICRP, 2017) в сгради. Факторът на равновесие (F) е мярка за степента на неравновесие между газа радон и неговите дъщерни продукти. Ако концентрациите на краткоживущите дъщерни продукти са равни на обемната активност на радон, F щеше да бъде 1 т.е. достигнато е равновесие. Вековно равновесие се постига, когато радонът не е успял да еманира от скалата, както и в пространство, където не може да го напусне, например порите на почвата, затворените пространства на пещери и други. На практика, в сгради обикновено за ^{222}Rn, F е 0.4, а при принудителна вентилация, например в мини, е 0.2.

Следната формула е приложена за оценка на ефективната доза H:

$$H = C_{Rn} \times t \times DC, \left[mSv / a \right]$$

където: C_{Rn} е средната обемна активност на радон в Bq/m^3; DC е дозовият коефициент на МКРЗ в nSv на h Bq m^{-3} и t представлява времето, прекарано от децата в сградата за една година в часове. ЕЕС се оценява чрез прилагане на равновесния фактор F, който обикновено е 0.4.

За оценка на облъчването на децата са приложени коефициенти по възраст, които в момента са в процес на обсъждане от Международната комисия за радиационна защита. Ефективната доза на единица облъчване с радон и дъщерни продукти е относително нечувствителна към възрастта (< 15%), тъй като конкурентните

ефекти са склонни да се компенсират взаимно. Например, децата имат по-нисък дихателен обем, така че това намалява приема и съответно дозата за дадена обемна активност. Това обаче частично се компенсира от по-малките маси на целевата тъкан, което от своя страна увеличава дозата. Децата имат по-къси дихателни пътища, които увеличават отлагането чрез дифузия, но това се компенсира отчасти от по-кратките времена на престой (т.е. по-високи дихателни честоти), които намаляват отлагането чрез дифузия (Marsh & Birchall, 2000; National Research Council 1999; UNSCEAR 2020).

Ефективната доза е оценена по два сценария – консервативен и реалистичен сценарий.

Времето на пребиваване на децата в детската градина или ясла през деня е разделено на четири в зависимост от видовете помещения, които са измерени. Допуснато е, че децата пребивават 2 часа в занималните, 2 часа в спалните, 2 часа общо в салоните за различни занимания (физкултурни, салон за хранене, салон за музика и други) и 2 часа на открито.

Продължителността на работния ден за персонала, установен от Кодекса на труда е 8 часа поради което изчисленията се базирани на този период. Въпреки че децата могат да бъдат взети от детската градина или ясла по-рано от 8 часа, това трудно може да бъде отразено в общите оценки, поради което за анализа се приемат като максимално пребиваване на ден с оглед превенция на здравния риск.

При консервативния сценарий се приема, че децата и служителите не отсъстват през годината и пребивават ежедневно по 8 часа или 250 работни дни в годината.

При реалистичния сценарий се допуска, че децата и служителите прекарват по-малко време в сградите през годината поради заболявания или по-продължителен отпуск, като съответно децата пребивават в сградите – 200 работни дни, а служителите – 225 работни дни.

Ефективните дози са оценени въз основа на средните стойности на обемната активност на радон за съответните помещения.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Резултатите от проведените измервания на обемната активност на радон (ОАР) в сгради на всички детски ясли и детски градини в областите Силистра, Разград, Смолян, Монтана, Враца, Ловеч, Видин, Добрич, Перник, Пазарджик и Сливен са представени в таблица 2.

Таблица 2: Дескриптивна статистика на резултатите на ОАР за помещения на детските заведения в 11 области на България

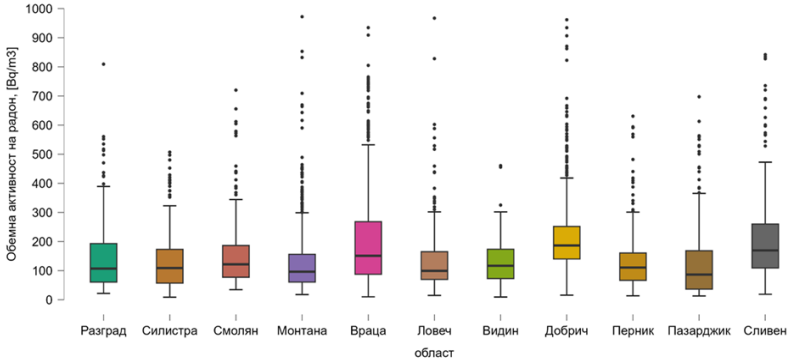
Брой измервания	4248
Медиана, Bq/m^3	138.8
Средноаритметично, Bq/m^3	**175.2**
Стандартно отклонение, Bq/m^3	153.0
Средногеометрично, Bq/m^3	128.8
Стандартно геометрично отклонение, Bq/m^3	2.2
Коефициент на вариация	0.87
Максимална стойност, Bq/m^3	1689.6

Оценената средноаритметична стойност на ОАР е 175.2 Bq/m^3, при проведени 4248 измервания на приземния етаж (стандартно отклонение 153.0 Bq/m^3), средната геометрична стойност на ОАР е 128,8 Bq/m^3, а медианата – 138,8 Bq/m^3. Максималната установена стойност, в детска градина от област Сливен е 1689.6 Bq/m^3. Броят на помещенията, в които стойностите на ОАР, надвишаващи референтното ниво от 300 Bq/m^3 е 570 или 13.4 %. В 167 помещения е измерена ОАР над 500 Bq/m^3 (4%).

Обобщеният анализ на резултатите за всички области показва, че най-висока стойност на ОАР е установена за област Сливен: 220.2 ± 203.3 Bq/m^3, следвана от област Враца: 214.7 ± 185 Bq/m^3 и област Добрич: 212.0 ±129.1 Bq/m^3 (фигура 2).

За област Сливен и Враца е характерен полупланински, планински и равнинен релеф с предимно умереноконтинентален климат. Вероятно различните видове скали, наред с навиците на обитателите (тенденция за съхраняване на топлината) биха могли да обяснят високите стойности на ОАР. Област Добрич показва определени

различия от тази матрица и вероятното обяснение се корени в пропускливостта на почвите в региона.



Фигура 2. Средноаритметичната ОАР, по области

В дисертационния труд са представени и резултатите по общини, а за по-добра визуализация е изготвена интерактивна карта (фигура 3), която позволява навлизане в дълбочина и визуализиране на данните, освен на ниво община, и на ниво населено място. Картата ще бъде достъпна в сайта www.radon.bg.



Фигура 3. Карта на България по общини по средно-аритметични стойности, налична на линк https://estilian.dev.uslugi.io/mapdata/

Анализирани са резултатите от проведените измервания на ОАР по региони: **северен** и **южен**, които са представени в таблица 3.

Таблица 3. Дескриптивна статистика на резултатите на ОАР по региони

	северен регион	**южен регион**
Брой измервания	2731	1517
Медиана, Bq/m^3	148.8	120.7
Средноаритметично, Bq/m^3	**184.9**	**157.6**
Стандартно отклонение, Bq/m^3	149.9	157.1
Средно геометрично, Bq/m^3	140.1	110.6
Стандартно геометрично отклонение	2.15	2.37
Коефициент на вариация	0.81	1.00
Максимална стойност, Bq/m^3	1439.0	1689.6

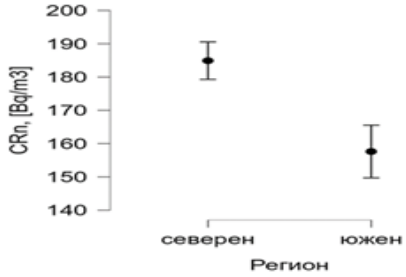
Анализ на факторите, влияещи на обемната активност на радон в помещенията на детските градини и ясли. Прилагане на степенуван подход за класифицирането на групите от фактори, които оказват влияние на обемната активност на радон.

В дисертационния труд са изследвани различни фактори, за да се установи зависимост, която да подпомогне предвижданото на ОАР в район и съответно в тип сгради. Това дава възможност за приоритизиране на дейностите за сгради с подобни характеристики, включително извършване на измервания, информиране на засегнати страни и предприемане на мерки за намаляване на радона. В допълнение ще позволи прилагането на степенуван подход за намаляване на облъчването на децата от радон.

Наред с основните фактори, влияещи на радоновите нива (географско местоположение, климат и геоложки характеристики на района), при анализа на данните са оценени по-детайлно и други фактори, които могат да бъдат обединени в следните основни групи: *1*свързани с източниците на Rn, *2*свързани с инфилтрацията и натрупването на Rn и *3*свързани с различни модели на обитаване и използване.

Географско/ геоложко местоположение

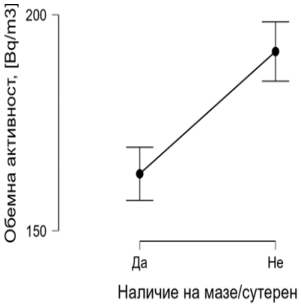
В настоящото изследване се установи статистически значимо различие между средноаритметичната стойност на ОАР в детските ясли и детски градини между северния и южния регион (фигура 4). Освен с различния геоложки състав на районите, различието може да се обясни и с отличие в климатичните характеристики и оттам в поведението на хората.

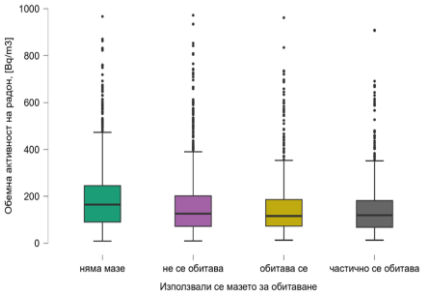


Фигура 4: Резултатите на ОАР за детските заведения по региони

Фактори свързани с източниците на Rn

Установено е намаление на ОАР в сградите с мазе (фигура 5). Изследвано е и влиянието върху стойностите на ОАР, когато мазето се обитава (фигура 6) . Резултатите показват по-ниски стойности на ОАР при частично обитаване.





Фигура 5: ОАР в сгради с наличие на мазе и без

Фигура 6: ОАР в зависимост от наличие на мазе и начина на използването му

Приложеният тест на Mann-Whitney показва статистически значимо различие между изследваните групи ($p<0.001$) и потвърждава влиянието на наличието на мазе в сградата върху стойността на ОАР. При разглеждане на този фактор по региони (таблица 4) се установява,

че тази статистически значима разлика се наблюдава само в северния регион, докато в южния не е установено различие, което вероятно се дължи на геоложкото различие на двата региона.

Таблица 4: Зависимост на ОАР по региони – наличие на мазе/сутерен

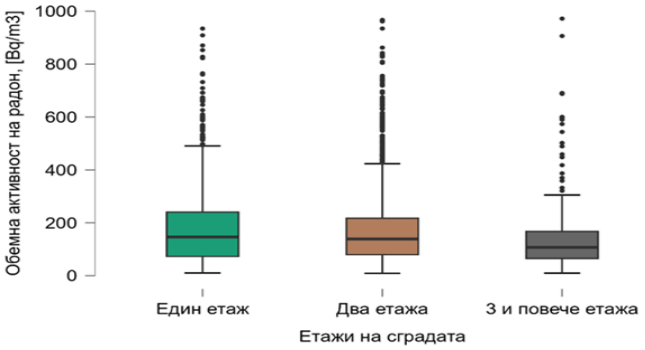
Регион	Наличие на мазе/сутерен	Брой	Средно аритметична ОАР, Bq/m^3	Стандартно отклонение, Bq/m^3	Коефициент на вариация
Северен	Да	1519	165.1	149.19	0.90
	Не	1212	209.8	146.98	0.70
Южен	Да	916	160.1	164.39	1.03
	Не	594	154.2	145.97	0.95

Фактори свързани с инфилтрацията и натрупването на Rn

Тези фактори се асоциират с различни параметри на сградата: етажност; строителна система; вид на подовата настилка; вида на материала на стени; година на строителство и наличие на асансьор.

Етажност на сградата

Резултатите показват най-ниски стойности на ОАР в многоетажните сгради (фигура 7), като е установена е статистически значима разлика между групите с теста на Kruskal-Wallis ($p< 0.001$).



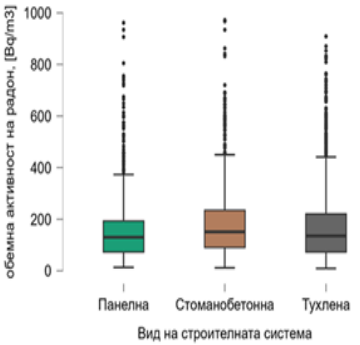
Фигура 7. Средна стойността на ОАР по групи в зависимост от етажите на сградата (черти в правоъгълника) с квантили на нива 0.25 и 0.75

За по-детайлно разглеждане на влиянието на етажността на сградата върху стойностите на радон в нея е направен анализ по региони. В северния регион зависимостта е подобна, както за общата

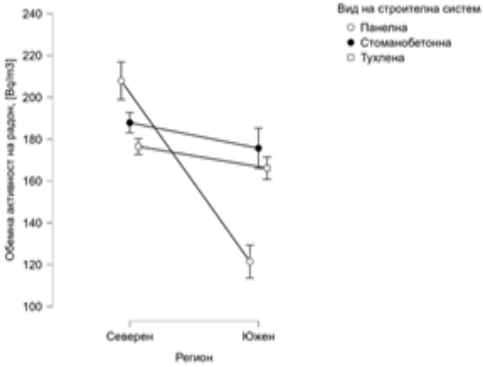
извадка от данни. В южния регион, получените данни показват най-висока стойност при многоетажните сгради, а най-ниска при едноетажните. Вероятното обяснение би могло да се корени в разлики от геолого/географски характер, които някои автори изтъкват като по-значими. Основно влияние за северния регион, а оттам за общите резултати оказва област Добрич, където пропускливостта на почвата е по-голяма и повечето сгради са на един етаж, а средната стойност на обемната активност на радон за областта е една от високите.

Строителна система

Най-висока концентрация на радон е измерена в сгради със стоманобетонна конструкция (185.4 Bq/m^3) – фигура 8.



Фигура 8. Средна стойност на ОАР по групи в зависимост от вид на строителната система (черти в правоъгълника) с квантили на нива 0.25 и 0.75



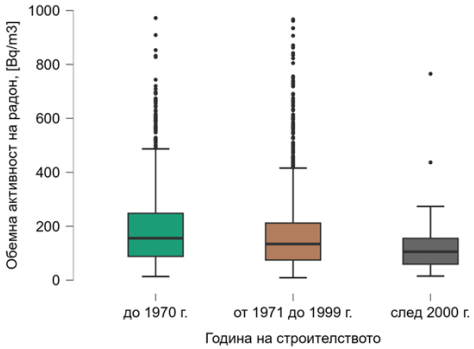
Фигура 9. Средна стойност на ОАР по групи в зависимост от вид на строителната система и по региони

Международните проучвания по темата са противоречиви. Подобни резултати са публикувани и от други автори (Dias et al. 2021; Coreţchi et al. 2023; Sabbarese et al. 2021). Обратно, Kropat et al. 2014 установяват най-ниска ОАР в сгради с бетонни основи. Проучване в Латвия (Reste et al. 2022) показва най-висока стойност на радон при тухлени сгради, а най-ниска при бетонни. Авторите отбелязват, че до голяма степен резултатите са условни, защото в много от сградите се използва комбинация от материали и много често информацията, събирана чрез анкетни данни може да е некоректна, особено при стари сгради. Bem et al. 2012 също не установяват значима разлика в нивата на Rn за сградите от тухли и тези от лек бетон, съдържащ пепел.

Данните по региони показват различие в резултата за панелните сгради (фигура 9). Вероятно обяснение може да се търси в инертните материали, от които са направени панелите в различните региони, както и различната геология в двата региона. Друго проучване у нас (Ivanova et al. 2017), показва че влиянието на факторите свързани със строителните технологии върху вариациите на стойностите на ОАР е по-значимо в градовете от вътрешността на страната, в сравнение с тези разположени на морския бряг.

Година на строителство

Направеният анализ на резултатите по година на строителство на сградите е свързан с хипотезата за проникването на радона от почвата през пукнатини в основата при по-старите такива (фигура 10). Вероятността по-старите сгради да бъдат с по-лоша или липсваща хидроизолация, както и наличието на фуги, процепи и по-ниска херметичност, която да доведе до по-ниски нива на радон, защото по-лесно се отвежда навън, не се потвърждават от получените резултати.



Фигура 10. Година на строителство на сградите

Най-високи стойности в сгради строени до 1970 г. като причината би могла да е или в лоша поддръжка или обратното – направен ремонт, без да се анализират стойностите на ОАР предварително. В достъпната литература някои автори считат „годината на построяване на сградата“ за подходящ предиктор за нивата на радон на закрито, наред с тектоничните единици, структурата на почвата, степента на урбанизация, и етажът на сградата (Kropat et al. 2014, Hauri et al. 2012; Loffredo et al. 2022; Papaefthymiou et al. 2007; Reste et al. 2022; Yao et al. 2024; Levesque et al. 1997).

Вид на подовата настилка

Що се касае до покритието на пода в детските градини и детските ясли, най-висока стойност на ОАР е установено при смесен тип подова настилка (206.6Bq/m^3), следвана от теракота (192.1Bq/m^3). Статистически значими разлики са установени между помещенията покрити с теракота и останалите настилки (паркет и балатум), което би могло да се обясни с наличие на естествени радионуклиди в материалите, които се използват за направата на теракота (Mon and Shwe, 2019, Chobanova et al. 2023).

Антропогенни фактори

Фактори като начин на ползване на помещенията и тяхното проветряване, които от своя страна са свързани с вида на дограмата, вентилационната система и начинът на отопление пряко повлияват стойностите на ОАР, което е доказано в редица проучвания (Al-Ghamdi et al. 2011; Chang et al. 2011; Bochicchio et al. 2014; Bossew et al. 2014; Branco et al. 2016; Zhukovsky et al. 2018; Müllerová et al. 2019; Ptiček Siročić et al. 2020; Davis et al. 2020; Csordás et al. 2021; Reste et al. 2022; Coreţchi et al. 2023; Kashkinbayev et al. 2023; Ivanova et al. 2023).

Вид помещения и използването им

Анализирана е ОАР в пет вида помещения в детските ясли и детските градини: занимални; спални; салони; административни; помощни помещения (таблица 5). Разпределението е свързано с предназначението и ползването на помещенията, респективно и с престоя на децата, преподавателският и помощният персонал в тях (фигура 11).



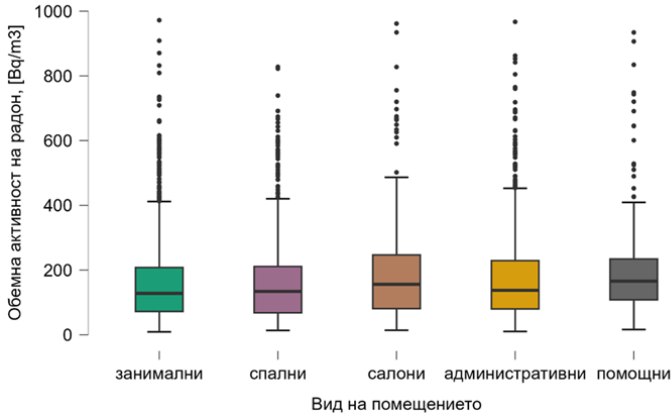
Фигура 11. Престои на децата в детската градина и ясла по занимания в различни видове помещения

Този анализ ще позволи да се определи дозата на облъчване на всяка група.

Таблица 5. Дескриптивна статистика на ОАР по показател вид помещения

	занимални	спални	салони	административни помещения	Помощни помещения
Брой измервания	1488	700	259	1276	525
Медиана, Bq/m^3	128.4	134.3	156.4	137.9	165.8
Средно аритметична ОАР, Bq/m^3	164.5	171.8	204.3	178.8	186.7
Средно стандартно отклонение, Bq/m^3	147.3	153.3	184.1	160.3	129.1
Максимална стойност, Bq/m^3	1638.6	1303.1	1063.9	1689.6	1081.7

В дисертационния труд е установена статистически значима разлика в стойностите на радон в различните помещения в детските заведения, като най-висока средна обемна активност на радон е установена в салоните (204.3 Bq/m^3), следвани от помощните помещения (186.7 Bq/m^3), а най-ниска (164.5 Bq/m^3) в занималните – фигура 12.



Фигура 12. Разпредеелние на обемната активност на радон по видове помещения

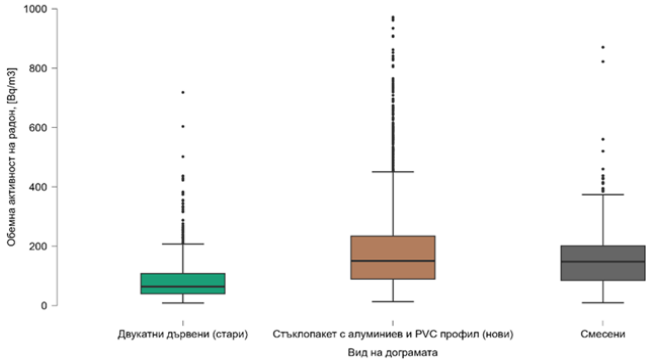
Обяснението на тези резултати е свързано с начина на ползване на помещенията. В занималнята децата прекарват преобладаващата част от времето, съответно тя се проветрява често от салоните.

Branco et al. 2016, в свое проучване, проведено в пет детски ясли (деца под 3 години) и дванадесет детски градини (за деца в

предучилищна възраст на 3–5 години), както и в осем основни училища (деца на възраст 6–10 години) в Северна Португалия, установяват по-високи стойности на радон в детските ясли в сравнение с градините и училищата. Авторите считат, че обяснението е в различните модели на активност в помещенията, които са силно зависими от етапа на развитие на децата: ранна детска възраст, предучилищна или училищна възраст. Проучване, проведено в български училища в четири области също демонстрира различие в стойностите на ОАР в съответствие с начина на използване на помещенията (Ivanova et al. 2023). Направено е допускане, че начинът на ползване на помещенията е свързан с наличието на вентилационна система и навиците за проветряване на помещенията.

Вид дограма

На фигура 13 са представени резултатите за средните стойности на ОАР по вид дограма. Видно е, че най-високи средни концентрации на радон са установени в детските ясли и детските градини с дограма със стъклопакет, който на практика „запечатва“ помещението от гледна точна на запазване на топлината.

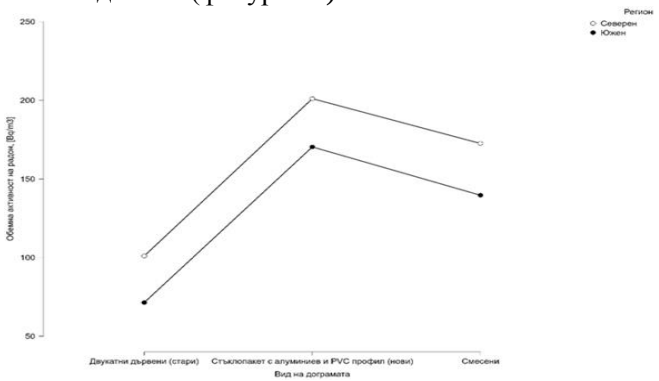


Фигура 13. Разпределение на средните стойности на ОАР по вид на дограмата

Reste et al. 2023 регистрират по-високи концентрации на радон в добре изолирани помещения с пластмасова дограма и по-слаб въздухообмен, най-вече в училища (59 Bq/m^3) и детски градини (48 Bq/m^3) като в индустриалните предприятия са измерени значително, по-ниски нива на радон (28 Bq/m^3), вероятно поради строгите изисквания за качество на въздуха и подходяща вентилация, което е значимо доказателство, че основната причина за повишените

стойности на обемната активност в детските градини и училищата е неадекватният въздухообмен.

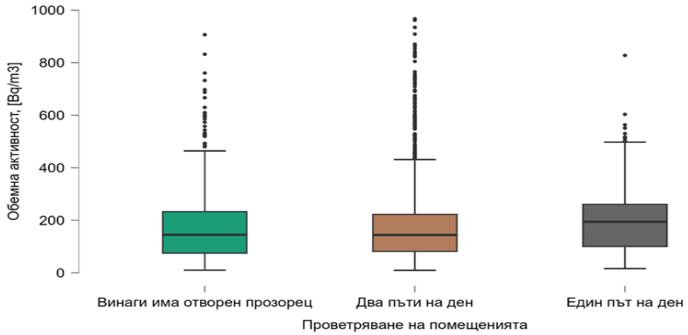
Резултатите за видовете дограма по региони са в унисон с останалите изследвания (фигура 14).



Фигура 14. Средни стойности на обемната активност по вид на дограмата, по региони

Проветряване и наличие на вентилационната система

Навиците на обитателите за проветряване и вентилация пряко повлияват концентрацията на радон в помещенията. Най-висока средноаритметична стойност на ОАР е установена в помещенията, които се проветряват само един път на ден (206 Bq/m^3) – фигура 15.



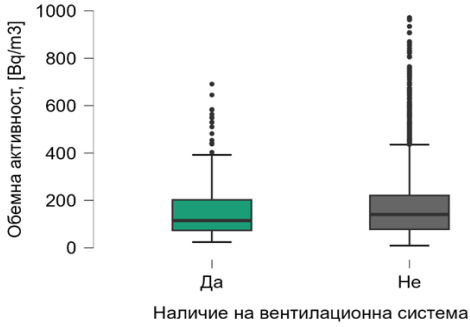
Фигура 15. Разперделение на обемната активност на радон по режим на проветряване на помещенията

Наблюдава се неочакван резултат при детските заведения, които декларират, че винаги има отворен прозорец - 182.7 Bq/m^3, който е по-висок за помещения проветрявани два пъти дневно (179.9 Bq/m^3). Едно от възможните обяснения е неточното отразяване на реалната

честота на проветряване в анкетните карти. Съществуват нормативни изисквания за помещенията в детските ясли и детските градини, съгласно които се изисква редовно проветряване за осигуряване на постоянен приток на чист въздух (Наредба № 3 от 2007 г. за здравните изисквания към детските градини). Bossew et al. 2014 подчертават значението на антропогенни фактори (основно изолация спрямо земята, плътност на прозорците) и поведенчески навици на обитателите (честота на отваряне на прозорци) за степента, до която геогенният Rn може да допринесе за вътрешната концентрация на Rn. Някои автори отбелязват, че проветряването е по-трудно през студения сезон (есен и зима). Температурните разлики навън и вътре в сградата създават градиент на налягането, който се нарича „ефект на комина“ и индуцира вътрешен поток от богат на радон въздух от околната почва към вътрешността (Chang et al. 2011).

Като цяло ефектът на проветряването (естествено или чрез вентилационна система) за намаляване на нивата на радон в помещенията е подкрепен от резултатите от изследванията на много автори (Clement et al. 2010; Clouvas et al. 2011; Ivanova et al. 2017; Müllerová et al. 2019; Davis et al. 2020; Ptiček Siročić et al. 2020; Csordás et al. 2021; Reste et al. 2022; Corețchi et al. 2023; Chobanova et al. 2023; Ivanova et al. 2023; Kashkinbayev et al. 2023).

Анализирана е разликата в средноаритметичните ОАР между сгради с и без вентилационна система (фигура 16).



Фигура 16. Влиянието върху средноаритметичните ОАР в сгради без и с вентилационна система

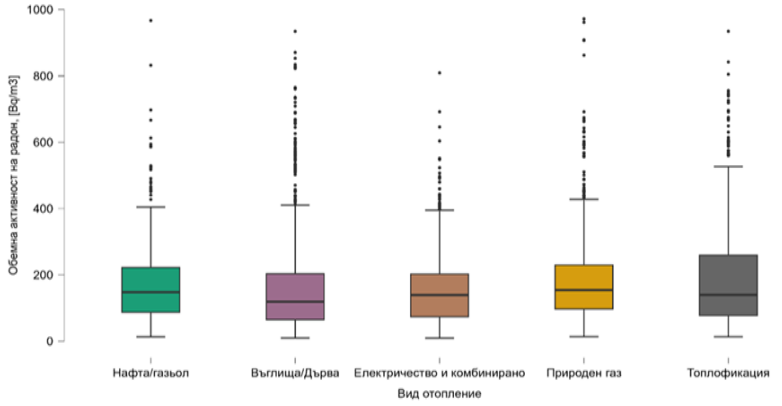
Наблюдава се статистически значима разлика между двете групи: средноаритметичната стойност на ОАР е 158.9 Bq/m3 при наличие на вентилационна система и 175.4 Bq/m3 при липса на такава. Установява се и достоверна разлика между нивата на радон в двата

региона, при сградите на детските заведения, които нямат изградени системи за вентилация ($p < 0.001$). Едно от възможните обяснения е свързано с различията в климатичните условия, напр. по-ниските температури в северния регион могат да ограничават проветряването на помещенията.

Влияние оказва и така наречения от Chang et al. 2011 „ефект на комина“ описан по-горе, който при по-студено време е по-отчетлив. Clouvas et al. 2011 отбелязват, че вариациите на ОАР в сградите зависят главно от промените в условията на вентилация и обмена на въздух между помещенията, свързани с метеорологичните условия (вятър, барометрично налягане, температура) и от човешки дейности, като отваряне на прозорците. Намаляването на ОАР по време на присъствените часове би могло да се постигне чрез проста промяна на навиците, като отваряне на прозорците рано сутрин (Chang et al. 2011).

Начин на отопление

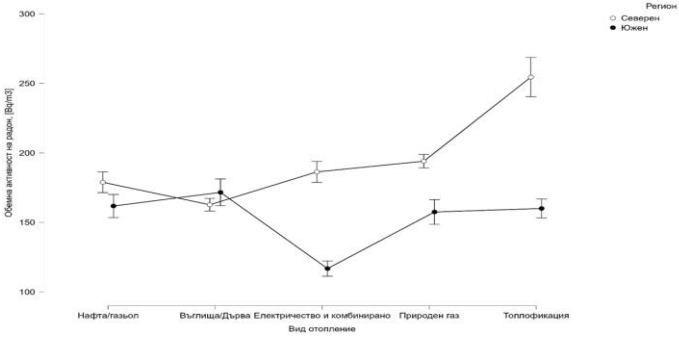
Начинът на отопление също би могъл да повлияе съществено на средната ОАР. Влиянието може да се разглежда в две направления: първо като потенциален източник на радон в зависимост от използвания метод за отопление и второ като фактор улесняващ постъпването на радона от почвата чрез отвори около тръбите и по тях. Изследванията показват, че най-висока стойност на ОАР е в сградите, които се отоплявт с централизирана система – топлофикация (200.5 Bq/m^3), фигура 17.



Фигура 17. Разпределение на средната обемна активност по видове използвано отопление

Обяснението би могло да бъде в наличието на неуплътнени отвори около тръбите на парното, които могат да улеснят достъпа на радона от почвата. На второ място е природният газ, който по принцип може да бъде източник на радон. Най-ниска стойност на ОАР е установена в детските ясли и детските градини, които се отоплят с електричество или комбинирано (използване например на климатици и печки на дърва и въглища) - 163.6 Bq/m^3 . Установена е статистически значима разлика между разглежданите групи (KW, $p < 0.001$).

Анализът по региони (фигура 18), показва статически значима разлика между сградите отоплявани от топлофикация (най-висока стойност - 254.5 Bq/m^3) и всички останали източници на отопление ($p < 0.001$) в северния регион. На второ място се нареждат сгради отоплявани на природен газ (194.0 Bq/m^3). В южния регион, най-висока стойност на ОАР е установена в сгради отоплявани с въглища/дърва (171.6 Bq/m^3), следвани от тези на нафта/газьол (161.8 Bq/m^3) и топлофикация – с много близка стойност (160.0 Bq/m^3).



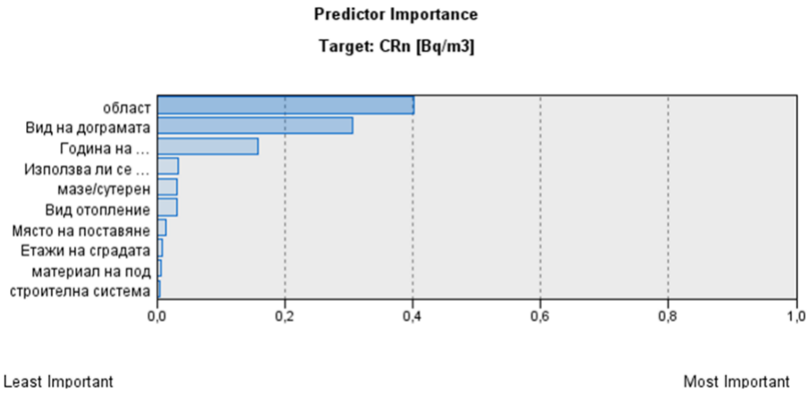
Фигура 18. Разпределение на средната обемна активност по видове използвано отопление по региони

Не е установена статистически значима разлика при различните източници на отопление в южния регион. По-високите стойности, установени за северния регион при сравнение на детските ясли и детските, градини отоплявани с електричество, спрямо южния регион, биха могли да са свързани с допълнително влияние на навиците на обитателите. Установената статистически значима разлика и при използването на природен газ в двата региона ($p < 0.05$) при 95 % доверителен интервал, като отново стойностите на север са по-високи, е допълнителен резултат в подкрепа на тази хипотеза. Chen J. 2021 приема, че материалът, използван за отопление, е малко вероятно да бъде източник на радон в домовете. Отоплителната система обаче

вероятно повлиява нивото на радон чрез въздействие върху циркулацията на въздуха в помещенията.

Множествен линеен регресионен анализ/Автоматичното линейно моделиране

С цел да се установи линейната зависимост между обемната активност на радон в сградите на детските заведения и разглежданите фактори беше приложен множествен линеен регресионен анализ. Автоматичното линейно моделиране е незаменим инструмент за скрининг, особено когато се разглеждат множество фактори (предиктори). По този начин се разкрива влиянието на независими фактори, чрез които могат да се правят прогнози за обемната активност в сградите или допринасят за обяснение на изменението ѝ. Анализирани са фактори като: [1]географско местоположение (област); [2]етажи на сградата; [3]година на строителството; [4]наличие и използване на мазето; [5]строителна система; [6]използвани материали за покритие на пода; [7]вид на дограмата; [8]вид отопление; [9]канализационна система, влияят върху измерената обемна активност на радон в помещенията на детските градини и детските ясли в настоящото проучване (фигура 19).



Фигура 19. Множествен линеен регресионен анализ, зависимост между CRn и различни групи фактори

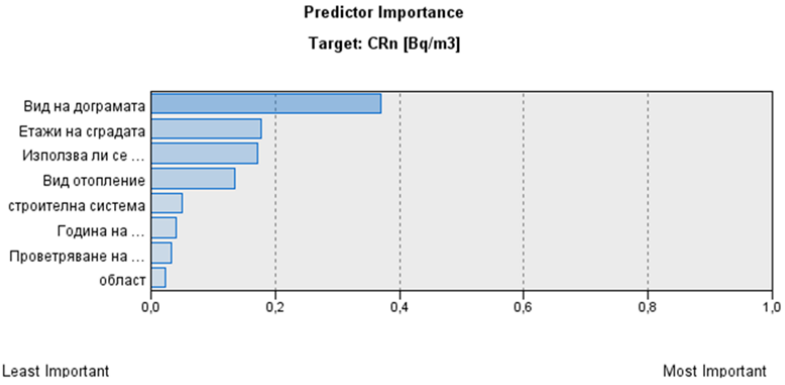
Моделът обяснява 14.3% от вариацията на ОАР. Анализът показва най-голямо влияние на фактора „област“ върху обемната активност на радон в сгради на детските ясли и детските градини. Този резултат е очакван с оглед на връзката между географското положение и геоложките характеристики на района и на почвата, която някои автори изтъкват като най-значима за измерените концентрации на

радон в помещенията (Keskikuru et al. 2001; Schubert et al. 2018; Ratiko et al. 2019; Porstendörfer et al. 1994; Al-Ghamdi et al. 2011). Областта е свързана с геологията на района, но и с още един допълнителен фактор – климатът, който освен директно въздействие, свързано с метеорологичните условия (вятър, барометрично налягане, температура) и оттам обмена на въздух между помещенията, може непосредствено да повлияе на антропогенни фактори като начин на ползване на помещенията и проветряване.

Вторият по значимост фактор е „вид на дограмата“, който може да бъде свързан с влиянието на антропогенните фактори, описани по-горе.

На трето място по тежест е факторът „година на строителство“, който се обуславя от възможността да се компрометират подовите покрития по този начин се създава предпоставка за по-лесно постъпване на радона в помещенията. От друга страна, той показва влиянието на различните нормативни изисквания и промените в строителните технологии.

Множественият линеен регресионен анализ по региони показва някои специфики. В Северния регион, от определящо значение е видът на дограмата (т.е. степента на въздухоплътност на сградите), етажността на сградата и наличието и използването на мазе (фигура 20).

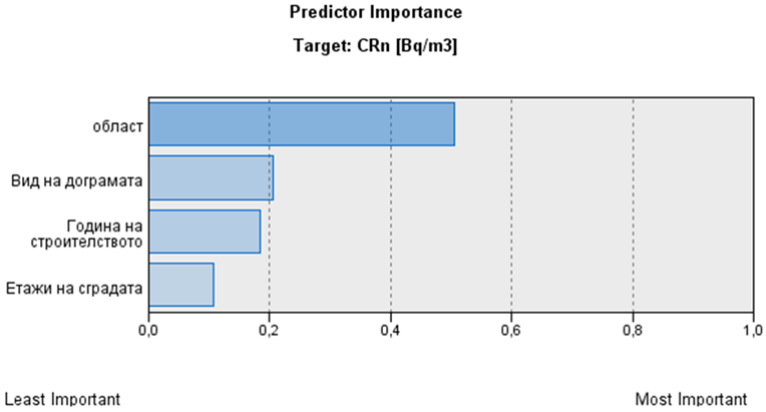


Фигура 20. Множествен линеен регресионен анализ, зависимост между CRn и различни групи фактори за северен регион

Видът отопление също има определена прогнозна стойност. Изненадващо, географското местоположение, практически не е фактор за установените разлики в средноаритметичната ОАР (Bq/m^3),

което може да се обясни със сравнително еднаквите геоложки фактори. Областите в този регион са разположени предимно в дунавската равнина, която обуславя идентичен климат и сравнително подобни геолого-географски характеристики, което е възможното обяснение, факторът „област“ да не оказва съществено влияние за прогнозиране на очаквани по-високи стойности на ОАР в сгради. Видът на дограмата практически е свързан с проведени в последните години ремонти и приложени мерки за енергийна ефективност. Доколкото преобладаващата част от тези проекти са изпълнени без да се вземе предвид влиянието върху задържането на радона в помещенията, може да се направи обоснована прогноза, че вероятно там ще бъдат измерени относително високи концентрации. Използването на сутерена и етажността на сградата само подкрепят и разширяват предиктивната стойност на фактора дограма, тъй като всички са свързани с възможностите за обмен на въздуха.

За регион Южен, анализът показа преобладаващо значение на географското разположение (област), вида на дограмата и годината на строителството. Етажността на сградата също има, макар и минимален ефект (фигура 21).



Фигура 21. Множествен линеен регресионен анализ, зависимост между CRn и различни групи фактори за Южен регион

Едно от обясненията за влиянието на географското разположение върху ОАР в регион Южен е, че в тези области релефа е разнообразен, а климатът има определени специфики, свързани с различни климатообразуващи фактори, включително средиземноморското влияние.

Различията, които се наблюдават във влиянието на факторите по региони, показват, че анализът и изграждането на модел за прогнозиране на обемната активност на радон в детските заведения е обвързан с района. Следователно анализите и моделите за прогнозиране, предназначени за прилагане на степенуван подход при проучванията, следва да се извършват на базата на по-малки териториални единици, например области.

Събиране на информация и проверка за достоверност

Анализът на влиянието на различните фактори върху ОАР е извършен на база информацията събрана, чрез Анкетна карта (Приложение № 1), която се попълва при провеждане на измерването. От отговорите, както и от коректното попълване зависят и изводите, затова е важно въпросите да бъдат зададени ясно, както и да дават възможност когато отговорът не е известен да не бъде произволно избран. Направен е анализ на въпросите, които се задават в анкетната карта и е предложена оптимизация на някои от тях, за по-лесен отговор и впоследствие обработка. Например за въпрос 10 „През коя година е построена сградата?“, е предложено да се обобщи „през кой период е построена сградата?“ като са предоставени 3 опции. По въпросите, касаещи вътрешния интериор (за вида на стените, подовите настилки и прозорците) е предложено да се отнасят до конкретното помещение, а не за цялата сграда, за да бъде по-коректен анализа.

Въпросите, които се отнасят до вентилацията на сградата са разширени, но е предложен вариант да не се отговаря, ако не е известен отговорът, за да се избегне анализ на некоректни отговори. Разгледани са всички въпроси и е направен нов вариант на анкетната карта, представен в Приложение № 3. Предложено е изменение на частта на допълнението към анкетната карта, с което се събира информация за приложените коригиращи мерки и се прави проверка на тяхната ефективност. Изменението касае подробна информация за вентилационната система, но при условие, че анкетираният е запознат с отговора.

Оценка на облъчването на децата и персонала

В дисертационния труд е направена оценка на годишните ефективни дози на децата и персонала като са използвани два сценария (консервативен и реалистичен) и два вида дозови коефициенти (по публикация 137 МКРЗ и по нова публикация на МКРЗ, в процес на обсъждане).

Консервативен сценарий

При консервативния сценарий се вземат предвид: 250 работни дни в годината; 8 работни часа дневно, разпределени като 6 часа пребиваване в помещенията и 2 часа на открито.

Получените резултати, при консервативна оценка, показват **средно 1.76 mSv годишна ефективна доза за децата**, посещаващи детски ясли и детски градини в България. За северния регион, оценената годишна ефективна доза е 1.86 mSv годишно, а за южния регион, съответно 1.58 mSv годишно. Най-ниски дози са оценени в занималните (0.55 mSv годишно), което е доказателство за по-честото проветряване на тези помещения. Най-висока е дозата за салоните (0.68mSv годишно), който се ползват значително по-рядко.

Таблица 6. Оценка на облъчването на децата и персонала - консервативния сценарий

помещения	*Оценена доза съгласно публ. 137 на МКРЗ, [mSv/y]*				*Оценена доза съгласно публ. 138 на МКРЗ, , [mSv/y]*	
	Да база на средна стойност на ОАР		*На база на максимална стойност на ОАР*		*Да база на средна ст-ст на ОАР*	*На база на максимална ст-ст на ОАР*
	деца	*работещи*	*деца*	*работещи*	*деца*	*деца*
занимални	0.55	0.55	5.49	5.49	0.68	6.80
спални	0.57		4.37		0.71	5.41
салони	0.68	0.68	3.56	3.56	0.85	4.42
административни		0.60		5.66		
северен регион	*1.86*	*1.86*			*2.30*	
южен регион	*1.58*	*1.58*			*1.96*	
Общо за детските градини	**1.76**	**1.76**			**2.18**	

При използване на новите коефициенти предлагани от Международната комисия за радиационна защита, получените резултати са както следва:

• за детски градини и детски ясли в България - средно 2.18 mSv годишно

• за северния регион - 2.30 mSv годишно

• за южния регион – 1.96 mSv годишно

Зависимостите при оценката на дозите според помещенията се запазват и са както следва: занималните (0.68 mSv годишно); спални (0.71 mSv годишно) и салони (0.85 mSv годишно).

Реалистичен сценарий

При реалистичния сценарий се приема, че децата отсъстват поради боледуване средно 1 месец и още 1 месец – ваканция и отпуски на родителите. Персоналът работещ в детските ясли и детските градини също ползва законоустановен отпуск. При реалистичния вариант работните дни са, както следва: 200 работни дни за децата и 225 работни дни на персонала. Данните за оценката на облъчването при този сценарий са представени на таблица 7.

Таблица 7: Оценка на облъчването на децата и персонала - реалистичен сценарий

помещения	***Оценена доза съгласно публ. 137 на МКРЗ,***				***Оценена доза съгласно публ. 138***	
	Да база на средна стойност на ОАР		***На база на максимална стойност на ОАР***		***Да база на средна ст-ст на ОАР***	***На база на максимална ст-ст на ОАР***
	деца	***работещи***	***деца***	***работещи***	***деца***	***деца***
занимални	0.41	0.50	4.39	4.94	0.55	5.44
спални	0.46		3.49		0.57	4.33
салони	0.55	0.62	2.85	3.21	0.68	3.57
административни		0.54		5.09		
северен регион	*1.49*	*1.67*			*1.84*	
южен регион	*1.27*	*1.43*			*1.57*	
Общо за детските градини	**1.41**	**1.58**			**1.74**	

Резултатите от оценката при реалистичния сценарий, при който се прецизира престоя в помещенията, показат следните стойности на средните годишни ефективни дози: **1.41 mSv годишно** за децата, посещаващи детски ясли и детски градини в България; за северния регион, оценената доза е 1.49 mSv годишно, а за южния регион, 1.27 mSv годишно. Тенденцията за реализиране на най-високи дози в салоните се запазва (0.55 mSv годишно). При използване на новите коефициенти предлагани от Международната комисия за радиационна защита получените резултати са както следва:

• за детски градини и детски ясли в България - средно 1.74 mSv годишно

• за северния регион - 1.84 mSv годишно

• за южния регион – 1.57 mSv годишно

Редица автори приемат, че децата са изложени на повишен риск поради намалената устойчивост към радиация и факта, че прекарват

повече време на закрито в детските заведения и в дома (Grigg 2004; Gordon et al. 2018). Рискът от развитие на рак на белия дроб може да бъде до три пъти по-висок, отколкото при възрастни, в резултат на облъчване от радон с една и съща концентрация. Това се обяснява с морфометричните разлики между белите дробове на децата и на възрастните, и по-високата (с около 50%) средна дихателна честота при децата (Blake et al. 2020; Coretchi et al. 2023). Продължителното облъчване с радон в сгради със стойности над 100 Bq/m3 може да представлява сериозен проблем за здравето, особено за деца (Moon & Yoo 2021; Mema et al. 2023).

Детските ясли и детските градини, освен обекти с обществено предназначение са и работно място за учители и възпитатели. При *консервативния сценарий*, ефективните дози от облъчване с радон за персонала са: средно 1.76 mSv годишно (за България); за северния регион - 1.86 mSv годишно, а за южния регион – 1.58 mSv годишно. Годишните ефективни дози от облъчване с радон са съизмерими с тези на децата. При *реалистичния сценарий*, ефективните дози от облъчване с радон за персонала са малко по-високи: средно 1.58 mSv годишно (за България); за северния регион - 1.67 mSv годишно, а за южния регион – 1.43 mSv годишно. Обяснението е, че персоналът обитава административни и помощни помещения, които или са разположени на приземния етаж или не се аерират достатъчно. Средната стойност за административните помещения е 0.54 mSv годишно, а за помощните - 1.65 mSv годишно.

В достъпната литература са публикувани различни оценки за средно годишната ефективна доза за децата и персонала, пребиваващи в детски ясли и детски градини и училища. Chang et al. 2011 оценяват ефективните дози за ученици 0.06–1.50 mSv (0.42 mSv - средно) и за учители 0.10–2.15 mSv (средно 0.53 mSv). Авторите посочват средната годишна ефективна доза, дължаща от инхалиране на радон в Корея оценена на база епидемиологично проучване на 1.35 mSv. От посочените проучвания се вижда, че годишните ефективни дози за деца са по-ниски от оценените за България. Една от причините може да бъде свързана с използваните до този момент коефициенти, публикувани от UNSCEAR. Подобно сравнение е направено от Zunic et al. 2013, които оценяват годишната ефективна доза, която се очаква да бъде получена от ученици и учители в сръбските училища, използвайки UNSCEAR и ICRP коефициенти на преобразуване на дозата и установяват, че при новите коефициенти дозите се повишават около два пъти (таблица 8).

Таблица 8. Годишната ефективна доза за ученици и учители в сръбските училища, UNSCEAR и ICRP коефициенти на преобразуване на дозата (Zunic et al. 2013)

UNSCEAR			
	Минимална (mSv/y)	Средна (mSv/y)	Максимална (mSv/y)
деца	0.06	0.32	1.42
учители	0.08	0.47	2.12
ICRP			
деца	0.08	0.42	1.90
учители	0.11	0.63	2.83

Направеното сравнение показва, че след публикуване на коефициентите на ICRP, оценените дози се повишават около два пъти.

Проучвания, публикувани през последните години, показват по-близки стойности с оценените в настоящото проучване. Madureira et al. 2016 посочват средната годишна ефективна доза за деца в училищна възраст в Португалия – 1.25 mSv годишно (вариращa между 0.58 и 3.07 mSv годишно).

Műllerová et al. 2018 оценяват годишните ефективни дози от вдишване на радон в детски градини в страните от Вишеградската тройка от **0.5 до 13.3 mSv за деца** и от **0.3 до 8.3 mSv за персонала**.

Независимо, че оценените годишни ефективни дози от облъчване с радон за децата и персонала от детските ясли и детските градини са в съответствие с дозите, получени от други автори, те са по-високи от нормативно установените за население от 1 mSv годишно. Дозите са правопропорционални на обемната активност на радон в помещенията, където пребивават децата и работещите в детските заведения, затова следва да се предприемат мерки за намаляването на стойностите под референтните нива.

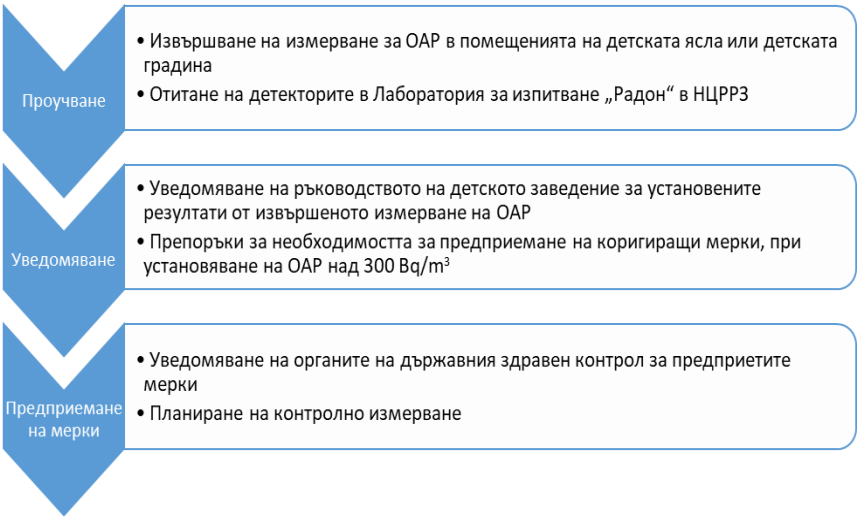
Анализ на нормативната уредба в областта на общественото здраве, с цел прилагане на холистичен подход за превенция и защита на здравето

От направения преглед на действащите нормативни актове се установи, че на национално ниво са регламентирани изискванията, като е определено референтно ниво от 300 Bq/m3 за средногодишната обемна активност на радон във въздуха на жилищни и обществени сгради, като са въведени изискванията на Директива

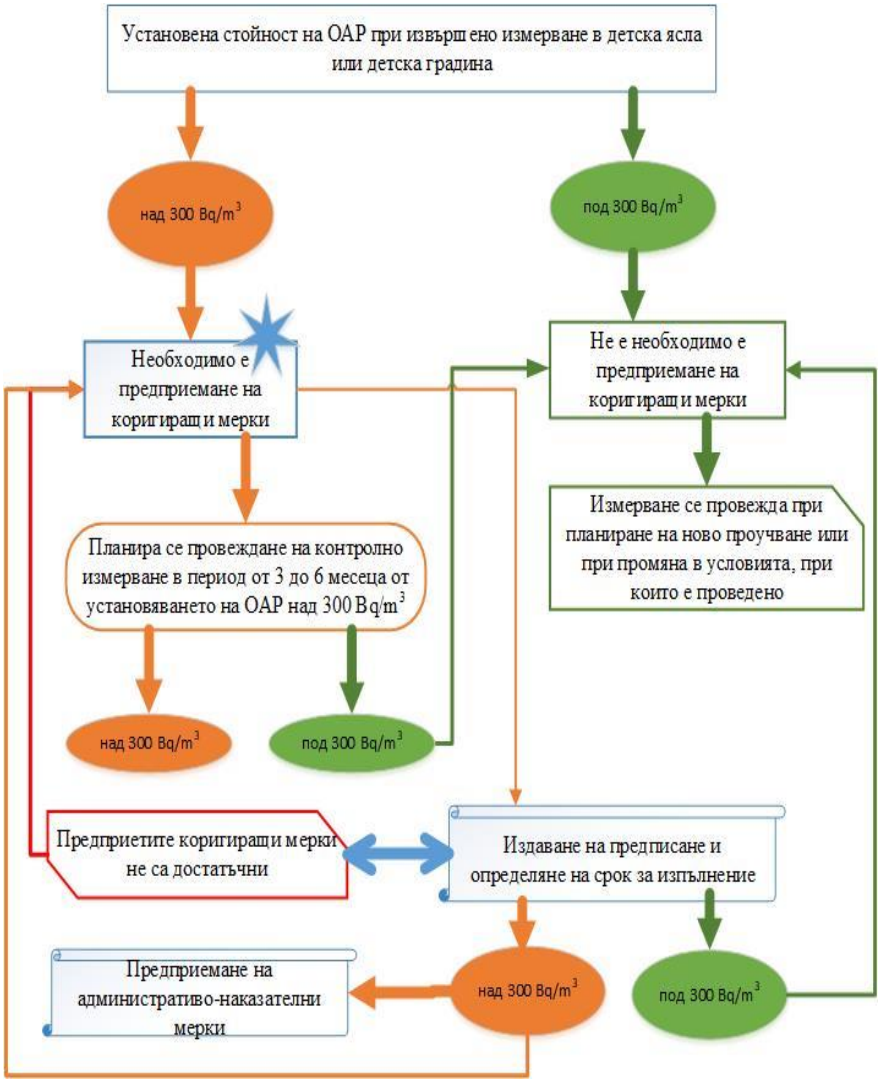
2013/59/ЕВРАТОМ на Съвета за от 5 декември 2013 година за определяне на основни норми на безопасност за защита срещу опасностите, произтичащи от излагане на йонизиращо лъчение (Directive 2013/59/EURATOM, 2013) в Наредбата за радиационна защита (МС, 2018 г.).

През 2019 г. е обнародвана и нова Наредба № РД-02-20-1 от 3 април 2019 г. за техническите изисквания към сградите за защита от радон (обн., ДВ, бр. 33/2019 г.) с която се регламентира изпълнение на държавната политика за превенция и защита на населението от облъчване на радон в сградите. Чрез въвеждането на технически правила и норми за прилагането на практика на адекватни превантивни (защитни) мерки при строеж на нови сгради и коригиращи (възстановителни) мерки в съществуващи сгради в експлоатация, е създадена нормативна възможност да бъде осигурено координирано междусекторно сътрудничество за намаляване на колективния и индивидуалния риск за българското населението от облъчване на радон в сгради.

За да бъде постигнат реален резултат в ограничаването на облъчването на радон е необходимо да бъдат положени насочени и координирани действия от всички заинтересовани страни, за да може нормативните изисквания да бъдат практически приложени. В настоящия труд е предложен хронологичен алгоритъм на действие:



Предложено е „дърво на решенията за предприемането на мерки“, което ще осигури ефективен резултат при оптимално разходване на финансов ресурс и приоритизиране на дейностите съобрзно оценения здравен риск.



ИЗВОДИ

За първи път са обобщени и анализирани измерванията на обемната активност на радон във всички детски градини и ясли на 11 области на България (Силистра, Разград, Смолян, Монтана, Враца, Ловеч, Видин, Добрич, Перник, Пазарджик и Сливен).

Установената средноаритметична стойност за сградите на детските заведения (175 Bq/m^3) е по-висока от тази установена при проучванията проведени в жилища. Потвърдено е лог - нормално разпределение на измерените обемни активности на радон в проучените помещения (KS, $p>0.01$), като средногеометричната стойност е 129 Bq/m^3.

Делът на помещенията, в които е установена стойност на ОАР над референтното ниво от 300 Bq/m^3 е 13.4% (570 от 4248 измервания), два пъти повече от този оценен, оценен при проведените проучвания за жилища. Въпреки че тези сгради не се обитават постоянно престоя в тях е продължителен, предвидено е да пребивават деца и това дава основание такива сгради да продължат да се изследват и да се предприемат действия за намаляване на установените стойности над референтните.

Потвърдена е пространствената вариация на обемната активност на радон в обществени сгради, каквито са детските ясли и детските градини, като са анализирани не само по области, но и по региони (северен и южен). Установено е, че ОАР в детските заведения за северния регион е по-висока от тази в южния със статистически значимо различие между тях, което потвърждава влиянието на географския и геоложкия фактор върху вариациите.

Изготвена е интерактивна карта на база на резултатите по общини и населени места, която да послужи за приоритизиране на районите, предприемане на превантивни мерки и степенуване на коригиращите мерки за намаляване на ОАР за защита на здравето на децата.

Детските ясли и детските градини имат различни строителни характеристики в сравнение с жилищните сгради, затова са разгледани редица фактори, които е вероятно да повлияят на ОАР в тях. Анализът е направен за обобщените резултати и по региони. Установено е влиянието на строителните характеристики на сградата като: етажност, вид на строителната система, година на строителство и наличие на асансьор; наличие на мазе в сградата и използването му. Разгледано е и потвърдено влиянието на инсталации на техническата

инфраструктура на сградата (отопление, вентилация, водоснабдяване и канализация), на ограждащите и довършителни елементи (подови настилки, вътрешно покритие на стени и видове дограма на прозорците) и интериор на сградата (видовете помещения) и е установено статистическо значимо различие между групите.

Анализирано е влиянието на въздухообмена в помещенията на детските заведения. Установено е, че при липса на вентилация, подмяна на дограмите с нови със стъклопакет се установяват по-високи стойности на ОАР. Следователно при понижаване на кратността на обмяната на въздуха в помещенията, ОАР е по-висока. Това подкрепя възможността стойностите на радон да бъдат използвани за индикатор за качеството на въздуха в сградата.

Радонът е установен рисков фактор за здравето, като това е доказано в множество изследвания. Проучвания на различни фактори, включително в този дисертационен труд, извеждат на преден план различни зависимости и за постигане на превантивен ефект е необходимо да се оцени важността на всеки един от тях. Такъв анализ би позволил да се прогнозира даден ефект и съответно да се подбере оптимална защитна стратегия.

Въз основа на приложеното автоматизирано линейно моделиране за степенуване на влиянието на факторите за прогнозиране на ОАР се установи, че областта (геолого-географския фактор), видът на дограмата, годината на строителството и наличие на мазе са параметрите, които имат най-голям принос за вариацията на стойностите на радон в помещенията. Това влияние е различно по региони, което показва, че анализите и моделите за прогнозиране, с цел прилагане на степенуван подход за предприемане на мерки за намаляване на облъчването на населението, следва да се извършват на базата на по-малки териториални единици, например области или общини.

Оценени са годишните ефективни дози от облъчване с радон за децата и работещите в детските заведения, които зависят правопропорционално от обемната активност на радон в помещенията. За да се оценят точните ефективни дози за тази група при установени стойности над референтната ОАР, е важно да се измерва концентрацията на радон през работното време. В настоящото проучване са приложени консервативен и реалистичен модел за оценка на годишните ефективни дози на база на средногодишната ОАР, измерена с пасивни детектори. Необходимо е

в такъв тип обществени сгради каквито са детските ясли и детските градини, да се провеждат систематизирани измервания на радон, за да се прилага и подходяща оценка на дозата, както и да се предприемат адекватни мерки за намаляване на радона.

Като се отчитат значителните последици за здравето на децата от облъчването с радон в сградите, наложително е да се повиши осведомеността, непрекъснато да се наблюдават нивата на радон в детските градини и да се установят строги стандарти за контрол на радона, съобразени със спецификата на тези институции.

Регламентираните изисквания в нормативните актове, следва да се прилагат в цялост и своевременно, като периодично се оценява тяхната адекватност и ефективност и необходимостта от актуализация и допълване.

Повишаването на информираността на всички заинтересовани страни – собственици на сгради, строители, работодатели и медицински специалисти, относно рисковете от въздействието на радон и мерките, които следва своевременно да бъдат предприемани, е ключов фактор при реализирането на дейностите по навременното ограничаване на въздействието на радона.

Здравето на децата е приоритет за България, отразен в редица стратегии, програми и нормативни документи. Провеждането на насочени проучвания на различните рискови фактори, които могат да повлияят върху здравето на децата съответства на този приоритет. Особено важно е анализите и изводите да се основават на солидна научна основа, което е гаранция за тяхната обоснованост и значимост. Настоящият научен труд отговаря на тези изисквания като представя подробен анализ на параметри, които повлияват ОАР, разкрива взаимовръзката между получените резултати и прилагането на степенуван подход за решаване на проблема с качеството на въздуха в детските заведения. Достоверната научна информация относно вида, величината и естеството на риска от радон и възможностите за неговото управление в детските ясли и детските градини съдържащата се в настоящия дисертационен труд научна информация представлява основа за осигуряване на здравословна среда за развитие на децата на България.

ПРИНОСИ

Научни приноси:

1. Изследвана е пространствената вариация на ОАР по региони и области.

2. Анализирано е влиянието на различни фактори върху вариациите на обемната активност на радон.

3. Приложен е множествен линеен регресионен анализ за степенуване на факторите, които влияят на ОАР и е установено, че влиянието им е различно по региони.

4. Прогнозирането на очакваните стойности на ОАР следва да се извършва за по-малки райони, например по области или общини на база на моделиране включващо влияещите фактори.

5. Потвърдена е връзката на обемната активност на радон с въздухообмена в помещенията, което доказва, че стойностите на радон могат да бъдат прилагани като индикатор за качеството на въздуха в детските заведения.

6. Извършена е оценка на годишната ефективна доза от инхалиране на радон на децата и работещите в детските заведения, по два сценария (консервативен и реалистичен).

Научно-приложни приноси:

7. Систематизирани и анализирани са данните от регионалните проучвания на ОАР в детски ясли и детски градини на територията на 11 области в България (Силистра, Разград, Смолян, Монтана, Враца, Ловеч, Видин, Добрич, Перник, Пазарджик и Сливен).

8. Изготвена е интерактивна карта на България с резултатите по области и населени места, с възможност за регулярно допълване на данните от следващи проучвания в други области и друг вид обществени сгради - https://estilian.dev.uslugi.io/mapdata/

9. Анализирана е информацията, събирана чрез анкетната карта и е предложено изменение, с цел оптимизация на базата данни на проучванията.

10. Извършен е анализ на нормативната уредба за детски заведения и е предложен алгоритъм за действие на органите на държавен здравен контрол.

ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Илия Тасев**, Ж. Джунова. (2024) Проучване на нивата на радон в детски градини – ключов показател за качеството на въздуха и за облъчването на децата. Българско списание за обществено здраве, Том 16, кн. 2 ISSN/ISBN 1313-6461 (print), 1313-860X (online), Web of Science (2012-) (CABI)

2. Djounova, J., Ivanova, K., Kunovska, B., Dzhunakova, D., **Tasev, I**., Stojanovska, Z. Analysis of indoor air pollution with radon in the kindergartens of two Bulgarian districts. Radiation Protection Dosimetry, 199 (8-9), 930-936, 2023, IF 1 ISSN: 1742-3406, ISSN: 0144-8420, IF=0.8, WoS, Scopus, https://academic.oup.com/rpd/article-abstract/199/8-9/930/7177454

3. Джунова Ж., Иванова К., **Тасев И**. Национална програма „Радон“– анализ на постигнатото. Radiation Protection Journal – София: Бълг. сдружение по радиобиология и радиационна защита, 2018, issue 7, p. 8-13, ISSN 1314-9199;

НАУЧНИ ДОКЛАДИ И УЧАСТИЯ В КОНФЕРЕНЦИИ

- Работна среща за представяне на дейностите по Националния план действие за намаляване риска от облъчване от радон, 11-13 юни 2025 г., гр. Несебър. На срещата бяха представени готовите резултати и анализа на факторите, повлияващи на обемната активност на радон в помещенията на детските ясли и детските градини.

- Седма национална конференция по епидемиология „Здраве за всички чрез ефективна профилактика и терапия“, 26-28 септември 2025 г., гр. Плевен.

- Работна среща/обучение не тема „Риск от експозиция на радон, като естествен източник на йонизиращо лъчение на работните места“, 24-26 ноември 2025 г., гр. Велинград.

БЛАГОДАРНОСТ

Бих искал да изразя своята признателност и към научния си ръководител проф. д-р Жана Джунова, дм за напътствията, методическата и научна помощ, както и за увереността и подкрепата това изследване да бъде завършено.

Сърдечно благодаря на проф. Кремена Иванова, дм за търпението и незаменимата помощ и съвети при обработката на данните и обсъжданията на научноприложните приноси, с които може да се подобри публичността на данните и подобряването на анкетната форма за събиране на данни с цел оптимизация на базата данни на проучванията.

Благодаря и на колегите от Националния център по радиобиология и радиационна защита и най-вече на лаборатория „Съществуващо облъчване и радиационни експертизи“, както и на колегите от регионалните здравни инспекции в Силистра, Разград, Смолян, Монтана, Враца, Ловеч, Видин, Добрич, Перник, Пазарджик и Сливен за усилията, благодарение на които беше възможно събирането на данните.

ANALYSIS OF RADON EXPOSURE IN NURSERIES AND KINDERGARTENS

Summary

The new recommendations of the International Commission on Radiological Protection and current national legislation mandate the control of indoor radon exposure and establish a reference level of 300 Bq/m³ for the annual average activity concentration in dwellings and public buildings. The aim of this study was to estimate the annual effective dose from radon inhalation for children and staff in childcare facilities, using data on radon volumetric activity concentrations measured in all kindergartens and nurseries across 11 Bulgarian districts (Silistra, Razgrad, Smolyan, Montana, Vratsa, Lovech, Vidin, Dobrich, Pernik, Pazardzhik, and Sliven). Based on 4,248 measurements taken on ground floors, the arithmetic mean radon volumetric activity was 175.2 Bq/m³ (standard deviation: 153.0 Bq/m³), the geometric mean was 128.8 Bq/m³, and the median was 138.8 Bq/m³. The highest value recorded was 1,689.6 Bq/m³ in a kindergarten in the Sliven district. Radon activity levels exceeded the 300 Bq/m³ reference level in 570 rooms (13.4% of the total), while levels exceeding 500 Bq/m³ were measured in 167 rooms (4%). The study also analyzed the influence of various factors—associated with specific building parameters on the variations in radon volumetric activity; this analysis was conducted on both the aggregated dataset and a regional basis. The study established the influence of building characteristics such as the number of stories, structural system type, year of construction, presence of an elevator, and the existence and use of a basement - on radon levels. It also examined and confirmed the impact of technical infrastructure systems (heating, ventilation, water supply, and sewage), building envelope and finishing elements (flooring, interior wall finishes, and window types), and interior layout (types of rooms), revealing statistically significant differences between the groups. This enables the prioritization of activities for buildings with similar characteristics, including conducting measurements, informing stakeholders, and implementing radon mitigation measures. Furthermore, it facilitates a graded approach to reducing children's exposure to radon.

The proportion of rooms where the radon activity concentration exceeded the reference level of 300 Bq/m³ was 13.4% (570 out of 4,248 measurements) - double the rate observed in previous studies of residential buildings.

Spatial variation in radon activity concentration within public buildings specifically nurseries and kindergartens was confirmed through analysis at both the administrative district and regional (Northern and Southern) levels. Radon activity concentrations in childcare facilities were found to be higher in the Northern region than in the Southern region, with a statistically significant difference between the two, confirming the influence of geographical and geological factors on these variations. An interactive map based on results by municipality and locality has been created to assist in prioritizing areas, implementing preventive measures, and ranking corrective actions to reduce indoor radon activity concentration (IRAC) and protect children's health.

This study analyzes the impact of indoor air exchange in childcare facilities, specifically finding that in the absence of ventilation—and following the replacement of window units with new double-glazed ones higher indoor radon activity concentration (IRAC) levels are observed. Consequently, lower air exchange rates in the rooms correlate with higher IRAC levels. This supports the potential use of radon levels as an indicator of indoor air quality.

Radon is a recognized health risk factor, a fact substantiated by numerous studies. Research into various factors including the work presented in this dissertation highlights different interdependencies; assessing the significance of each factor is essential for achieving a preventive effect. Such an analysis enables the prediction of specific outcomes and the selection of an optimal protection strategy.

Annual effective doses from radon exposure for children and staff in childcare facilities were estimated using two scenarios (conservative and realistic) and two sets of dose coefficients (ICRP Publication 137 and a new ICRP publication currently under discussion).

The conservative scenario accounts for 250 working days per year and an 8-hour workday, distributed as 6 hours spent indoors and 2 hours outdoors. Based on a conservative estimate, the results show an average annual effective dose of 1.76 mSv for children attending nurseries and kindergartens in Bulgaria. For the northern region, the estimated annual effective dose is 1.86 mSv, while for the southern region, it is 1.58 mSv.

Using the new coefficients proposed by the International Commission on Radiological Protection, the results are as follows:

• for kindergartens and nurseries in Bulgaria – an average of 2.18 mSv per year

• for the northern region – 2.30 mSv/year

• for the southern region – 1.96 mSv/year

The realistic scenario assumes 200 working days for children and 225 working days for staff. The assessment results under this realistic scenario—which refines the duration of time spent in the premises—show the following average annual effective dose values: 1.41 mSv/year for children attending nurseries and kindergartens in Bulgaria; 1.49 mSv/year for the northern region; and 1.27 mSv/year for the southern region. When applying the new coefficients proposed by the International Commission on Radiological Protection, the results are as follows:

• for kindergartens and nurseries in Bulgaria – an average of 1.74 mSv/year

• for the northern region – 1.84 mSv/year

• for the southern region – 1.57 mSv/year

Given the significant health implications of radon exposure in buildings for children, it is imperative to raise awareness, continuously monitor radon levels in kindergartens, and establish strict radon control standards tailored to the specific nature of these institutions.