



Национален център по радиобиология и радиационна защита
Министерство на здравеопазването



Измерване на радон - методология. Директни и пасивни измервания. Осигуряване и контрол на качеството. Измерване на радон на работни места – процедура. Оценка на дозата при вдишване на радон.



Тодор Йорданов - НЦРРЗ

Велинград, 2025 г.

Видове измервания на радон

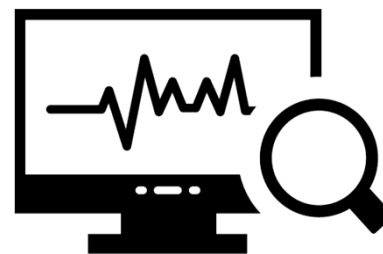
В зависимост от периода на измерване

- дългосрочни
- краткосрочни



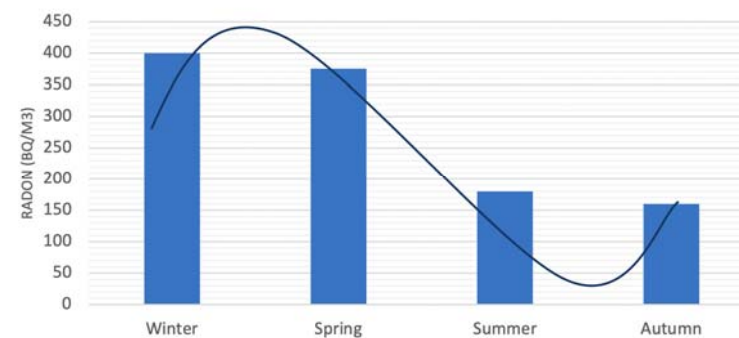
В зависимост от метода на пробовземане

- пасивни
- директни (активни, непрекъснати)

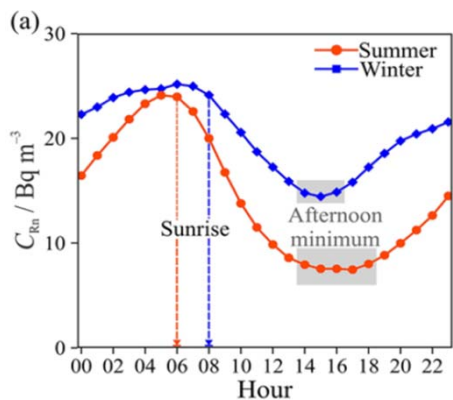


Флуктуации на концентрацията на радон

Концентрацията на радон (обемната активност) при измервания на закрито варира в зависимост от конструкцията на сградата и вентилацията ѝ. Тя се изменя не само сезонно, но дори ежедневно и ежечасно.



<https://byeradon.com/radon-gas/#>



Поради тези флуктуации, изчисляването на средногодишната концентрация на радон във въздуха в затворени помещения изисква надеждно измерване на средните концентрации в продължение на поне три месеца. Краткосрочните измервания предоставят само груба представа за действителното съдържание на радон.

Пасивни (дългосрочни измервания)

Използвани детектори

- алфа-трекови детектори
- детектори с активен въглен
- електрети с йонни камери



Предимства

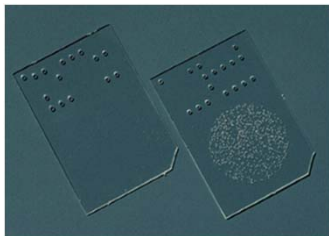
- Сравнително евтини
- Не се нуждаят от електрическо захранване
- По-добре описват средните нива на радон през цялата година

Неудобство

- Относително дълъг период на измерване

RADOSYS

Пасивните трекови детекторите на RADOSYS са чипове от твърда пластмаса (полиалил дигликол карбонат (PADC) - $C_{12}H_{18}O_7$), монтирани във въздушна камера. Алфа радиацията оставя следи върху тях. След като детекторът е изложен за дългосрочен период (от 3 месеца до 1 година), той се ецва в химическа баня с NaOH, за да се разширят пътеките, така че да могат да бъдат измерени с микроскоп. Измерената плътност на следите позволява да се оцени концентрацията на радон във въздуха.



Директни (непрекъснати) измервания

Използвани детектори

- детектори с йонизационна камера
- детектори със сцинтилаторни клетки
- полупроводникови фотодетектори

Предимства

- Проследяват флукуациите в нивата на радон
- Предоставят данни за радон веднага
- Имат висока точност и прецизност за кратки периоди на измерване (3-14 дена)

Недостатъци

- Висока цена за апаратура, нуждаят се от електрическо захранване
- Най-често се използват за краткосрочни измервания и за предприемане на коригиращи действия

Директни (непрекъснати) измервания

AlphaGUARD детектор - йонизационна камера

Използва за измерване на радон в околната среда, мини, лаборатории, а също и за допълнителни изследвания в сгради.



TERA Radon

Сондата е предназначена за непрекъснато измерване на концентрацията на радон. Основата на преносимата сонда е измервателна камера с полупроводников фотодетектор. Радонът навлиза в камерата чрез дифузия през входния филтър на дъното на сондата.



Радонов радиометър AlphaE

Детектор – дифузионен силициев диод



Директни (непрекъснати) измервания

RAD8 RADON MONITOR

детектор - технология, базирана на електростатично събиране плюс силициев алфа-спектрометричен детектор

Подходящ за проследяване на ниски нива и бързи промени.

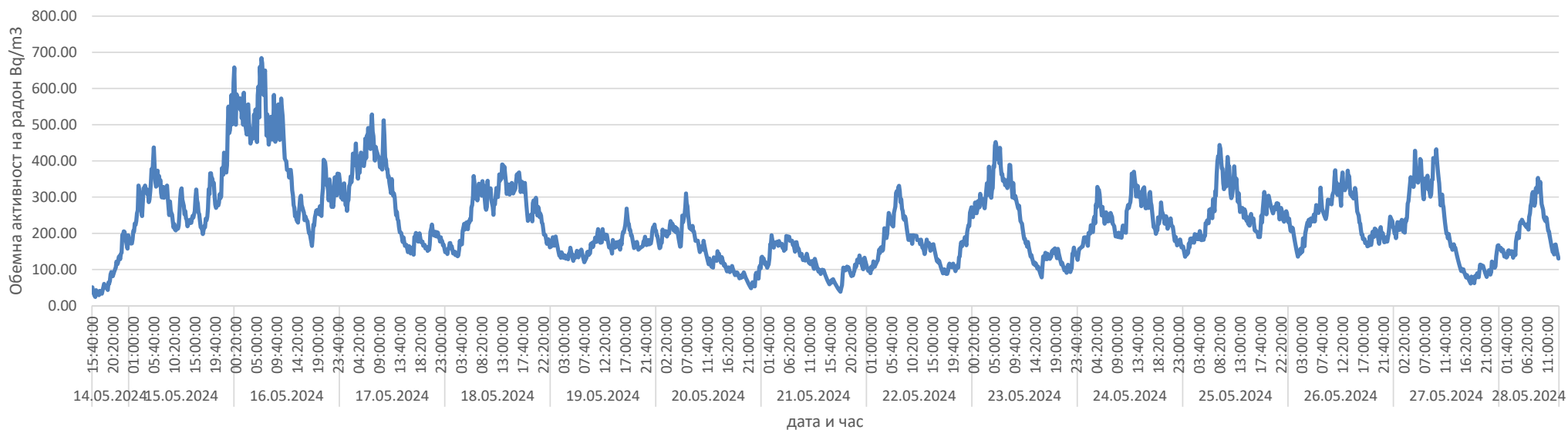


RadonEye Pro

Пулсова ионнизационна камера с висока чувствителност за детекция на радон

AlphaGUARD 1754 5/9/2024 3:10:00 PM - 5/13/2024 6:50:00 AM

Measurement time	Measurement time	Cycle time	Rn222(Bq/m3)	Rn222+error(Bq/m3)	Air pressure(mbar)	Humidity rel.(%)	Temperature(°C)
09.05.2024	15:10:00	600	38.50	47.25	951.97	52.25	23.88
09.05.2024	15:20:00	600	18.00	14.06	952.00	51.75	24.38
09.05.2024	15:30:00	600	22.00	14.75	951.83	51.25	24.88
09.05.2024	15:40:00	600	31.38	16.88	951.86	50.25	25.25
09.05.2024	15:50:00	600	9.63	11.31	951.85	49.50	25.25
09.05.2024	16:00:00	600	39.25	18.25	951.74	49.00	25.25
09.05.2024	16:10:00	600	25.75	15.38	951.76	48.50	25.25
09.05.2024	16:20:00	600	28.88	16.13	951.79	48.50	25.13
09.05.2024	16:30:00	600	25.75	15.38	951.92	48.00	25.13
09.05.2024	16:40:00	600	20.13	14.00	951.98	47.75	25.13
09.05.2024	16:50:00	600	26.75	15.44	952.09	47.25	25.13
09.05.2024	17:00:00	600	18.13	13.31	952.10	47.25	25.13
09.05.2024	17:10:00	600	30.00	16.13	952.19	47.25	25.13
09.05.2024	17:20:00	600	42.50	19.13	952.26	46.75	25.13
09.05.2024	17:30:00	600	38.00	18.38	952.29	46.75	25.13

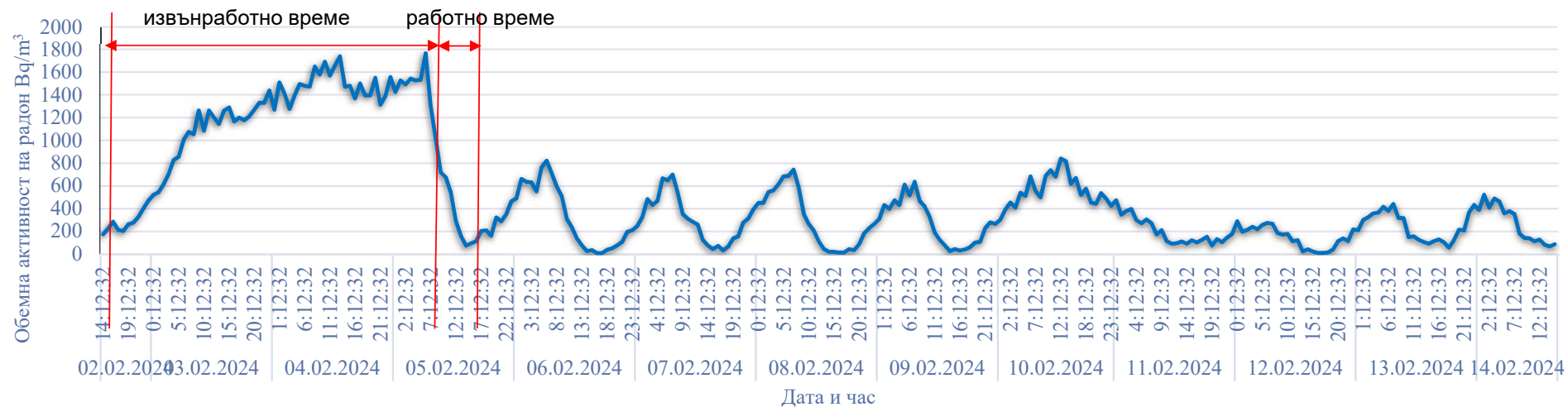


Приложение на директните измервания

1. Оценка на обемната активност на радон, когато сградата е обитавана през работното време (времето на пребиваване)
 - Оценка на дозата на обитателите на сградата (работници, население, деца)
2. По-точно идентифициране на източника на радон



record	date	time	ARn[Bq/m3]	ACRn[Bq/m3]	k*ACRn[Bq/m3]	sum1	sum2	sum3	sum4	Temp[°C]	Humidity[%]
1	02.02.2024	14:12:32	222	129	170.28	5	19	6	0	22	53
2		15:12:32	171	167	220.44	3	15	18	0	23	48
3		16:12:32	263	213	281.16	3	24	20	0	23	44
4		17:12:32	126	158	208.56	3	12	22	0	22	43
5		18:12:32	164	150	198	4	16	17	0	22	41
6		19:12:32	216	196	258.72	5	21	22	1	22	41
7		20:12:32	193	207	273.24	7	19	27	0	22	40
8		21:12:32	247	245	323.4	6	25	31	0	21	40
9		22:12:32	312	302	398.64	5	32	38	0	21	39
10		23:12:32	361	354	467.28	8	37	45	1	21	39
11	03.02.2024	0:12:32	381	393	518.76	7	39	52	0	21	39
12		1:12:32	449	410	541.2	15	46	49	0	21	39
13		2:12:32	410	462	609.84	15	42	65	0	21	39
14		3:12:32	527	532	702.24	11	54	69	0	21	39
15		4:12:32	588	626	826.32	9	62	87	1	20	39
16		5:12:32	693	647	854.04	10	73	81	0	20	39
17		6:12:32	826	761	1004.52	6	87	94	0	20	39



Оценка на обемната активност на радон в работно време (време на пребиваване)

Пасивни измервания

h_1 – общ брой часове работно време;

h_2 – общ брой часове извънработно време;

C_{avr} - средна стойност на ОАР за целия период на измерване

C_1 - средна стойност на ОАР в работно време;

C_2 - средна стойност на ОАР в извънработно време

Директни измервания

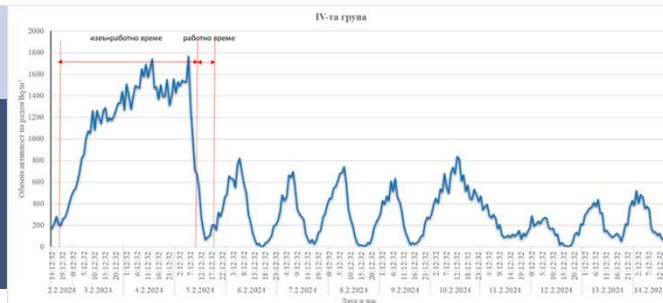
$k=C_1/C_2$ – отношение на средните стойности на ОАР в работно/неработно време;

$$C_1 = \frac{C_{AVR} (h_1 + h_2)}{h_1 + h_2/k}$$

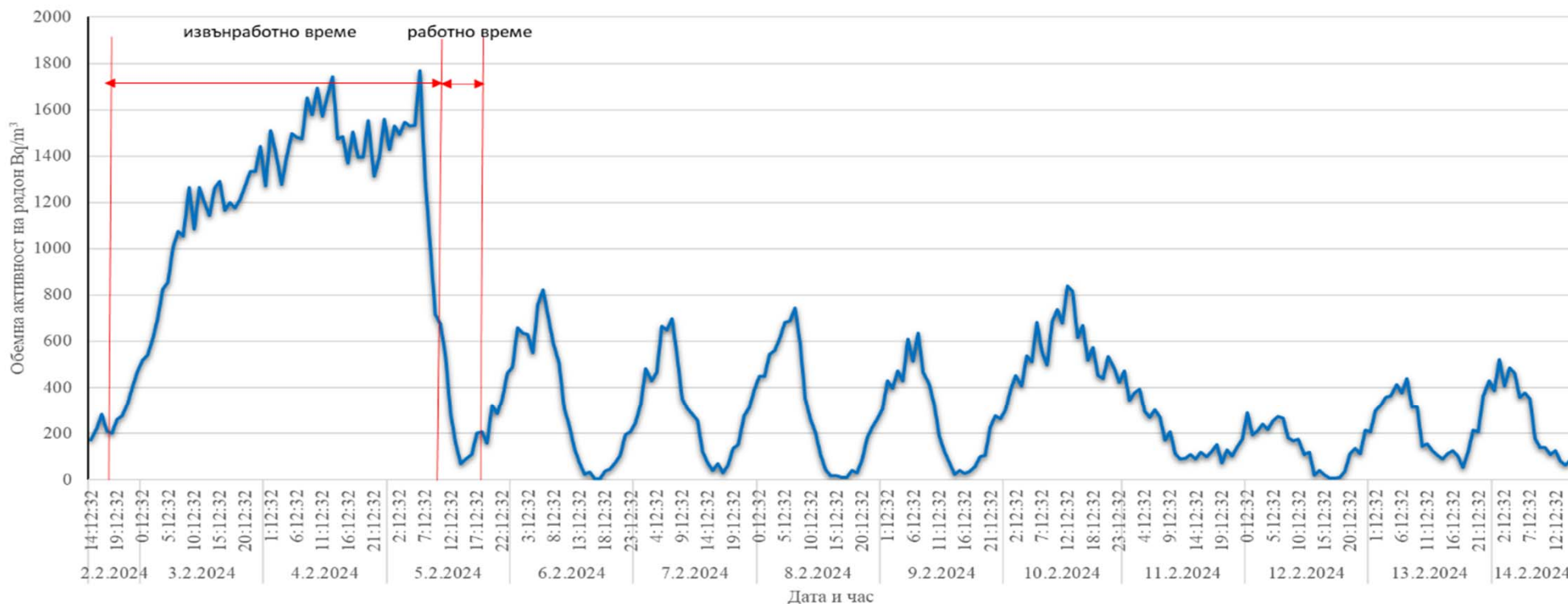
$$C_{AVR} = \frac{C_1 h_1 + C_2 h_2}{h_1 + h_2}$$

$$C_{AVR} = \frac{C_1 h_1 + C_1 h_2/k}{h_1 + h_2}$$

ПРОТОКОЛ ОТ ИЗПИТВАНЕ НА ОБЕМНА АКТИВНОСТ НА РАДОН ВЪВ ВЪЗДУХ С ДИРЕКТНИ ИЗМЕРВАНИЯ



IV-та група



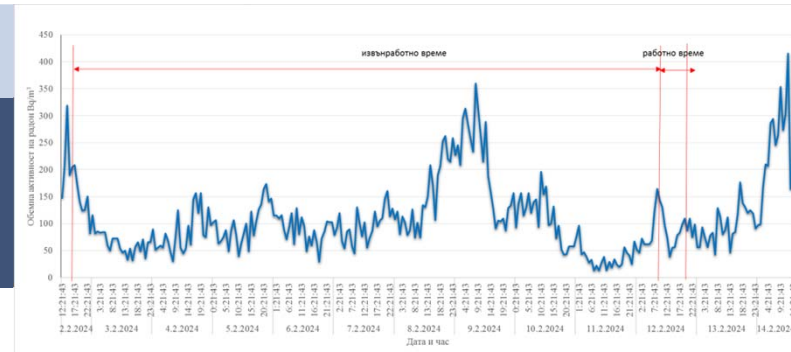
Коригирана стойност на OAR по времето,
през което помещението е обитавано

В работно време
от 8:00 ч. до 19:00 ч.

329

31

ПРОТОКОЛ ОТ ИЗПИТВАНЕ НА ОБЕМНА АКТИВНОСТ НА РАДОН ВЪВ ВЪЗДУХ С ДИРЕКТНИ ИЗМЕРВАНИЯ



№ на изпитване	Местоположение	Период на вземане на пробата	Резултати от изпитването, Bq/m ³	
			Средна обемна активност на радон	Комбинирана стандартна неопределеност (1σ)
19049_02-14.02_2024	Класна стая I В клас (приземен етаж)	От 02.02.2024 г. до 14.02.2024 г.	111	4
		В работно време от 8:00 ч. до 19:00 ч.	144	17
		Извън работно време от 19:00 ч. до 8:00 ч.	108	1
Дългосрочни измервания по RO-1/29.04.2021 г.		03.10.2019 -11.05.2020	519	15
<i>Коригирана стойност на ОАР по времето, през което помещението е обитавано</i>		В работно време от 8:00 ч. до 19:00 ч.	638	80

Изчисляване на дозата от радон

Концентрацията на радон (Bq/m^3) се използва директно за контрол на нивата на радон в домовете и повечето работни места. Понякога обаче е необходимо да се изчисли ефективната доза, дължаща се на облъчване с радон за някои работни места.

ICRP (INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION) разработва дозови коефициенти, за да опрости изчисляването на еквивалентната доза и ефективната доза за вдишани или погълнати радионуклиди.

Ефективна доза = концентрация на радон [Bq/m^3] × време [h] × дозов коефициент

Изчисляване на дозата от радон

Използвайки стандартно време на пребиваване от **2000 часа годишно** за работник и дозов коефициент от **$6,7 \times 10^{-6} \text{ mSv}/(\text{Bq h m}^{-3})$** , експозицията на радон при горната стойност на националното референтно ниво от **300 Bq m^{-3}** съответства на годишна ефективна доза от около **4 mSv** на работното място.

Критерият за решение от **6 mSv годишно**, определен в член 35(2) от Директивата, съответства на концентрация на радон от **450 Bq m^{-3}** .

В специфични ситуации на работа на закрито, включващи значителна физическа активност и за експозиции в туристически пещери, **300 Bq m^{-3}** съответства на годишна ефективна доза от **8 mSv** на работното място; **6 mSv** съответства на концентрация на радон от **225 Bq m^{-3}** (за стандартно време на пребиваване на работник от 2000 часа годишно, дозов коефициент **$2 \times 6,7 \times 10^{-6} \text{ mSv}/(\text{Bq h m}^{-3})$**) [ICRP2014a].

Накрая, МКРЗ подчертава също, че в случаите, когато характеристиките на аерозоли се различават значително от типичните условия, когато са налични достатъчни и надеждни данни за аерозоли и очакваните дози изискват по-подробно разглеждане, е възможно да се изчислят специфични за обекта дозови коефициенти, като се използват данните, предоставени в публикация 137 на МКРЗ [ICRP2017].

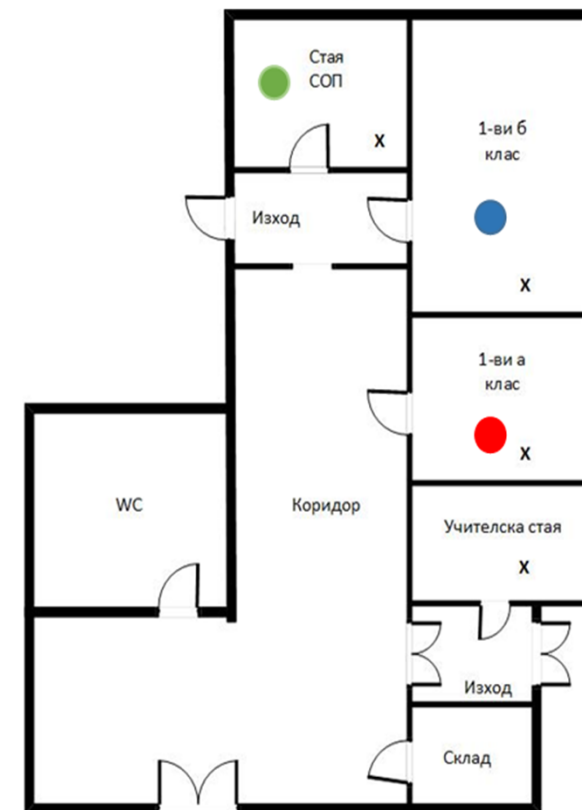
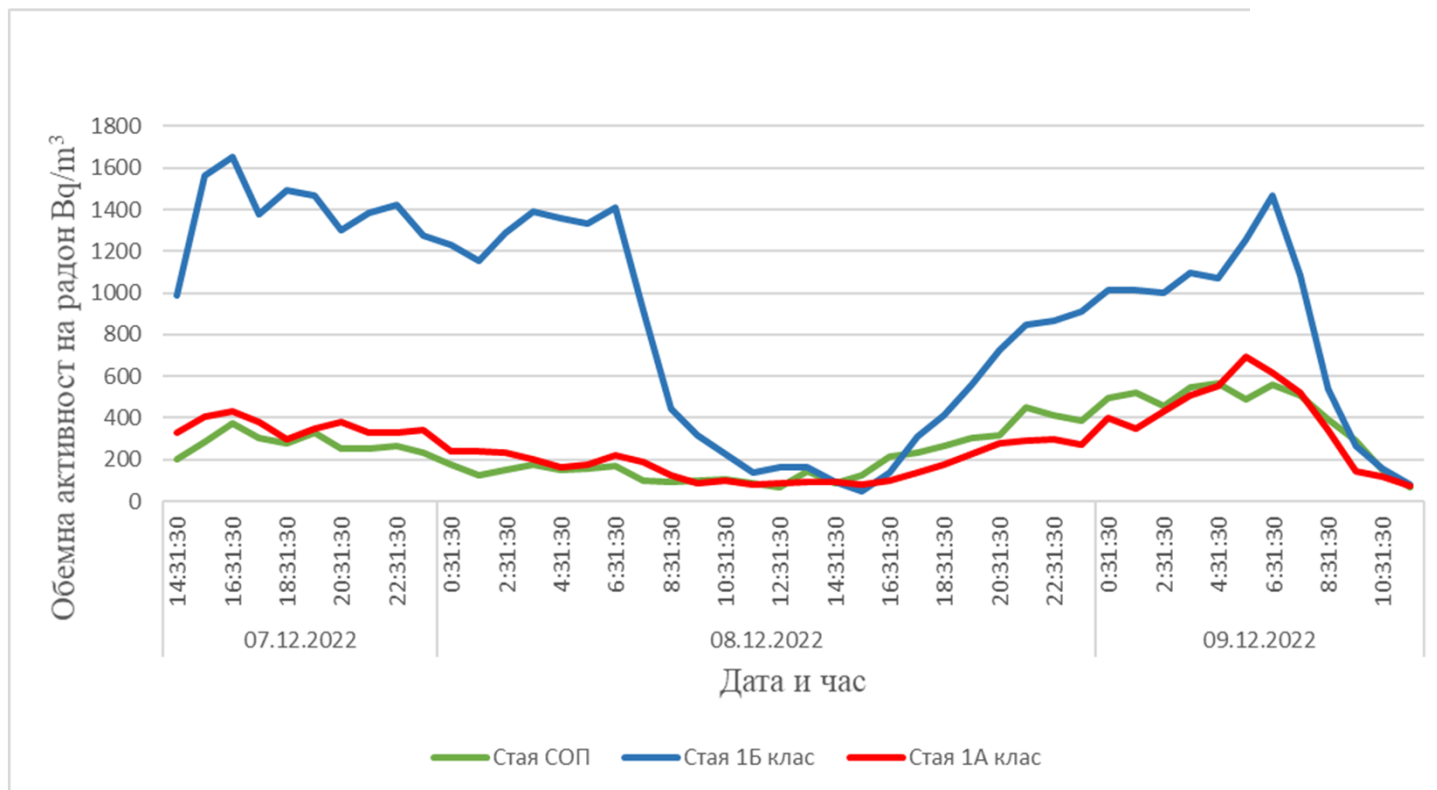
Идентифициране на „източника“ на радон

Цел - карта на разпространението на радон в сградата и идентифициране на помещения с по-високи стойности

Начин на работа - измерва се средната обемна активност на радон във възможно най-голям брой помещения (**включително необитаеми пространства**) разположени в подземните, приземните и първите етажи

Използвани детектори – AlphaGUARD, TERA Radon, AlphaE, пасивна система E-PERM, RAD8 Radon Monitor

Едновременно непрекъснато измерване в различни части на училищна сграда



Идентифициране на „източника“ на радон

Приземен етаж



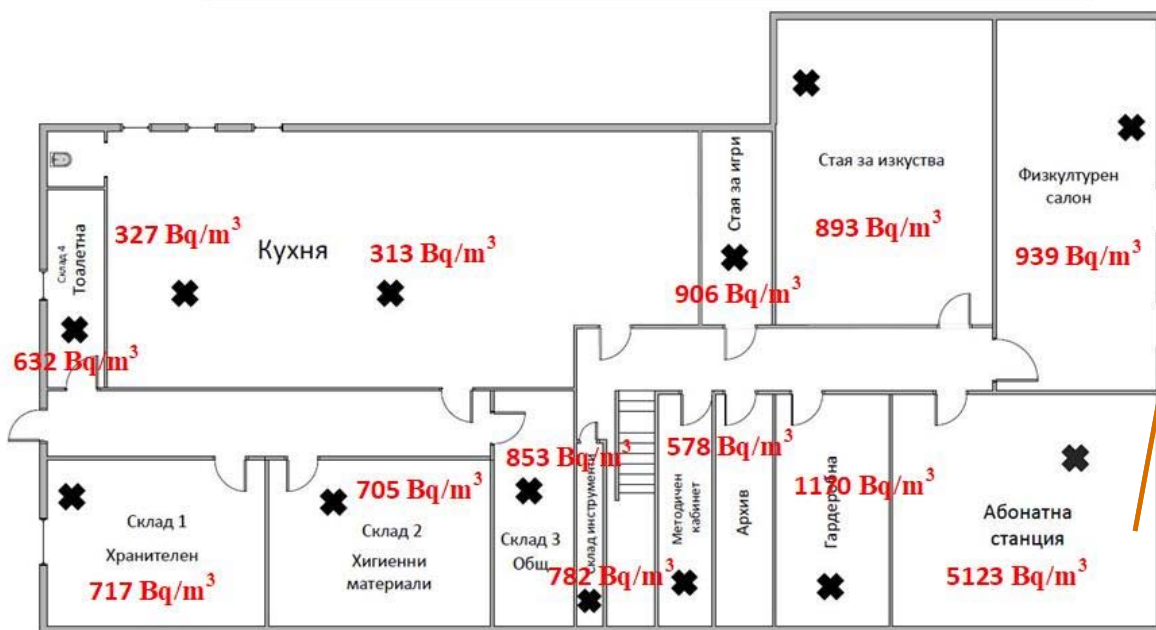
Измерена висока стойност на ОАР в помещението „Занималня“



Подробно обследване на помещенията в сутерена чрез краткосрочни (4 дневни) измервания с пасивна система E-PERM

Идентифициране на „източника“ на радон

Сутерен



Допълнително изследване:
5123 Bq/m³ – при затворен прозорец;
1696 Bq/m³ – при отворен прозорец.

ПРОТОКОЛИ (ПРОЦЕДУРИ) ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА РАДОН

Цел и съдържание на протоколите за измерване на радон

- Резултатите от измерването на радон се използват, за да информират както работодателите, така и работниците за нивото на облъчване на работниците (и следователно за свързаните с него здравни рискове) и необходимостта от оптимизиране на защитата, за да се поддържа излагането на облъчване възможно най-ниско.
- Целта на измерването на радон е да се оцени концентрацията на активност на радон и където е уместно на неговите дъщерни продукти. Протоколът за измерване може да включва следното:

IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. SSG-91

PROTECTION OF WORKERS AGAINST EXPOSURE DUE TO RADON

SPECIFIC SAFETY GUIDE

JOINTLY SPONSORED BY THE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY
AGENCY AND INTERNATIONAL LABOUR OFFICE

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA, 2024

Протокол (процедура) за измерване

- Критерии за измервателни системи;
- Осигуряване на качеството;
- Метод за определяне на местоположението и броя на точките за измерване;
- Продължителност на вземане на проби;
- Подход за справяне с неопределеностите на измерването;
- Прилагане на сезонни корекционни коефициенти (ако е уместно);
- Сравнение на средната годишна концентрация на активност с референтното ниво;
- Честота или други условия за повтаряне на измерванията;
- Критерии за допълнителни изследвания.

Системи за измерване на радон на работните места

- **Пасивните детектори** обикновено се използват за **дългосрочни измервания** на радон на работните места. Измерванията предоставят резултати за определен период.
- **Непрекъснати (директни) измервания** предоставят вариацията във времето на концентрацията на радон (напр. дневна, сезонна, периоди на заетост) за по-добра оценка на облъчването на работниците.

Калибриране и управление на качеството при измервания на радон

- Директните радонови монитори обикновено се калибрират индивидуално от оторизирана организация, която може да бъде производителят или сервизен агент. Оборудването, използвано за измервания на радон, трябва да се калибрира на редовни интервали, както е препоръчано от производителя и след всеки ремонт или определени видове поддръжка. След калибриране трябва да се предостави сертификат, който включва датата на калибриране, резултатите от теста и проследимостта до международни или национални стандарти.
- Пасивните устройства се калибрират на партиди при различни условия, като например контролирана концентрация на радон и при определена температура и влажност. В определени случаи може да се извърши калибриране при различни концентрации.

Продължителност на измерванията на радон

- Измерванията трябва да могат да определят средната годишна концентрация на ^{222}Rn на работното място (например, като се вземе предвид сезонът на измерване и продължителността на облъчване). **Най-надеждният начин е да се правят измервания за цяла година.** Могат да се използват обаче и по-кратки периоди на вземане на проби, ако се счита, че са способни да предоставят резултати, представителни за средногодишното ниво на радон. Това може да се постигне чрез поставяне на детектори за цяла година или чрез използване на серия от детектори, поставени за периоди от няколко месеца, за да се обхване цялата година

Сезонен корекционен коефициент за измервания на радон

- Понякога е необходимо към резултатите от измерванията да се прилагат сезонни корекционни коефициенти, така че резултатите от измерванията, направени през част от годината, да могат да бъдат екстраполирани, за да се получи средногодишна стойност. Сезонните коефициенти зависят от местни фактори като климат, вид сграда и характеристики на работното място.

Сезонен корекционен коефициент за измервания на радон

- Желателно е поне половината от периода на измерване трябва да е през студения годишен сезон, когато се използва отопление. Освен това, измерванията трябва да се извършват в период, когато броят на последователните дни, през които помещенията са незаети, не надвишава 20%.
- Ако продължителността на вземане на проби не обхваща цяла година, е необходимо да се определи най-подходящото време за вземане на проби; то може да е различно от това, произтичащо от нормалното сезонно поведение в сградите (напр. поради специфични вариации в естествената или механичната вентилация на подземни работни места, периоди с висок работен капацитет и работни места с различни коефициенти на заетост през определени сезони, като например туристически обекти и училища).

Местоположение и брой точки за измерване на радон

- Оценката на средногодишната концентрация на активност на радон може да включва измервания в различни зони на работното място. Пасивните детектори са сравнително евтини. Следователно, може да бъде рентабилно да се правят измервания на няколко места на работното място, за да се установи по-целенасочена стратегия за защита. Когато работното място се състои от различни видове работни зони, всяка зона може да се разглежда отделно за целите на измерванията на радон.
- **Помещенията в мазето или приземния етаж** вероятно ще имат най-високи концентрации на радон. Не е необходимо да се извършват измервания в зони, които са незаети или се обитават рядко. Обикновено не се очаква рядко обитавана зона да се използва от хора повече от 50 часа годишно.

Местоположение и брой точки за измерване на радон

- Концентрацията на радон може да варира значително между съседни сгради. Следователно, обикновено е необходимо да се правят измервания във всяка отделна сграда. За многоетажни сгради, измерванията, направени на партерния етаж и в мазетата (всички нива), са най-важни за оценка на съответствието с референтното ниво за работните места. Въпреки това, може да е полезно да се извършат някои измервания и на горните етажи.
- Местоположението на радоновите детектори трябва да бъде представително по отношение на излагането на работниците на облъчване. Обикновено детекторите **не се поставят в затворени пространства** (затворени шкафове, чекмежета и др.) или директно в източник на чист въздух, като например вентилационен отвор. В идеалния случай детекторите се поставят **в зоната на дишане на работниците**, но във всеки случай на поне един метър над пода, далеч от източници на топлина и на поне 20 см от стени или отвори.

ПОСТАВЯНЕ НА РАДОНОВИ ДЕТЕКТОРИ НА РАБОТНО МЯСТО

Местоположение	Брой радонови детектори
Сутерен и партерен (приземен) етаж	Един детектор във всички стаи или зони. За по-големи стаи или зони е необходимо да се потърси специализиран съвет относно необходимия брой детектори.
По-високи етажи	Най-малко два детектора на етаж и поне един детектор на 250 м ² .

Детекторите за радон **не трябва да се местят по време на измерването**. Могат да се използват няколко начина за осигуряване на сигурно позициониране на детекторите, например, залепваща лента.

ПОСТАВЯНЕ НА РАДОНОВИ ДЕТЕКТОРИ НА РАБОТНО МЯСТО

Като част от протокола за измерване на радон се записват подробностите за мястото на измерване и датите, на които е започнало и приключило измерването. Местата на работните места, които трябва да се вземат предвид за измерване на радон, включват:

- Стаи или зони, които са заети редовно повече от четири часа на ден;
- Подземни помещения и зони, които могат да се използват от отделни лица за повече от 50 часа годишно (около един час седмично):
- Всякакви други помещения или зони, където има основания да се смята, че нивата на радон може да са от значение.

Сравняване на резултатите от измерванията на радон с референтното ниво

■ Очаква се протоколът от измерването да описва как се оценяват резултатите от измерванията на радон на работното място спрямо референтното ниво. Това включва определяне на средногодишната концентрация на активност на радон, която да се сравни директно с референтното ниво. Протоколът може също да определи дали оценката се провежда за цялото работно място, цели сгради или определени зони, дали може да се получи надеждна оценка на средната годишна концентрация на активност с краткосрочни измервания и как да се гарантира, че всички неопределености са приемливи.

Референтното ниво



- Референтното ниво за средногодишната обемна активност на радон във въздуха на жилищни и обществени сгради, съгласно Наредба за радиационна защита е **300 Bq/m³**.
- Референтно ниво означава, че облъчването, над тази стойност изисква предприемане на действия за намаляване на концентрацията на радон.
- Високите стойности на концентрацията на радон индикират и за лошо качество на въздуха в помещенията.

Повторни или последващи измервания

- Необходимостта от повтаряне на измерванията на нивата на радон на работното място обикновено се определя от регулаторния орган или друг съответен орган. В някои случаи може да се наложи да се извършат последващи измервания на работното място, например с помощта на активни инструменти за оценка на облъчването в работно време и извън него.

Контрол на качеството

- Управление на измервателна апаратура
- Оценка на способността на измервателно оборудване - определяне на минимално детектируемата активност
- Оценка на неопределеностите
- Изготвяне на план за осигуряване на качеството, които включва писмен стандартни оперативни процедури, система за записване и на наблюдение на резултатите от измерванията
- Участие в междулабораторни сравнения

Благодаря за търпението!

