

**Univerzita Hradec Králové**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra Fyziky**

**Porovnání metod měření objemové aktivity  
radonu v objektech**

**Bakalářská práce**

Autor:	Alena Havlová
Studijní program:	B1701 Fyzika
Studijní obor:	Fyzikálně-technická měření a výpočetní technika
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Jan Kříž, PhD.
Odborný konzultant: Pracoviště:	Ing. Eva Pravdová Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Regionální centrum Hradec Králové
Oponent:	RNDr. Jan Šlégr

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, z kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové dne 6. 6. 2016

Alena Havlová

Anotace práce:

HAVLOVÁ, A., *Porovnání metod měření objemové aktivity radonu v objektech*. Hradec Králové, 2016. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí bakalářské práce doc. RNDr. Jan Kříž, PhD.

Ozáření z přírodních zdrojů v budovách, především v důsledku vdechování radonu a jeho rozpadových produktů, tvoří největší podíl z celkového průměrného ozáření obyvatelstva ionizujícím zářením. Na legislativní regulaci ozáření navazuje mezirezortní projekt Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán, který byl schválen Usnesením vlády ČR č. 594 ze dne 4. 5. 2009. Jeho cílem je motivovat vlastníky nemovitostí k aktivnímu zájmu o úroveň ozáření ve stavbách. Základním předpokladem pro účinnost projektu je zejména odpovídající komunikace rizika a nabídka dostupného a kvalitního měření objemové aktivity radonu. Výsledky měření objemové aktivity radonu v domech nejsou objektivní charakteristikou měřeného objektu jako takového, odpovídají způsobu a podmínkám jeho užívání v době měření. Pro hodnocení ozáření osob je možné využít několik způsobů měření, všechny přitom musí vést k co nejsprávnějšímu ohodnocení dlouhodobé průměrné objemové aktivity radonu ve vnitřním ovzduší. Předmětem bakalářské práce je porovnání tří typů měření objemové aktivity radonu – dlouhodobého, krátkodobého a kontinuálního z hlediska vhodnosti, použitelnosti a kvality výsledků. Součástí práce je výběr vhodných objektů a komunikace s jejich majiteli, protože jejich spolupráce je zásadní pro popis podmínek měření a tím pro kvalitu vyhodnocení výsledků. Výsledky práce budou využívány v rámci Akčního plánu – bod 3. Strategie usměrňování stávajícího ozáření z radonu.

Klíčová slova:

Radon, ozáření, měření

## **Annotation:**

Comparison of measurement methods of volume activity of radon in buildings

Irradiation from natural sources in buildings, mostly as a result of inhaling radon and its decay products, constitutes the largest share of the mean overall exposure of the population by the ionized radiation. The legislative regulation of the irradiation is followed by the inter-resort project "The Radon program of the Czech Republic - the Action Plan", which was approved by the Czech government resolution Nr. 594 from May 5, 2009. Its goal is to motivate the property owners to take active interest in the levels of irradiation in buildings. The basic premise for the efficiency of the whole project is the appropriate communication of the risks and an offer of the available and high quality measurement of the volume activity of radon. The results of the measurement of the volume activity of radon in buildings are not an objective characteristic of the measured object as such, they correspond to the conditions and manner of its usage at the time of measurement. For the evaluation of personal irradiation, we can make use of several types of measurement, all of which have to lead to the best possible assessment of the long term average of the volume activity of radon in the inner environment. The subject of the Bachelor Thesis is comparison of three types of measurement of the volume activity of radon - the long term, the short term and the continual - from the point of view of suitability, usability and the quality of the results. Part of the thesis is devoted to selection of appropriate objects and communication with their owners, because their cooperation is essential for describing the conditions of the measurement and, consequently, for the quality of the result evaluation. The results of the thesis will be used within the framework of the Action Plan - the section 3. Strategy for the regulation of existing radon irradiation.

**Keywords:**

Radon, irradiation, measurement

**Poděkování:**

Tímto bych chtěla poděkovat především ing. Evě Pravdové za cenné rady, materiály a péči, kterou mi při přípravě této práce věnovala. Dále pak ing. Josefu Holečkovi za umožnění mé přítomnosti při vyhodnocování stopových detektorů a za to, že se podělil o své vědomosti. V neposlední řadě pak doc. RNDr. Janu Křížovi, PhD. za vedení této práce.

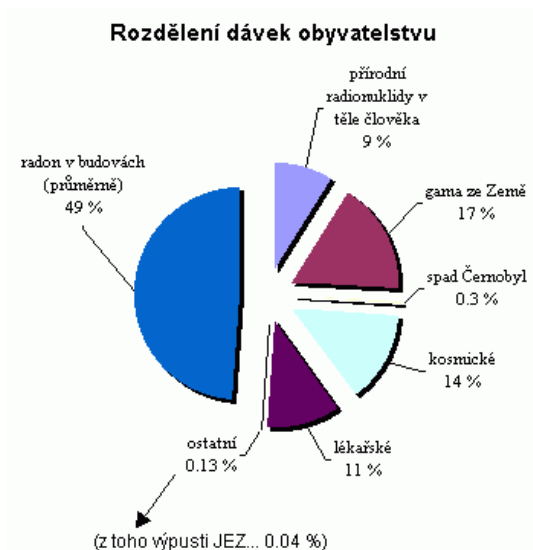
## Obsah

Úvod.....	7
2 Radon - fyzikální a chemické vlastnosti.....	11
3 Legislativa.....	12
3.1 Legislativa ČR.....	12
3.2 Legislativa a důležité dokumenty EU .....	14
4 Radonový program ČR.....	15
4.1 Historie Radonového programu.....	15
4.2 Radonový program ČR 2010 - 2019 - Akční plán.....	17
5 Měření a hodnocení objemové aktivity radonu.....	19
5.1 Faktory ovlivňující hodnotu OAR ve stavbách.....	19
5.1.1 Expoziční podmínky.....	19
5.1.2 Vlastnosti stavby .....	20
5.1.3 Další vlivy na koncentraci radonu ve stavbách .....	20
5.2 Výběr umístění měřicích zařízení .....	21
6 Základní metody měření objemové aktivity radonu.....	22
6.1 Pasivní stopové detektory.....	22
6.2 Systém pro integrální dozimetrii RM-1 .....	29
6.3 Kontinuální integrální monitor radonu RADIM.....	32
7 Měření OAR ve vybraných objektech.....	35
7.1 Příprava měření.....	35
7.2 Postup měření.....	41
7.3 Přehledy měření a výsledky .....	47
8 Diskuse naměřených výsledků .....	62
Závěr.....	65
Návrh na pokračování: .....	66
Použitá literatura a zdroje:.....	67
Seznam zkratk: .....	69
Seznam obrázků: .....	70
Seznam tabulek:.....	71
Seznam příloh:.....	73

# Úvod

Ozáření radonem ve stavebních patřičnosti patří mezi nejvyšší radiační expozice obyvatel ze všech přírodních i umělých zdrojů ionizujícího záření. Ozáření radonem je mnohonásobně vyšší než např. ozáření vyplývající z jaderné energetiky nebo ozáření v důsledku havárie jaderné elektrárny v Černobylu.

Pro ilustraci následuje graf, zobrazující rozdělení průměrných dávek obyvatelstvu, které pochází z různých zdrojů ionizujícího záření. Z grafu je jasně patrné, v jaké míře je populace vystavována působení radonu.



Obr. č. 1 - Rozdělení dávek obyvatelstvu [1]

Radon je nebezpečný zejména tím, že je všudypřítomný, ale přitom nezaznamatelný našimi smysly. Je obsažen v půdě, ve stavebních materiálech z přírodních surovin, ve vodě. Odtud se dostává do vzduchu, který dýcháme. Je součástí přírodního pozadí a není tak prakticky možné expozici vyloučit. V důsledku lidské činnosti však může docházet k hromadění radonu v míře prokazatelně ohrožující zdraví osob, které v takovém prostředí pobývají. V minulosti byli za ohroženou skupinu považováni zejména horníci, podle současných poznatků se však riziko může týkat i obyvatelstva ve stavebních s vysokou koncentrací radonu. [2]

Česká republika (dále jen ČR) patří celosvětově mezi státy, kde je radonová problematika velmi aktuální. Je to proto, že se na našem území nacházejí rozlehlá naleziště uranu, a radon je jedním z produktů jeho rozpadové řady.

Radonová problematika má na území ČR dlouholetou historii. Již zhruba od roku 1500 byla v dolech na stříbrnou rudu (v oblastech Krušných hor, Schneebergu a Jáchymova) popsána zvláštní plicní nemoc zřetelně odlišná od již tehdy známých souchotin. Byla připisována hornické činnosti a lidé tehdy měli za to, že je to trest za to, že vstupují do podzemí a odebírají Zemi její bohatství. V té době ještě radioaktivita ani uran nebyly známy a nevědělo se tudíž, že smolinec - smolný kámen, který se nacházel tam, kde končily stříbrné žíly, uran obsahuje a že radioaktivita může být příčinou tohoto onemocnění.

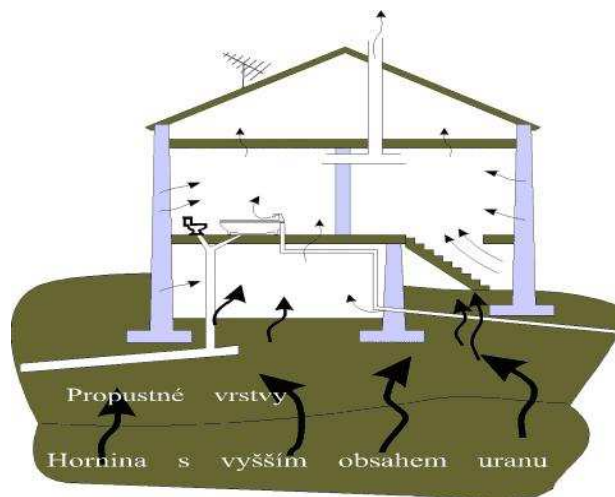
Jako rakovina plic (tedy přesněji karcinom epitelu dýchacích cest) byla nemoc diagnostikována až v roce 1879, 21 let před objevem radonu. I přesto však trvalo dalších 51 let (tj. do roku 1931), kdy se podařilo nezávisle na sobě prokázat prof. F. W. Daleovi z USA a našemu prof. F. Běhounkovi, že radon může toto onemocnění způsobovat a zároveň jak je možné, že jej způsobuje právě jen v plicích. Nezpůsobuje jej totiž radon sám, ten jako inertní plyn snadno z plic vystoupí, ale jeho dceřiné radionuklidy vznikající jeho přeměnou. Ty se jakožto atomy kovů v plicích zachycují na povrchu dýchacích cest a odtud ozařují buňky plicního epitelu, které mohou zmutovat na zhoubné. Dlouho bylo toto onemocnění spojováno s horníky.[2]

V 70. letech minulého století bylo zjištěno, že vysoké koncentrace radonu se mohou vyskytovat i v obytných budovách. To indikovalo, že radon není nebezpečný jen v podzemí při hornické činnosti, ale že je zdravotně nebezpečný celému obyvatelstvu, zejména ve stavbách, kde se vyskytuje ve vyšších koncentracích.

Zdravotní riziko radonu bylo potvrzeno epidemiologickými studiemi. Ty počáteční se týkaly horníků v uranových dolech a mezi nejdůležitější patřily studie z České republiky. Pozdější epidemiologické studie potvrdily, že delší vystavení vyšší koncentraci radonu může výrazně zvyšovat riziko onemocnění rakovinou plic i pro obyvatele. Mezi evropsky nejvýznamnější studie patří studie S. Darbyové - Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies [3]. Ta je nejrozsáhlejší a nejkompexnější. Její závěry jsou vyvozovány ze 13 studií provedených na území Evropy, mezi jinými i studie provedené v ČR. Výsledkem studie je kvantifikace míry rizika, tedy nárůst rizika vzniku rakoviny plic o 16% při nárůstu objemové aktivity radonu (dále jen OAR) o 100 Bq·m<sup>-3</sup>. Podíl rizika onemocnění rakovinou plic z radonu na celkovém počtu případů rakoviny plic je odhadován na 5 - 10%. Hlavní příčinou vzniku rakoviny plic je kouření, avšak kuřák o tomto riziku ví a podstupuje jej vědomě. Rakovinu plic mohou způsobovat i další faktory (genetická dispozice, škodliviny v ovzduší aj.). [2,4]

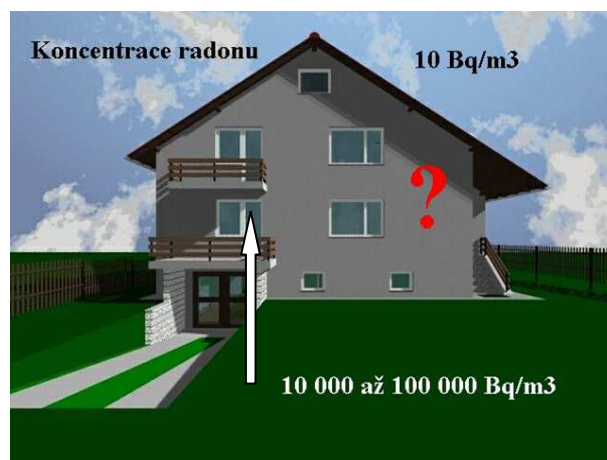


Jak může docházet k hromadění radonu v budovách? Budova je postavena na podloží obsahujícím radon, nebo dokonce z materiálů obsahujících vysoké koncentrace přírodních radionuklidů. Komínovým efektem je budova z podlaží vtahuje do sebe víc, než by odpovídalo jeho samovolné difúzi. V menší míře může být zdrojem radonu voda z individuálního zdroje, pokud jej obsahuje velké množství. Ten se pak může uvolňovat během mytí, praní a pod. V budovách se pak koncentruje především z důvodů čím dál dokonalejších izolací fasád a oken a nedostatečného větrání a na náš organismus působí více i díky tomu, že se čím dál víc zdržujeme v budovách, než mimo ně.



Obr. č. 2 - Vstup radonu do budovy [1]

Typická koncentrace radonu v půdě je mezi 10 000 až 100 000 Bq·m<sup>-3</sup>, zatímco ve vzduchu jen kolem 10 Bq·m<sup>-3</sup>. Ve stavebách se však průměrná koncentrace radonu pohybuje mezi 100 a 200 Bq·m<sup>-3</sup>. To je způsobeno právě komínovým efektem.



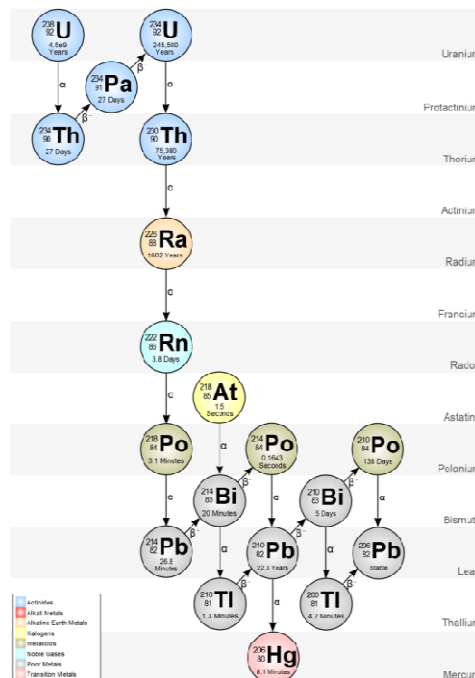
Obr. č. 3 - Typické koncentrace radonu [Zdroj: Ing. Eva Pravdová, SÚJB]

Radon je plyn bez barvy, bez zápachu a nepůsobí okamžitě. Člověk nemůže svými smysly jakkoli poznat, že na něj radon působí, že je jeho vlivu vystaven a že mu nějak ubližuje. Proto je obtížné informovat veřejnost o riziku radonu a motivovat zejména majitele domů a bytů, aby se aktivně o radon zajímali, aby běžní obyvatelé sami měli zájem provádět měření koncentrací radonu ve svých obydlích a v případě potřeby prováděli různá protiradonová opatření. Obyvatelé často vůbec nechtějí zjistit, zda jejich dům či byt nepřekračuje doporučené úrovně pro koncentrace radonu ( $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  ve stávajících budovách,  $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  v novostavbách), protože se obávají, že případná opatření budou příliš nákladná a nebo i jen proto, že nechtějí slyšet špatné zprávy.

Cílem této práce je přispět k osvětě obyvatelstva co se působení a nebezpečnosti radonu týče. Dalším cílem práce je porovnat různé metody měření radonu, zjistit, zda jsou dostatečně efektivní a případně navrhnout, co by se při jejich uplatňování mohlo změnit či doplnit.

## 2 Radon - fyzikální a chemické vlastnosti

Všechny přírodní rozpadové řady obsahují jediný plynný prvek - izotop radonu. Jako radon je obecně označován izotop  $^{222}\text{Rn}$ . Další izotopy radonu mají velmi krátký poločas rozpadu a jejich podíl na ozáření osob je řádově nižší než u radonu. Radon byl objeven v roce 1898 F. E. Dornem. Jedná se o inertní plyn bez barvy, chuti a zápachu. Je to terestriální (pocházející z naší planety) radionuklid vznikající radioaktivní přeměnou z původního mateřského radionuklidu - uranu  $^{238}\text{U}$ . Patří do uranové rozpadové řady jako přímý produkt rozpadu radia  $^{226}\text{Ra}$ . Poločas rozpadu radonu je 3,82 dní. Jeho produkty přeměny jsou polonium  $^{218}\text{Po}$ , olovo  $^{214}\text{Pb}$ , vizmut  $^{214}\text{Bi}$ , polonium  $^{214}\text{Po}$  a olovo  $^{210}\text{Pb}$ . První čtyři produkty ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  a  $^{214}\text{Po}$ ) jsou krátkodobé (s poločasem přeměny v řádu minut). Právě rozpadové produkty jsou zodpovědné za riziko ozáření člověka. [5]



Obr. č. 4 - Rozpadové schéma  $^{238}\text{U}$  [6]

Radon je na 86. místě Mendělejevovy soustavy (s protonovým číslem 86, periodou 6, skupinou VIII.A, zařazením vzácné plyny) a je nejtěžší z inertních plynů. Snadno se šíří difúzí, je rozpustný ve vodě a krvi. Jen vzácně tvoří sloučeniny (s fluorem, chlorem a kyslíkem), jedná se však o velmi nestabilní látky a silná oxidační činidla. Relativní atomová hmotnost radonu je 222, hustota  $9,73 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , elektronegativita 2,0, oxidační stavy 0. [5]

Množství radonu v ovzduší se vyjadřuje jako objemová aktivita radonu, pro kterou se používá jednotka  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ .

## 3 Legislativa

### 3.1 Legislativa ČR

V této kapitole jsou představeny základní legislativní dokumenty týkající se měření radonu v ČR.

#### **Atomový zákon:**

Zákon č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997 o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů je zásadním právním předpisem týkajícím se radonu v ČR.

Pro účely měření radonu je důležitý zejména §6 - Ozáření z přírodních zdrojů, odst. 5:

*"Ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, u kterých úroveň ozáření z přírodních radionuklidů ve vnitřním ovzduší je vyšší než prováděcím právním předpisem stanovené směrné hodnoty a toto ozáření lze snížit takovým zásahem, s nímž spojené očekávané snížení zdravotní újmy je dostatečné k odůvodnění škod a nákladů spojených se zásahem, je vlastník budovy povinen usilovat o jeho snížení na úroveň, jakou lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek. Přesahuje-li úroveň ozáření prováděcím právním předpisem stanovené mezní hodnoty, stavební úřad nařídí provedení nezbytných úprav na stavbě z důvodů závažného ohrožení zdraví, je-li to ve veřejném zájmu. O překročení směrných nebo mezních hodnot a o provedených zásazích musí vlastník budovy informovat nájemce." [7]*

#### **Vyhláška o radiační ochraně:**

Vyhláška č. 307/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů - vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost ze dne 13. června 2002 o radiační ochraně je dalším právním předpisem týkajícím se radonu. Pro tuto práci je důležitý § 17 zabývající se optimalizací radiační ochrany, kdy se zpravidla porovnávají náklady na různá opatření ke zvýšení radiační ochrany, jako je přemístění osob nebo vybudování dodatečných bariér, s finančním ohodnocením očekávaného snížení ozáření (dále jen "přínos opatření"). Rozumně dosažitelná úroveň radiační ochrany se považuje za prokázanou a opatření nemusí být provedeno, pokud by náklady byly vyšší než přínos opatření. Přínos opatření se při tomto postupu vyčíslí tak, že snížení kolektivní efektivní dávky u posuzované skupiny osob se násobí součinitelem:

- a) 0,5 mil. Kč na Sv pro radiační činnosti, kdy průměrná efektivní dávka u jednotlivce nepřesáhne jednu desetinu příslušných limitů ozáření,
- b) 1 mil. Kč na Sv pro radiační činnosti, kdy průměrná efektivní dávka u jednotlivce přesáhne jednu desetinu, ale nikoliv tři desetiny příslušných limitů ozáření,
- c) 2,5 mil. Kč na Sv pro radiační činnosti, kdy průměrná efektivní dávka u jednotlivce přesáhne tři desetiny příslušných limitů ozáření,
- d) 1 mil. Kč na Sv pro lékařské ozáření,
- e) 0,5 mil. Kč na Sv pro ozáření z přírodních zdrojů ionizujícího záření, které nejsou záměrně využívány,
- f) 2,5 mil. Kč na Sv pro havarijní ozáření.

Dále pak §95 ve kterém jsou stanoveny hodnoty pro rozhodování o tom, zda má být ve zkolaudovaných stavbách s obytnými či pobytovými prostory proveden zásah ke snížení stávajícího ozáření z přírodních radionuklidů. Pro úplnost jsou uvedeny důležité části §95:

Směrné hodnoty pro rozhodování o tom, zda má být ve zkolaudovaných stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi proveden zásah ke snížení stávajícího ozáření z přírodních radionuklidů, jsou:

- a) 400 Bq·m<sup>-3</sup> pro objemovou aktivitu radonu ve vnitřním ovzduší obytné nebo pobytové místnosti; tato hodnota se vztahuje na průměrnou hodnotu při výměně vzduchu obvyklé při užívání,
- b) 1 μSv·h<sup>-1</sup> pro maximální příkon fotonového dávkového ekvivalentu v obytné nebo pobytové místnosti.

Mezní hodnoty pro ozáření z přírodních radionuklidů ve zkolaudovaných stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi jsou:

- a) 4000 Bq·m<sup>-3</sup> pro objemovou aktivitu radonu ve vnitřním ovzduší obytné nebo pobytové místnosti; tato hodnota se vztahuje na průměrnou hodnotu při výměně vzduchu obvyklé při užívání,
- b) 10 μSv·h<sup>-1</sup> pro maximální příkon fotonového dávkového ekvivalentu v obytné nebo pobytové místnosti.

Směrné hodnoty pro rozhodování o tom, zda mají být v projektovaných a stavěných budovách s obytnými nebo pobytovými místnostmi připravována a prováděna opatření proti pronikání radonu z podloží, stavebních materiálů a dodávané vody a proti zevnímu ozáření gama záření ze stavebních materiálů, jsou:

- a) 200 Bq·m<sup>-3</sup> pro objemovou aktivitu radonu ve vnitřním ovzduší obytné nebo pobytové místnosti; tato hodnota se vztahuje na průměrnou hodnotu při výměně vzduchu obvyklé při užívání,
- b) 0,5 μSv·h<sup>-1</sup> pro maximální příkon fotonového dávkového ekvivalentu v obytné nebo pobytové místnosti. [8]

## 3.2 Legislativa a důležité dokumenty EU

Dlouhodobě a historicky se na vědecké bázi věnuje ochraně radonu ICRP - International Commission on Radiological Protection, která vydává doporučení pro regulaci ozáření.

World Health Organization (WHO) převzala doporučení a vydala dokument Handbook on Indoor Radon z r. 2009. V něm navrhuje referenční hodnotu  $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Pokud jí nemůže být dosaženo, potom maximálně  $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . [9]

ICRP vydala v r. 2010 publikaci Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. V ní doporučuje jako referenční hodnotu pro OAR v budovách  $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . [10]

Následuje Směrnice 59/2013 Euratom ze dne 5. prosince 2013, kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření. Ta stanovuje, aby všechny členské státy přijaly referenční úroveň OAR maximálně  $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  pro všechny stavby pro bydlení a pobyt osob. Implementace do 6.2.2018. [11]

Dalším významným dokumentem je publikace International Atomic Energy Agency (IAEA) - Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation z r. 2015. Zabývá se především doporučeními a postupy pro ochranu osob před ozářením v souvislosti s implementací evropské direktivy. [12]

## 4 Radonový program ČR

Ochrana proti ozáření z radonu je problematika, která se týká radiační ochrany, ochrany zdraví i konstrukce staveb a přesahuje tak kompetence jednoho rezortu. Proto byl formulován Radonový program ČR jako meziresortní projekt, jehož cílem je přispět ke snížení počtu úmrtí na rakovinu plic v důsledku zvýšeného ozáření radonem tím, že bude nalezeno a ozdraveno co nejvíce domů s vysokou koncentrací radonu. [13]

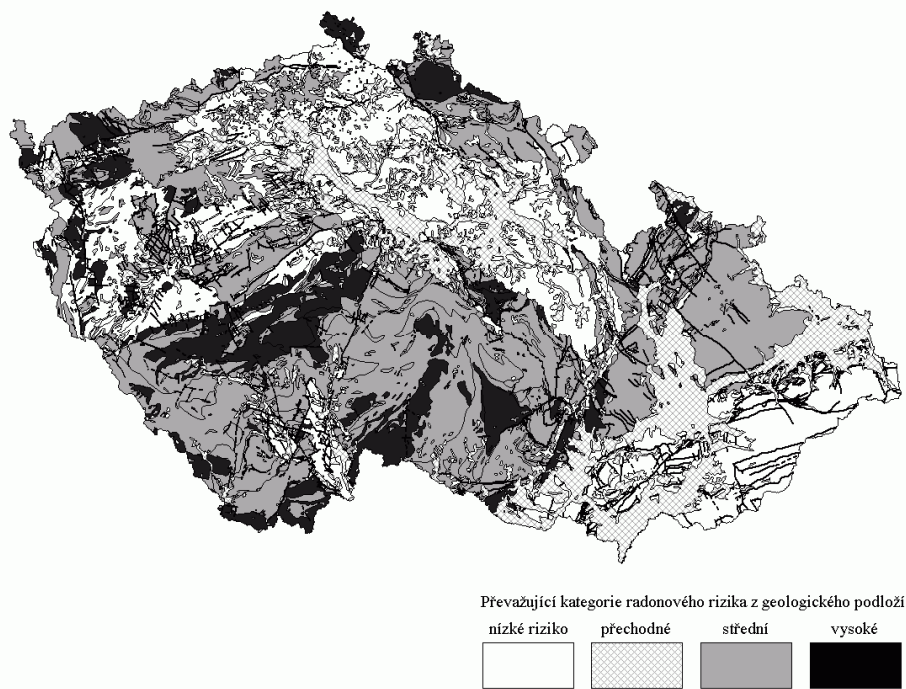
### 4.1 Historie Radonového programu

Přítomnost vyšší OAR v budovách byla poprvé zjištěna v polovině 50. let ve Švédsku. Teprve mnohem později byly nalezeny vhodné technologické postupy pro snižování OAR, což později umožnilo expozici obyvatel tomuto záření regulovat a legislativně prosazovat.

V ČR byla zvýšená úroveň přírodního ozáření sledována zejména ve stavbách postavených ze stavebních materiálů vyráběných z odpadů po těžbě černého uhlí, které obsahovaly vysoké koncentrace přírodních materiálů - zejména v rynholeckém škvárobetonu, později v pórobetonu z Poříčí u Trutnova. První měření OAR v domech byla prováděna v r. 1979. Díky intenzivnímu měření však bylo zjištěno, že hlavním zdrojem radonu v budovách na území ČR je kromě uvedených specifických případů radon z podloží.

Na základě rozsáhlého reprezentativního průzkumu OAR v domech, který prováděl Státní zdravotní ústav - kolektiv pod vedením RNDr. Josefa Thomase v letech 1983-1984 a 1992-1993 bylo možné odhadnout průměrnou OAR v domech v ČR na  $119 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Vznikaly také první návrhy úrovní pro regulaci přírodního ozáření, které byly zahrnuty do vyhlášky č. 76/1991 Sb.

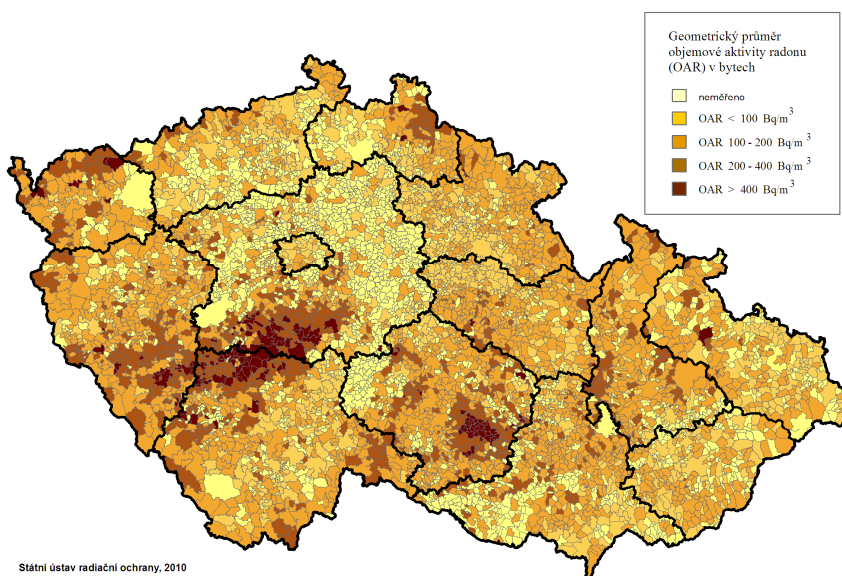
Na základě zjištění, že největší riziko představuje radon z geologického podloží, začaly postupně vznikat geologické mapy radonového rizika (první byla vydána již v r. 1990). [2]



Obr. č. 5 - Mapa radonového rizika v ČR [1]

Radonový program ČR byl zpočátku zaměřen na intenzivní vyhledávání budov s vysokou OAR. Současně byly pro majitele domů postižených radonem poskytovány státní dotace na provedení ozdravných protiradonových opatření. [2]

**Geometrický průměr objemové aktivity radonu (OAR) v obcích České republiky**



Obr. č. 6 - Mapa průměrných OAR ve stavbách v ČR [1]



## 4.2 Radonový program ČR 2010 - 2019 - Akční plán

Do roku 2009 šlo především o měření OAR v budovách a o ozdravování budov s pomocí státních dotací. V roce 2010 však došlo ke změně priorit, neboť se ukázalo, že dosavadní postup nebyl dostatečně účinný. Probíhalo příliš nákladných měření, avšak ozdravování budov se neprovádělo v dostatečné míře a dotace byly často plýtvány na neúčinná opatření. Proto v roce 2010 vznikl Akční plán (byl schválen Usnesením vlády ČR č. 594 ze dne 4. 5. 2009), který je orientován především na osvětu.

Dle novely směrnice Rady 96/29/Euratom jsou kladeny větší požadavky na regulaci ozáření z přírodních zdrojů. Novela směrnice obsahuje požadavek na implementaci „akčního plánu“ pro radon v bytech do právních předpisů členských států Evropské Unie (dále jen EU). „Akční plán“ požaduje stanovení cílů a strategie pro snižování rizika rakoviny plic z radonu, identifikaci oblastí se zvýšeným rizikem z radonu, stanovení požadavků na pracoviště se zvýšeným rizikem přírodního ozáření a stanovení příslušných referenčních úrovní. Týká se ale i prevence a ozdravování stávajících obydlí, zpracování metod měření a ozdravování, vytyčení strategie informovanosti a rozdělení odpovědnosti mezi správní orgány.

Základním cílem Akčního plánu je přispět ke snížení počtu úmrtí na rakovinu plic v důsledku zvýšeného ozáření radonem a jeho dceřinými produkty. Jako nástroje pro naplnění tohoto cíle slouží průběžná aktualizace právních předpisů ČR s ohledem na nové poznatky o zdravotním riziku přírodního ozáření a na změny v legislativě EU. Dalším cílem je vytvoření strategie obecné i cílené informovanosti, aktualizace metodických podkladů pro měření a hodnocení přírodního ozáření, aktualizace správních i technologických postupů pro řešení případů nepříjemně vysokého přírodního ozáření a definice indikátorů zvýšeného výskytu radonu v podloží.

Cílovou skupinou Akčního plánu jsou v obecné rovině všichni občané, protože všichni mohou být potenciálně vystaveni riziku zvýšeného přírodního ozáření, především však stavitelé nových bytů na územích se zvýšeným radonovým rizikem a obyvatelé žijící ve starých domech se zvýšenou objemovou aktivitou radonu. [14]

Struktura Akčního plánu:

- 1) Strategie informovanosti.

Cílem je zajištění obecné informovanosti veřejnosti a cílené informovanosti skupiny občanů i profesních skupin, kterých se Akční plán přímo týká, o přírodním ozáření a jeho zdravotních rizicích. Patří sem tisk brožur a informačních letáků, zajišťování informačních webových stránek, zpracování podkladů pro krajské, obecní a stavební úřady, vzdělávání veřejnosti (odborné i laické). Dále např.

koordinace celostátní informační kampaně, zpracování informačních materiálů pro mediální použití a další.

## 2) Strategie protiradonové prevence.

Prevence v oblasti ozáření z radonu se týká novostaveb budov s obytnými a pobytovými místnostmi. Provádění preventivních protiradonových opatření při výstavbě budov s obytnými a pobytovými místnostmi má zajistit, aby úroveň přírodního ozáření v nich byla tak nízká, jak lze rozumně dosáhnout s ohledem na ekonomická a společenská hlediska, a aby nebyla překročena směrná hodnota objemové aktivity radonu  $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  pro projektované a stavěné budovy.

## 3) Strategie usměrňování stávajícího ozáření z radonu.

Smyslem strategie je postupně snižovat počet existujících bytů a budov ve veřejném zájmu, ve kterých je překročena směrná hodnota objemové aktivity radonu  $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ .

## 4) Odborná vědecko-technická podpora realizace úkolů Akčního plánu.

Aby bylo možné trvale udržet vysokou odbornou úroveň řešení radonové problematiky v ČR, jsou v rámci Akčního plánu podporovány a financovány výzkumné a vývojové projekty, které přinášejí nové poznatky o riziku radonu i metodické a technologické postupy pro jeho snižování.

V rámci Akčního plánu - strategie informovanosti vznikla také tato práce, která byla zpracována ve spolupráci s Regionálním centrem Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB) v Hradci Králové. [14]

## 5 Měření a hodnocení objemové aktivity radonu

Objemová aktivita radonu ve stavbě není dána pouze vlastnostmi samotné stavby. Pro hodnocení výsledku měření je důležité zjistit a popsat všechny okolnosti a skutečnosti, které mohou výsledky ovlivnit.

Měření a hodnocení objemové aktivity radonu jako službu pro občany a instituce mohou provádět pouze subjekty, které jsou držiteli povolení SÚJB. Metodiky jsou zveřejněny ve formě Doporučení SÚJB.

Před provedením měření je potřeba provést prohlídku stavby, v které bude měření prováděno. Účelem této prohlídky je zjistit a popsat stavebně technické podmínky měření, zakreslit plánec budovy a popis stavby i s plánkem, případně fotografií přiložit k protokolu o měření.

Měření a hodnocení ozáření z přírodních zdrojů zahrnuje:

- Měření objemové aktivity radonu.
- Měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu.
- Pomocná měření (měření teploty uvnitř stavby, kontinuální měření objemové aktivity radonu, měření venkovní teploty, měření dávkového příkonu záření gama pro korekce výpočtu při měření pomocí elektretových detektorů). [15]

### 5.1 Faktory ovlivňující hodnotu OAR ve stavbách

Měření radonu není prováděno v laboratorních podmínkách, a tudíž není možné eliminovat různé faktory, které mohou OAR ve stavbách příznivě, či nepříznivě ovlivnit. Následuje výčet těch nejvýznamnějších:

#### 5.1.1 Expoziční podmínky

Jedná se o podmínky a okolnosti užívání stavby v době měření. Závisí především na způsobu využití stavby a zvyklostech uživatelů či obyvatel. Jsou to podmínky proměnné a ovlivnitelné a silně ovlivňují výsledné ozáření uživatelů či obyvatel. Nejvíce se na měření projevuje ventilace stavby a to, jak se uživatelé chovají. Zda např. často otvírají dveře (v bytě s čtyřčlennou rodinou a psem to bude pravděpodobně častější než v bytě obývaném jedním seniorem).

Expoziční podmínky v obývaných stavbách mohou být (podle typu měření):

- a) Uživatelské - používají se u dlouhodobých měření v obývaných stavbách, odrážejí podmínky běžného provozu. Vzduchotechnická a klimatizační zařízení a

aktivní systémy pro ochranu stavby proti přísunu radonu z podloží jsou zapnuty v běžném provozním režimu.

b) **Kontrolované** - používají se při krátkodobých, zpravidla sedmidenních měřeních v obývaných stavbách. Za tak krátkou dobu není možné postihnout sezónní variace a vliv topného období. Podmínky měření se nastavují tak, aby byly mírně zhoršené proti běžnému užívání a nedošlo tak k podcenění situace. Taková měření se doporučuje provádět v období od září do května, kdy teplota uvnitř budovy alespoň na 10 hod. denně přesahuje o 5°C teplotu venkovní. Uživatelé jsou poučeni, aby během měření dbali zavírání dveří a snížili ventilaci. Vzduchotechnická a klimatizační zařízení a aktivní systémy pro ochranu stavby proti přísunu radonu z podloží jsou zapnuty v běžném provozním režimu. [15]

### **5.1.2 Vlastnosti stavby**

#### **Použitý stavební materiál:**

Důležitým faktorem ovlivňujícím koncentraci radonu ve stavbách je použitý materiál. Každý materiál obsahuje určité množství přírodních radionuklidů a radon se z něho může částečně uvolňovat. Je proto nutné zjistit, z jakého materiálu je stavba zhotovena a přihlédnout k tomu při hodnocení výsledků.

OAR může významně zvýšit zateplování budov a materiál, kterého je použito na okna a dveře. Starší budovy bez zateplení a se staršími dřevěnými okny "dýchají" více než moderní zateplené stavby s okny plastovými. V takovýchto moderních budovách OAR narůstá, neboť únikových cest z budovy pro radon je méně.

#### **Způsob izolování stavby od podloží, realizovaná preventivní, případně ozdravná protiradonová opatření:**

Ke snížení OAR ve stavbách je možné použít vhodná protiradonová opatření a to jak u stávajících budov, tak novostaveb. Jedná se o různé systémy odvětrávání a filtračních vrstev mezi podložím a samotnou budovou.

### **5.1.3 Další vlivy na koncentraci radonu ve stavbách -**

#### **Meteorologické podmínky v době měření, střídání ročních období:**

OAR v budově mohou ovlivňovat meteorologické podmínky. Např. silný vítr, inverze apod. Také střídání ročních období, které ovlivňuje větrání budovy, způsob vytápění či klimatizace.

## 5.2 Výběr umístění měřicích zařízení

Jako měřicí místa se v rodinných a bytových domech volí všechny obytné místnosti a kuchyně v prvním obývaném podlaží, alespoň jedna třetina obytných místností ve druhém podlaží a všechny místnosti bez ohledu na podlaží, ve kterých existuje podezření na použití stavebního materiálu se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů.

V bytových domech, které jsou podsklepeny, nebo z jiného důvodu nemají kontakt s podložím, je měřicím místem nejméně jedna čtvrtina ze všech obytných a pobytových místností. Měřicí místa se rozmisťují rovnoměrně dle půdorysu budov.

U budov s pobytovými místnostmi nebytového charakteru jsou jako měřicí místa voleny všechny pobytové místnosti v prvním užívaném podlaží a rovněž každá pobytová místnost, u níž existuje podezření, že pro její výstavbu byl použit stavební materiál s vyšším výskytem přírodních radionuklidů.

V případě krátkodobého měření v neobývaných stavbách, nebo mimo topné období, se stanovuje měřicí místo pro kontrolu expozičních podmínek. Volíme obytnou či pobytovou místnost v kontaktu s podložím v nejnižším podlaží. [15]

## 6 Základní metody měření objemové aktivity radonu

Cílem měření je vždy odhadnout průměrnou OAR při dlouhodobém užívání. Nejlepší je roční měření, které postihne všechny teplotní změny. Při krátkodobém měření se volí takové podmínky, aby tento dlouhodobý průměr co nejlépe simulovaly při dodržení zásady nepodcenit ozáření.

Existují tři typy měření OAR:

- Integrální (dlouhodobé či krátkodobé).
- Kontinuální.
- Okamžité - pouze po potřeby radonové diagnostiky, např. k určení cest, kudy radon do budovy vstupuje.

V této práci bylo využito obou typů měření integrálních i měření kontinuálního. Podrobný popis metod měření OAR použitých pro účely této práce je rozepsán níže.

### 6.1 Pasivní stopové detektory

Pasivní detektory jsou takové, které samy nevykonávají žádnou činnost (nesají aktivně vzduch), jsou pouze umístěny v místě měření, kde na ně působí radon přítomný v ovzduší. Jedná se o malé plošky folie nitrátu celulózy o tloušťce 12  $\mu\text{m}$  vložené do plastových koleček. Exponovaná plocha má obsah cca 50  $\text{mm}^2$ .



Obr. č. 7 - Pasivní stopové detektory [Zdroj: A. Havlová]

Detektor se umístí tak, aby v místě měření nepřekážel, nejlépe na skříň apod. tak, aby na něj nepůsobily okolní vlivy (sluneční záření, průvan). Neumísťuje se ani příliš blízko stěn, aby výsledky nebyly zkresleny zářením z materiálů obsažených ve stěnách. Ideální vzdálenost je cca 50cm, ale v praxi je tato vzdálenost špatně dosažitelná, je nutné dodržet alespoň vzdálenost zhruba 20 cm. Zde se nechá ideálně po dobu 1 roku, ale dobu expozice lze v případě potřeby zkrátit až na 2 měsíce. Exponovaný detektor se poté odevzdá laboratoři, která provede jeho vyhodnocení.[16]

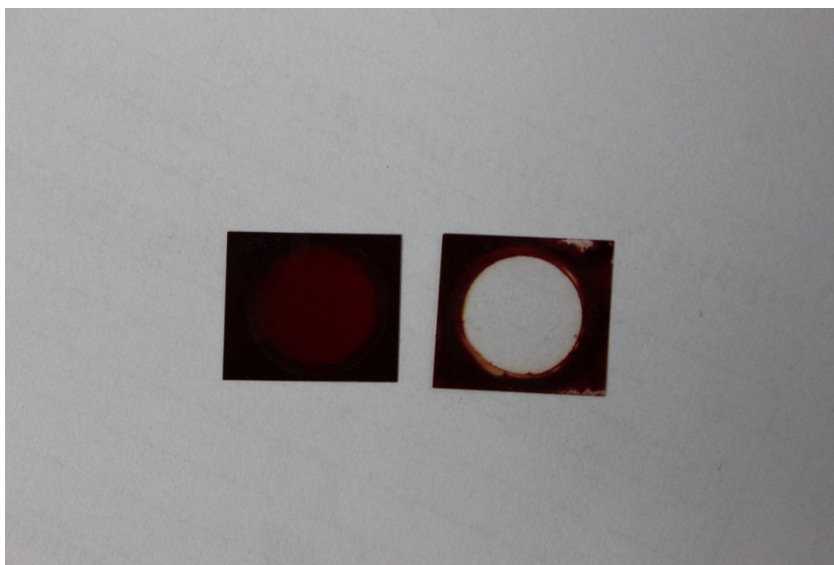


Obr. č. 8 - Komůrka pro měření stopovým detektorem [Zdroj: A. Havlová]

Detektor umí zachytit částice z okolí od 2cm do 6 cm a to ve všech směrech. Je umístěn v krabičce z PVC odpovídajících rozměrů, v které vznikne mikroklima a do které pronikne pouze plynný radon.

Detektor zachycuje alfa částice, emitované z přeměny radonu, dopadající na fólii určitou rychlostí (při energii od 4 do 8 MeV). K vyhodnocování se používá leptání hydroxidem sodným (NaOH - dále jen louh). Pokud je částice příliš pomalá, nepronikne do fólie dost hluboko na to, aby na ní po vyleptání horních vrstev louhem zůstal pozorovatelný otvor. Příliš rychlá částice zase pronikne skrz fólii, vůbec se v ní nezachytí a nezanechá po průchodu viditelné stopy. Částice se "správnou" rychlostí zůstanou ve fólii zachyceny dostatečně hluboko na to, aby při leptání louh v místech jejich zachycení pronikl skrz fólii. Ta je na těchto místech poškozená a tudíž leptání probíhá rychleji než v okolí. Ve fólii, jejíž vrchní vrstva je zabarvená tak vzniknou otvory, které je možné po prosvícení pozorovat pod mikroskopem. Objemová aktivita radonu se pak měří tak, že se otvory ve fólii spočítají a přepočtou na 1 mm<sup>2</sup>. Z tohoto údaje vynásobeného kalibračním faktorem (viz. níže) se dopočítá OAR.

Koncentrace louhu v leptacím zařízení je  $0,86 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Teplota leptání se pohybuje okolo  $60^\circ\text{C}$ . Je zvolena tak, aby leptání netrvalo příliš dlouho, ale aby ani neproběhlo příliš rychle a data se neztratila. Závislost rychlosti leptání na teplotě je exponenciální. Při teplotě kolem  $20^\circ\text{C}$  by leptání trvalo zhruba 14 dní. Při teplotě  $70^\circ\text{C}$  již několik sekund. Při teplotě  $60^\circ\text{C}$  to trvá zhruba 45-50 min. [16]



Obr. č. 9 - Málo (vlevo) a příliš (vpravo) naleptané fólie [Zdroj: A. Havlová]

Vyhodnocování stopových detektorů probíhá výhradně v pracovišti Státního ústavu jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i. (dále jen SÚJCHBO) v obci Kamenná u Příbrami. Postup a průběh vyhodnocování stopových detektorů je popsán kvůli přehlednosti a úplnosti níže tak, jak probíhá v čase (údaje byly získány ze záznamů pořízených při stáži v SÚJCHBO pod vedením Ing. Josefa Holečka):

- |             |   |
|-------------|---|
| 6:20        | Start sušárny (ohřev detektorů na $60^\circ\text{C}$ , což je teplota lázně louhu, aby se předešlo šoku a aby se nezpomalil proces leptání)   |
| 6:20 - 6:30 | Praní vody - odloučení železa   |
| 6:30 - 6:42 | Rozpouštění louhu   |
| 6:45        | Start ohřevu louhu  |
| 8:00        | Zjišťování koncentrace louhu titrací do kyseliny chlorovodíkové (HCl). Do roztoku louhu je přidáno několik kapek organického barviva rozpuštěného v lihu - metyloranž ( $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$ ). Titrací mění indikátor barvu. Podle toho, po jakém přidaném množství HCl se barva změní je možné určit koncentraci louhu v roztoku. |



8:30

Umístění detektorů určených k leptání do nádrže s louhem v leptacím zařízení stopových detektorů.



Obr. č. 10 - Leptací zařízení [Zdroj: A. Havlová]

10:15

Zkouška, zda bylo dobře vyleptáno. Dva zkušební, uměle nazářené, detektory se umístí do mikroskopu přímo v laboratoři, aby se zjistilo, zda se objeví otvory po průniku alfa částic a zda jsou správné velikosti (příliš velké nebo úplně odleptaná barva - detektory byly v nádrži příliš dlouho; žádné dírkky či příliš malé - detektory nebyly v nádrži dostatečně dlouho).

Před umístěním do mikroskopu je nutné detektory umýt ve vodě a v denaturovaném lihu, aby se zbavily zbytků louhu a zarovnal se nedokonalosti po leptání.

Pokud zkouška ukáže, že leptání proběhlo v pořádku, přistoupí se k praní kazet s ostatními detektory.



Obr. č. 11 a 12 - Mikroskop v laboratoři bez vzorku, se vzorkem ( s patrnými otvory po částicích alfa na monitoru) [Zdroj: A. Havlová]

- 10:20 Vypuštění roztoku louhu z nádrže a napuštění 1. prací vody.
- 10:40 Výměna 1. prací vody - napuštění 2. prací vody.
- 11:00 Výměna 2. prací vody - napuštění 3. prací vody.
- 11:20 Vypuštění vody a napuštění denaturovaného lihu. V něm jsou detektory umístěny cca 2 min.
- 11:22 Vypuštění lihu a znovu napuštění prací vody.
- 11:45 Kazety jsou vyndány z leptacího zařízení a umístěny do sušárny, kde se zbaví vody.



Obr. č. 13 - Sušárna na stopové detektory [Zdroj: A. Havlová]

14:15 Vyleptané, omyté a osušené detektory se přenáší z laboratoře ke stanovišti s vyhodnocovacím mikroskopem připojeným k počítači a začíná se s čtením detektorů.

Kalibrace přístroje pomocí detektorů ozářených známou hodnotou záření a porovnáním s předchozím stavem. Použity jsou 2 detektory nazářené v laboratorních podmínkách zářičem  $^{241}\text{Am}$ .

Počítač zobrazuje na monitoru to, co je vidět v mikroskopu. Mikroskop projede celou exponovanou plochu folie detektoru a rozdělí ji na 25 polí zhruba po  $2\text{ mm}^2$ . Každé zvláště oskenuje a počítačový program označí každý útvar, který tvarem a velikostí odpovídá otvoru po alfa částici. Tyto otvory pole po poli sčítá a přepočítá na počet děr na  $1\text{ mm}^2$ . Pracovník vyloučí pole příliš poškozená či taková, o kterých usoudí, že by mohla zkreslovat výsledek.

Průměrná velikost otvorů alfa částic se pohybuje mezi  $15 - 25\ \mu\text{m}$ . K vyhodnocení jednoho detektoru je potřeba čas cca 3 min.



Obr. č. 14 - Kazeta se stopovými detektory určenými k vyhodnocení  
[Zdroj: A. Havlová]

14:26 Umístění prvních vzorků z leptání - testovací vzorky, které mají za účel podat zprávu o tom, jak proběhlo leptání (podobné vzorky byly použity při první kontrole leptání). Taktéž jsou nazářeny  $^{241}\text{Am}$ . Celkem 3 detektory.

14:37 Sada detektorů určená k tomu, aby se mohlo posoudit pozadí, tedy určení minimální detekované aktivity. Ideálně by se při tomto testu

nemělo na monitoru zobrazit nic, ale reálně bývají folie poškozené manipulací, balením, převozy. Často se také stává, že je folie v kontaktu s okolím, je nedostatečně odstíněná či se nazáří při transportech a to způsobí škody a útvary na foliích ještě před samotným měřením. Aby se tyto pozad'ové vlivy eliminovaly a nezkruslovaly se výsledky, vyhodnotí se několik čistých fólií, aby se poté porovnaly s vyhodnocovanými detektory, a tato chyba se započítá do převodního kalibračního faktoru.

Používají se 2 typy detektorů s dvěma druhy fólií - OKT 08 a NOV 12. V tomto kroku se testuje 10 kusů od každého typu.

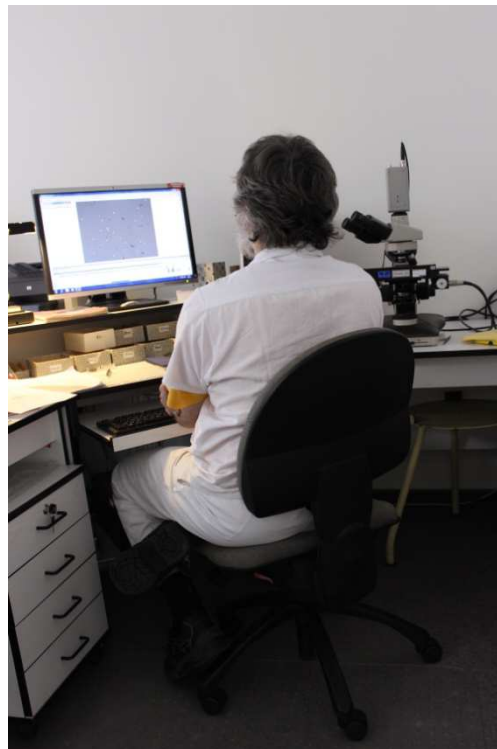
15:26

Kalibrace k porovnání uměle nazářených detektorů a detektorů přírodně nazářených, určených k vyhodnocování. Celkem se prověřuje 6 detektorů ozářených radonem o známé koncentraci v laboratorních podmínkách - v radonové komoře autorizovaného metrologického střediska. Každý detektor je ozářen jinou dávkou v rozmezí cca od 120 do 600 MBq·m<sup>-3</sup>.

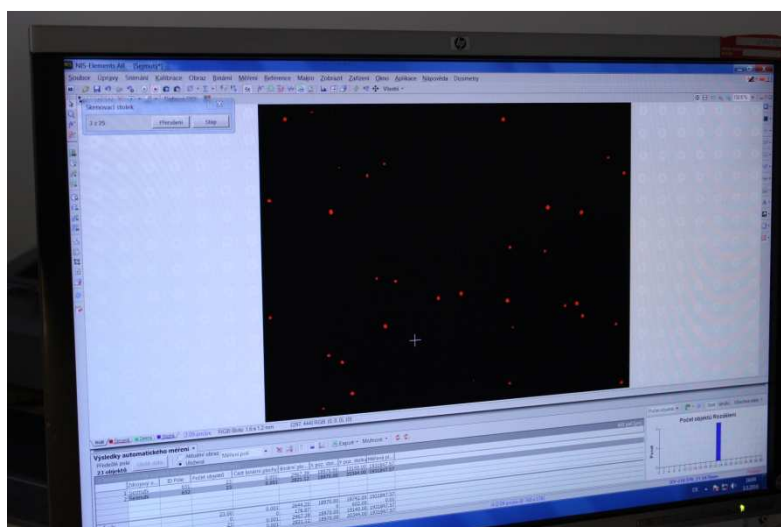
Nyní je možné určit kalibrační faktor. Ten se určuje pomocí směrodatných odchylek vzniklých při vyhodnocování kalibračních detektorů a pozad'ových detektorů.

15:55

Umístění prvního detektoru přírodně ozářeného a určeného k vyhodnocení.



Obr. č. 15 - Ing. Josef Holeček při vyhodnocování vzorků [Zdroj: A. Havlová]



Obr. č. 16 - Snímek monitoru PC během "čtení" vzorku v mikroskopu - červeně jsou zvýrazněny dírkky způsobené částicemi alfa [Zdroj: A. Havlová]

Vzorec pro výpočet OAR:

$$OAR = k \cdot h \cdot (N_v - N_p)$$

Kde  $k$  – kalibrační faktor udávaný v  $Bq \cdot m^{-1} \cdot h^{-1}$ ,  $h$  – korekční faktor na čas v (h),  $N_v$  – označuje plošnou hustotu počtu stop na exponovaném detektoru ( $m^{-2}$ ),  $N_p$  – je plošná hustota počtu stop od pozadí v  $m^{-2}$ , OAR je udávána v  $Bq \cdot m^{-3}$ . [16]

## 6.2 Systém pro integrální dozimetrii RM-1

Systémy pro integrální dozimetrii (dále jen elektrety) se skládají ze dvou částí - samotného elektretu a expoziční komůrky RM 200A. Expoziční komůrka je vyrobena z elektrovedivého plastu. Nejdůležitější část elektretu je tvořena destičkou z vysokoohmového polymeru (flexon o tloušťce 1mm). Na jeho povrchu je fixován kladný náboj. Po vložení elektretu do expoziční komůrky se na jejím vnitřním povrchu indukuje elektrický náboj (opačné polarity a stejné velikosti jako náboj vázaný na povrchu elektretu) a uvnitř vznikne elektrostatické pole.

Vzduch z okolní atmosféry obsahující radon difunduje filtrem a dalšími netěsnostmi do komůrky. Tam dochází k přeměnám radonu. Při interakci všech druhů záření ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) emitovaných při přeměnách uvnitř komůrky dochází k ionizaci vzduchu. Kladné ionty takto vzniklé jsou sbírány povrchem komůrky. [17] Záporné ionty a elektrony vzniklé ionizací jsou sbírány povrchem elektretu. Tím



dochází k degradaci náboje na povrchu elektretu a její míra vyjadřuje průměrnou OAR za dobu expozice. Vyjádřeno přesněji jde o časový integrál OAR v objemu expoziční komůrky. [17]



Obr. č. 17 - Komůrka pro umístění elektretu  
[Zdroj: A. Havlová]

Z principu systému je jasné, že ionizaci vzduchu způsobuje také záření gama. Jeho vlastnosti jsou takové, že se dá předpokládat, že je v místě expozice časově neměnné. Proto je třeba korigovat úbytek napětí elektretového dozimetru na dávkový příkon záření gama v místě expozice.

Aktuální náboj elektretu je měřen elektrometrem. Při vyhodnocování se elektret vloží do měřicí pozice vyhodnocovacího zařízení. Na měřící elektrodě se indukují elektrický náboj opačné (tedy záporné) polarity a potenciál měřící elektrody je mírou velikosti náboje na povrchu elektretu. [17]



Obr. č. 18 - Elektret [Zdroj: A. Havlová]

### Způsob použití elektretů:

Pro splnění metrologických parametrů je nutné na jednom měřícím místě umístit vždy dva elektrety. Elektrety se umísťují na krátkodobá, zpravidla sedmidenní, měření v kontrolovaných uživatelských podmínkách. Pravidla pro umístění jsou podobná jako u pasivních stopových detektorů. Umísťují se do míst, kde nepřekážejí běžnému užívání stavby, kde nejsou vystaveny přímému slunečnímu záření a průvanu a v min. vzdálenosti 20cm od zdí.

Před každým umístěním elektretů z nich sejmete krycí duralové víčko, které chrání nabitý povrch a změříme počáteční napětí. Poté je zkompletujeme s komůrkami a umístíme na měřící stanoviště. Po skončení expozice je znovu ještě na místě proměříme a zjistíme napětí po degradaci náboje způsobené ionizací vzduchu.

Při každém měření elektrety je taktéž nutné provést v místě měření (a to v každé místnosti, kde jsou elektrety umísťovány) doplňkové měření dávkového příkonu záření gama pro pozdější výpočet OAR. [17]

### Výpočet OAR z údajů získaných použitím elektretů:

Pro výpočet se použijí hodnoty získané z obou elektretů umístěných na jednom měřícím místě. OAR se neurčuje aritmetickým průměrem, nýbrž váženým a to tak, že větší váha je připisována elektretu, který naměřil nižší hodnotu. Čím je rozdíl mezi naměřenými hodnotami větší, tím větší váhu má nižší naměřená hodnota. K částečnému vybití elektretu a většímu poklesu napětí může totiž dojít i jiným způsobem, než jen ionizací vzduchu, např. dotykem nebo nárazem. [17]

Nejprve je nutné určit „pomocné hodnoty“ - výsledky z každého elektretu zvlášť. Ty určíme takto:

$$A = \frac{U_p - U_k}{t_E \cdot K_R} \cdot \left( \frac{U_p + U_k}{2} \right)^{-0,324} - D_G \cdot K_G$$

kde  $A$  je pomocná hodnota získaná z jednoho elektretu v  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $U_p$  a  $U_k$  jsou počáteční a konečné napětí uvedené ve V,  $t_E$  je doba expozice v hod.,  $D_G$  je dávkový příkon záření gama v  $\mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $K_R = (1,67 \pm 0,21) \cdot 10^{-4}$  je citlivost pro radon v  $\text{V}^{0,676} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $K_G = (390 \pm 35)$  je citlivost pro dávkový příkon záření gama v  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{Gy}^{-1} \cdot \text{h}$ .

Je jasné, že hodnota  $A$  závisí na počátečním napětí i na konečném napětí a ne jen na jejich prosté diferenci.

Po vypočtení obou pomocných hodnot  $A_1$  a  $A_2$  můžeme dopočítat výslednou váženou hodnotu  $A_v$  OAR takto:

$$A_v = A_1 \cdot F\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

kde váhová funkce  $F = \frac{A_1}{A_2}$  má následující tvar:

$$F(A) = \frac{1}{1 + f(a)} + a \cdot \frac{f(a)}{1 + f(a)}$$

kde argument se vypočte jako podíl vyšší a nižší objemové aktivity radonu od jednotlivých expozičních komor. Výsledky od obou komůrek se uspořádají podle velikosti ( $A_1 \leq A_2$ ) a argument  $a$  je podílem  $a = \frac{A_2}{A_1}$ . Funkce  $f(a)$  je potom dána vztahem:

$$f(a) = \exp\left[-126 \cdot \left(\frac{1-a}{1+a}\right)^2\right]$$

### 6.3 Kontinuální integrální monitor radonu RADIM

Tento systém je určen pro kontinuální monitorování OAR ve vzduchu. Je vhodný pro měření průměrných hodnot z vícedenních měření a pro měření tzv. nárůstových křivek. Jedná se opět o pasivní integrální monitor, který může nahradit méně spolehlivé elektrety při krátkodobých měřeních.

Principem měření je sběr dceřiných produktů radonu (měřená je hodnota  $\alpha$ -aktivity  $^{218}\text{Po}$ ) na polovodičový detektor pomocí vysokého napětí, které se vytváří ve sběrném objemu monitoru. Radon difunduje do přístroje, kde je polovina kulovité komory tvořena sítkou, pokrytou 2 vrstvami husté látky (vzduchový filtr). Tato látka zabraňuje přístupu dceřiných produktů radonu obsažených ve vzduchu a ochraňuje detektor před přístupem prachu a světla. Protože větší část dceřiných produktů radonu je kladně nabitá, k nádobě je připojen kladný pól zdroje vysokého napětí a povrch polovodičového detektoru je spojen s pólem záporným. Je však nutné aplikovat co nejvyšší napětí, aby se snížil vliv vlhkosti (kladně nabitě dceřiné produkty mohou být vodními parami neutralizovány). V přístroji se proto používá stabilizovaný zdroj napětí 2000V. Pokud měříme pozadí, vysoké napětí lze vypnout.

Aby byla dosažena vysoká citlivost přístroje a byl eliminován vliv vlhkosti, byl tvar přístroje navržen tak, aby v něm vznikla místa s nízkou intenzitou elektromagnetického pole a všechny siločáry končily na povrchu polovodičového



detektoru. Střední vzdálenost mezi komorou a detektorem je asi 6cm a objem komory činí 0,7 l.

Signál z detektoru je následně zpracován nábojově citlivým předzesilovačem s nízkým šumem a je zesilován dvoustupňovým tvarovacím zesilovačem. Výstupní impuls je veden do amplitudového analyzátoru, který diskriminuje šumové a poruchové impulsy a vybírá takové impulsy, které jsou tvořeny právě přeměnou  $^{218}\text{Po}$  (energie těchto částic je rovna 6 MeV). Jako čítač impulsů a budič LCD displeje je použit zákaznický obvod, který budí multivibrátor umístěný za analyzátozem. Četnost zaregistrovaných impulsů  $N$  je úměrná OAR. [18]

Měření probíhá následovně: V čase  $t = 0$  zapneme vysoké napětí a přístroj přeneseme do prostoru s OAR. Do přístroje difunduje radon a jeho přeměnou vznikají dceřiné produkty. Pro nás je důležitá aktivita  $^{218}\text{Po}$  s poločasem rozpadu cca 3 minuty. Ta je v rovnováze s radonem po zhruba 6 poločasech (tedy asi 20 minutách). Nárůst celkové aktivity deponované na povrchu detektoru je tedy závislý na rychlosti difúze a rychlosti vzniku  $^{218}\text{Po}$  přeměnou radonu. Prokázalo se, že nárůst četnosti impulsů je závislý pouze na tvorbě  $^{218}\text{Po}$  a lze jej popsat rovnicí:

$$n = n_s \cdot [1 - e^{(-\lambda t)}]$$

kde  $\lambda = 0,23 \text{ min}^{-1}$ , tedy  $\ln 2/T_{1/2}$ , přičemž  $T_{1/2}$  je poločas rozpadu  $^{218}\text{Po}$  a  $n_s$  je rovnovážná četnost impulsů. Po dvaceti minutách po skokovém zvýšení aktivity je člen  $[1 - e^{(-\lambda t)}]$  roven 0,99. Jestliže monitor umístíme do prostoru s OAR v čase  $t = 0$  a po dobu  $T$  budeme registrovat počet impulsů  $N$ , lze  $N$  vypočítat jako:

$$N = n_s \int_0^T [1 - e^{(-\lambda t)}] dt$$

Po integraci dostaneme:

$$N = n_s \cdot \left\{ T - \frac{1}{\lambda} [1 - e^{(-\lambda T)}] \right\}$$

Po dosažení rovnováhy lze exponenciální člen ve vztahu zanedbat a pro celkový počet impulsů platí:

$$N = n_s \cdot \left( T - \frac{1}{\lambda} \right)$$

kde  $1/\lambda$  je rovno 4,34 min. - z celkové měřicí doby je nutné odečíst tento "nárůstový" počáteční čas.

Vztah mezi rovnovážnou četností impulzů  $n_s$  a objemovou aktivitou (značenou  $a$ ) lze vyjádřit následujícím způsobem:

$$n_s = a \cdot V \cdot \varepsilon_d \cdot \eta \cdot \varepsilon_s$$

kde  $a$  je OAR v  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  $V$  je objem komory v  $\text{m}^3$ ;  $\varepsilon_d$  je detekční účinnost udávaná v  $\text{imp}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}$ ;  $\eta$  je pravděpodobnost vzniku kladně nabitých dceřiných produktů  $R_n$  a  $\varepsilon_s$  je účinnost sběru dceřiných produktů na detektor.



Obr. č. 19 - Kontinuální monitor radonu RADIM [8]

Po ukončení měření je přístroj odpojen z napájecí sítě a připojen k PC, kde jsou naměřené údaje vyhodnoceny pomocí vhodného softwaru. Naměřené hodnoty jsou uvedeny po krátkých časových intervalech (např. 30 min) a je možné sestavit graf vypovídající o proměnlivosti OAR v čase. Každou hodnotu je však nutné vynásobit kalibračním koeficientem zjištěným při kalibraci. [18]

## 7 Měření OAR ve vybraných objektech

### 7.1 Příprava měření

#### Výběr lokality, objektů a metod měření:

Jako první bod přípravy samotného měření je nutné zvolit lokalitu. Pro měření provedené jako podklad k této práci byla zvolena oblast Krkonoše v Královéhradeckém kraji, oblast velmi bohatá na radon a tudíž se zvýšeným rizikem překročení směrných hodnot OAR ve stavbách. Konkrétně pak obec Janské Lázně.



Obr. č. 20 - Mapa Královéhradeckého kraje [19]

Dále byly vybrány objekty, v kterých bude měření prováděno. Aby měření pokrylo více typů staveb, byly zvoleny dva objekty. Jeden pobytový - internát při Obchodní akademii Janské Lázně (dále jen OAJL), Obchodní 282, Janské Lázně sestávající ze tří budov - pavilonu A, pavilonu B, a pavilonu C, a jeden trvale obývaný - rodinný dům (dále jen RD) na adrese Lesní 300, Janské Lázně.

Budovy internátu OAJL pocházejí z let 1992 - 1994. Budovy jsou nepodsklepené a v přímém kontaktu s podložím. V budovách není klimatizace, okna jsou plastová, s běžnou těsností. Místnosti jsou větrány pravidelně, v závislosti na ročním období. Voda je přiváděna z veřejného vodovodu. Budovy nejsou opatřeny žádnými protiradonovými opatřeními. Budovy jsou vytápěny radiátory.



Obr. č. 21 - Pavilony A a B internátu OAJL [Zdroj: A. Havlová]



Obr. č. 22 - pavilon C internátu OAJL [Zdroj: A. Havlová]

Rodinný dům je nepodsklepená stavba z r. 2002. Okna jsou plastová, velmi těsná a dům je zateplen. Přízemí domu, kde bylo měření prováděno, je rozděleno na část 4-členné rodiny se dvěma dětmi a na byt seniorky. Větrání bytů je běžné, v závislosti na ročním období. V období měření spíše příležitostně, měření probíhalo v chladných měsících. Klimatizace ve stavbě zavedena není. Voda je přiváděna veřejným vodovodem. Budova je opatřena protiradonovou izolací ze syntetické fólie.



Obr. č. 23 - RD Lesní 300, Janské Lázně [Zdroj: archiv P. Hanyše]

Vlastnosti budov, které by mohly ovlivnit OAR, jsou zřehledněny v následující tabulce spolu s rozpisem a využitím jednotlivých místností, ve kterých bylo měření prováděno:

Budova	Adresa	č. místnosti	využití místnosti	umístění v budově	stavební materiál	kontakt s podlažím	dokončení stavby	kéřnost oken	větrání
ODL-A	Obchodní 282, Janské Lázně	A 205a	Pokoř-ubytování	1. NP	chly	NE	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-A	Obchodní 282, Janské Lázně	A 204a	Pokoř-ubytování	1. NP	chly	NE	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-A	Obchodní 282, Janské Lázně	A 205	Denní místnost	1. NP	chly	NE	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-A	Obchodní 282, Janské Lázně	A 110	Posilovna	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-A	Obchodní 282, Janské Lázně	A 111	Rehabilitace	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-A	Obchodní 282, Janské Lázně	A 104	Učebna	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-A	Obchodní 282, Janské Lázně	A 107	Strojovna, kotelna	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Bez oken	žádné
ODL-B	Obchodní 282, Janské Lázně	B 104	Učebna	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-B	Obchodní 282, Janské Lázně	B 110	Učebna	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-B	Obchodní 282, Janské Lázně	B 107	Strojovna, kotelna	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Bez oken	žádné
ODL-B	Obchodní 282, Janské Lázně	B 204a	Pokoř-ubytování	1. NP	chly	NE	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-B	Obchodní 282, Janské Lázně	B 205a	Pokoř-ubytování	1. NP	chly	NE	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-B	Obchodní 282, Janské Lázně	B 205	Denní místnost	1. NP	chly	NE	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-C	Obchodní 282, Janské Lázně	C 104	Učebna	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-C	Obchodní 282, Janské Lázně	C 110	Učebna	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-C	Obchodní 282, Janské Lázně	C 111	Rehabilitace, ubytovánř návřřtřv	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-C	Obchodní 282, Janské Lázně	C 107	Strojovna, kotelna	Přřzemí	chly	ANO	1992-1994	Bez oken	žádné
ODL-C	Obchodní 282, Janské Lázně	C 204a	Pokoř-ubytování	1. NP	chly	NE	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-C	Obchodní 282, Janské Lázně	C 205a	Pokoř-ubytování	1. NP	chly	NE	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
ODL-C	Obchodní 282, Janské Lázně	C 205	Denní místnost	1. NP	chly	NE	1992-1994	Vřborňá	Běřňá
FD	Lesní 300, Janské Lázně		Kuchyň + obyvřcí místnost	Přřzemí	chly	ANO	2002	Vřborňá	Běřňá
FD	Lesní 300, Janské Lázně		Ložnice	Přřzemí	chly	ANO	2002	Vřborňá	Běřňá

Tabulka ř. 1 - Vlastnosti měřenřch budov

Metody pro měření byly zvoleny následovně:

- OAJL:
- metoda dlouhodobého (2 měsíce) měření pomocí pasivních stopových detektorů
  - metoda krátkodobého (8 dní) měření pomocí systému integrální dozimetrie RM-1 použitá ve dvou termínech
  - metoda kontinuálního integrálního měření pomocí přístroje RADIM (9 dní)
- RD:
- metoda dlouhodobého (2 měsíce) měření pomocí pasivních stopových detektorů
  - metoda krátkodobého (6 a 8 dní) měření pomocí systému integrální dozimetrie RM-1 použitá ve dvou termínech

Třetí metodu - metodu kontinuálního měření nebylo možné v RD použít, neboť přístroj nebylo možné zajistit na delší dobu či v jiném termínu, aby bylo možné práci včas dokončit.

#### **Použitá měřící technika:**

1. Měřidlo dávkového příkonu záření gama - Radiometr DC-3E-98 č. 900299:



Obr. č. 24 - Měřidlo dávkového příkonu záření gama [Zdroj: A. Havlová]



2. Měřidlo RM-1 (elektretový systém), č.r. 9105. Měřící rozsah  $20 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  až  $200 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Měřící systém kalibrován ve dnech 22. - 23. 6. 2015 (viz. přílohy č. 2,3), ověřovací list vystaven dne 21. 7. 2015 (viz příloha č. 1).



Obr. č. 26 - Elektret s vyznačeným identifikačním číslem [Zdroj: A. Havlová]

3. Elektrometr TEMA EVR 3



Obr. č. 27 - Elektrometr EVR 3 [Zdroj: A. Havlová]

#### 4. Normál napětový k elektrometru TEMA EVR 3



Obr. č. 27 - Napětový normál k elektrometru EVR 3 [Zdroj: A. Havlová]

5. Měřidlo RADIM 2PF, měřící rozsah  $30 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  až  $100 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Měřící systém kalibrován ve dnech 28. - 29. 1. 2015, ověřovací list vystaven dne 3. 2. 2015 (viz příloha č. 4).

#### **Komunikace s majiteli/správou objektů:**

Vzhledem k tomu, že měření OAR probíhalo v soukromých objektech, bylo nutné vyžádat si povolení majitele (v případě RD) a správce budov (v případě OAJL). Jak již bylo naznačeno v úvodu, není vždy jednoduché veřejnost přesvědčit, že je takové měření nutné a veřejnost nechce vždy znát výsledky. V případě RD se navíc jedná o podstatný zásah do soukromí, neboť je nutné objekt zmapovat, projít a umístit do něj měřící zařízení. V obou případech je nutné vysvětlit, jak bude měření probíhat, tudíž je třeba věnovat tomuto i nějaký čas. Je tedy nutná ochota spolupracovat. Bez ní by žádné měření nemohlo proběhnout.

V případě OAJL probíhala komunikace se správcem budov zcela bez problémů. Přístup do budov byl umožněn v podstatě kdykoli a měřící zařízení bylo možné umístit do všech místností, které bylo třeba kvůli věrohodnosti proměřit. Výsledky tudíž nejsou ovlivněny nedostatečným proměřením a je možné porovnat všechny tři metody.



U RD vznikly drobné potíže. Majiteli se nelíbil zásah do soukromí a nebylo možné umístit přístroje do 1. NP v objektu, neboť zde se nacházely ložnice a pokoje dětí. Také byl zaskočen tím, že je nutné pro měření nechat umístěna zařízení až 2 měsíce. Očekával, že měření bude okamžité. Nakonec však svolil s umístěním 2 měsíčních stopových detektorů do tří místností v přízemí budovy, které byly v kontaktu s podložím a dále s umístěním elektretů ve dvou termínech po šesti a osmi dnech.

## **7.2 Postup měření**

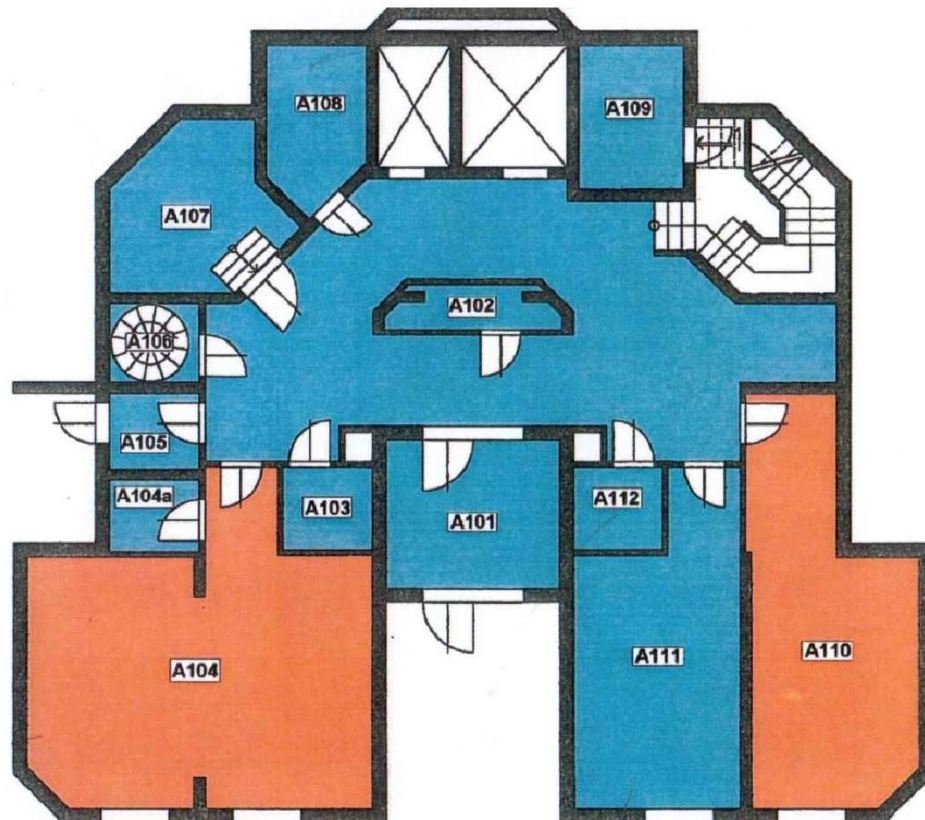
### **Rozmístění detektorů:**

V OAJL byly nejprve umístěny dvouměsíční pasivní stopové detektory a to následovně:

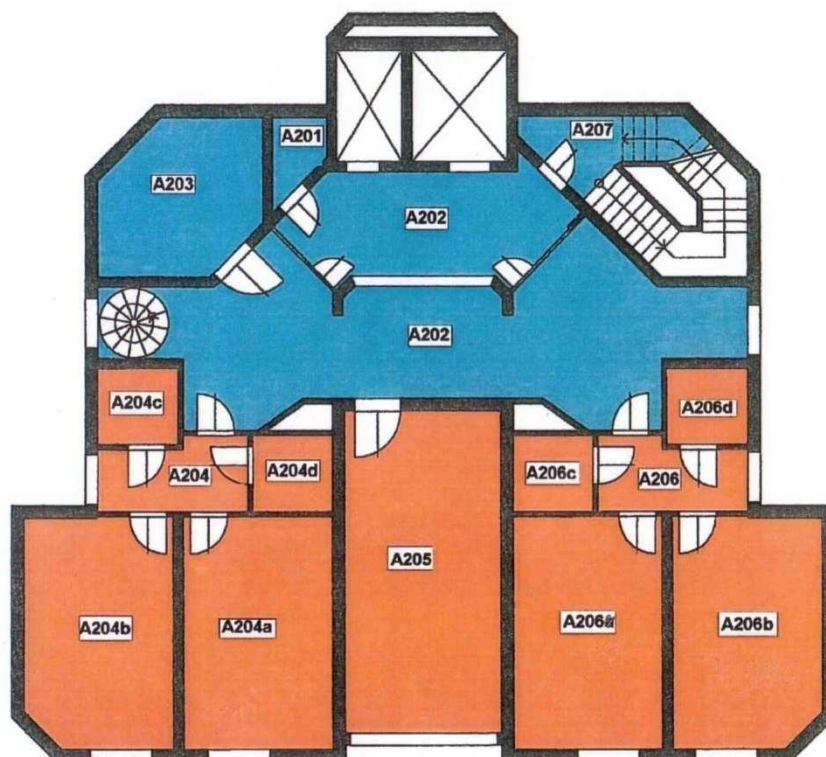
Do všech budov internátu (pavilonu A, B a C) byl detektor umístěn do každé místnosti v 1.NP, kde byl přímý kontakt s podložím. Budova byla nepodsklepená. Jako srovnávací místnost byla zvolena strojovna. Vzhledem k tomu, že budovy internátu jsou vystavěny ve svahu, byla místnost strojovny zcela zapuštěna do terénu a měla tak největší kontakt s podložím. Navíc je prakticky nevětraná. Dále byly detektory umístěny do tří místností v 2.NP, které bylo bez kontaktu s podložím.

Poté byly na dobu 8 dní umístěny do stejných místností a na stejná místa, avšak vzhledem k počtu detektorů pouze do pavilonu B, také vždy dva elektretové měřicí systémy. Ty byly vždy na místě proměřeny a poté byly znovu přímo na místě proměřeny při vyzvednutí. Zároveň byl v každé místnosti s měřicími systémy změřen dávkový příkon záření gama. Tento postup byl opakován ve dvou různých časových rozmezích.

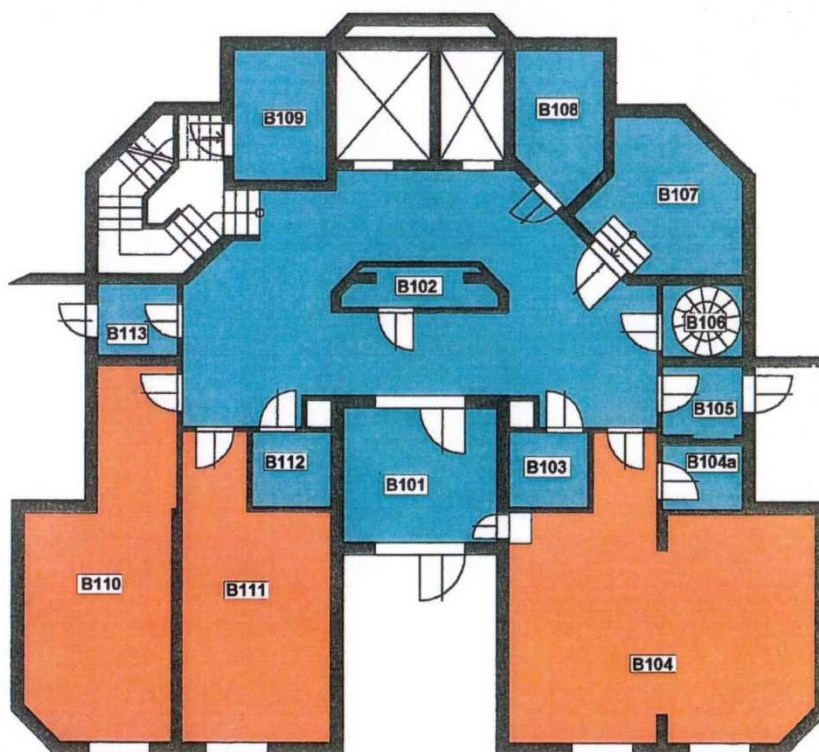
Jako poslední metoda bylo použito kontinuální měřicí zařízení RADIM. Zařízení bylo střídavě umístěno ve třech místnostech v pavilonu B. Nejprve ve strojovně, poté bylo přesunuto do jedné z učeben v 1.NP, a nakonec bylo přesunuto do jednoho z pokojů studentů v 2.NP. Zde zůstalo až do ukončení měření.



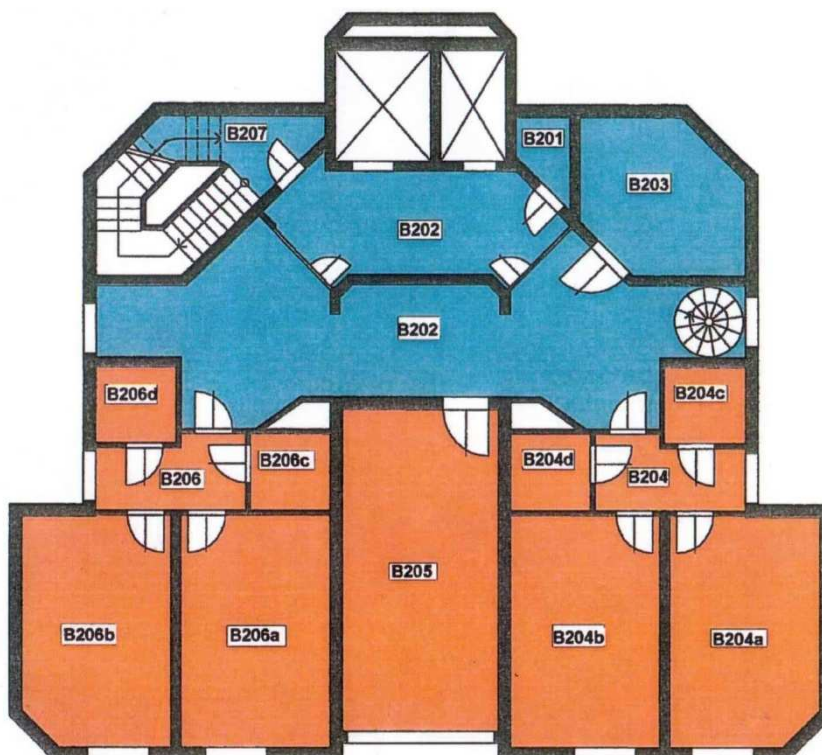
Obr. č. 28 - Pavilon A 1. NP [Zdroj: V. Holec, správa OAJL]



Obr. č. 29 - Pavilon A 2.NP [Zdroj: V. Holec, správa OAJL]

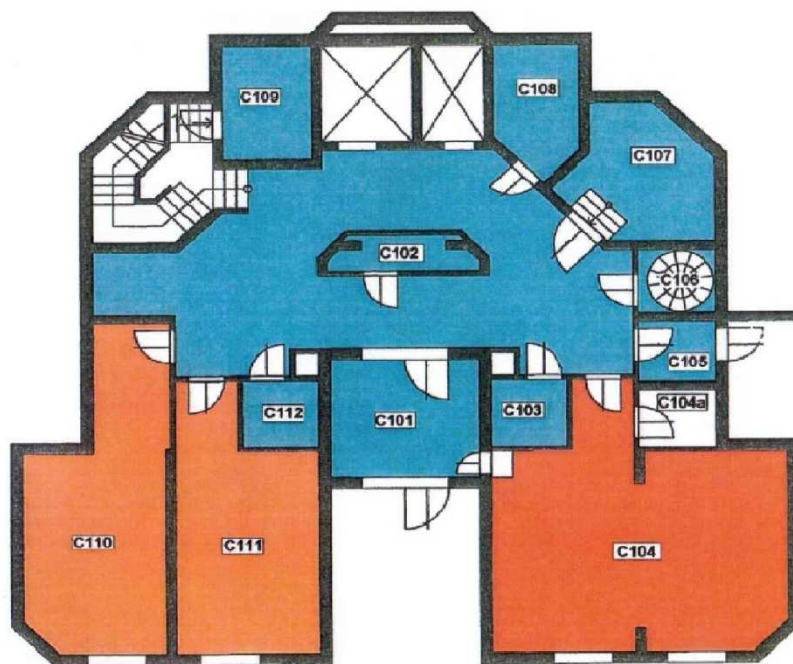


Obr. č. 30 - Pavilon B 1. NP [Zdroj: V. Holec, správa OA]L

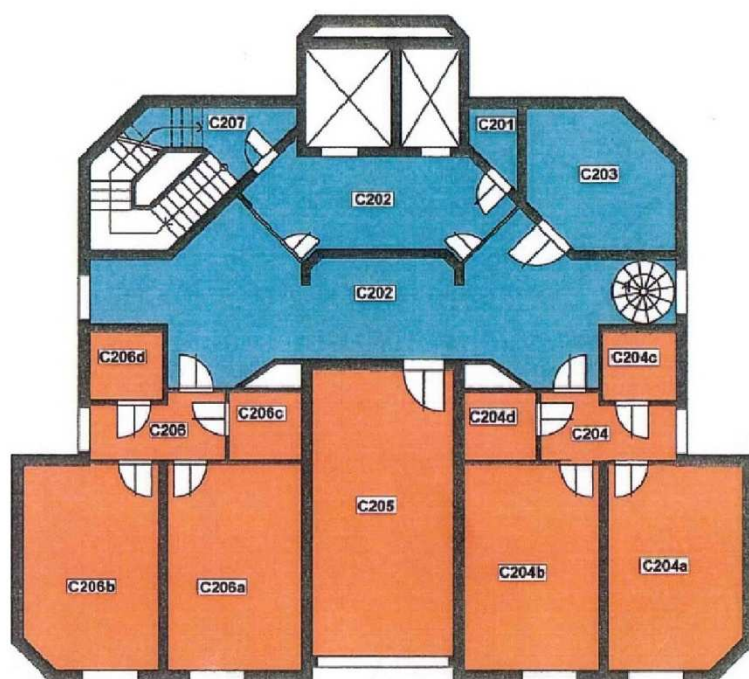


Obr. č. 31 - Pavilon B 2. NP [Zdroj: V. Holec, správa OA]L





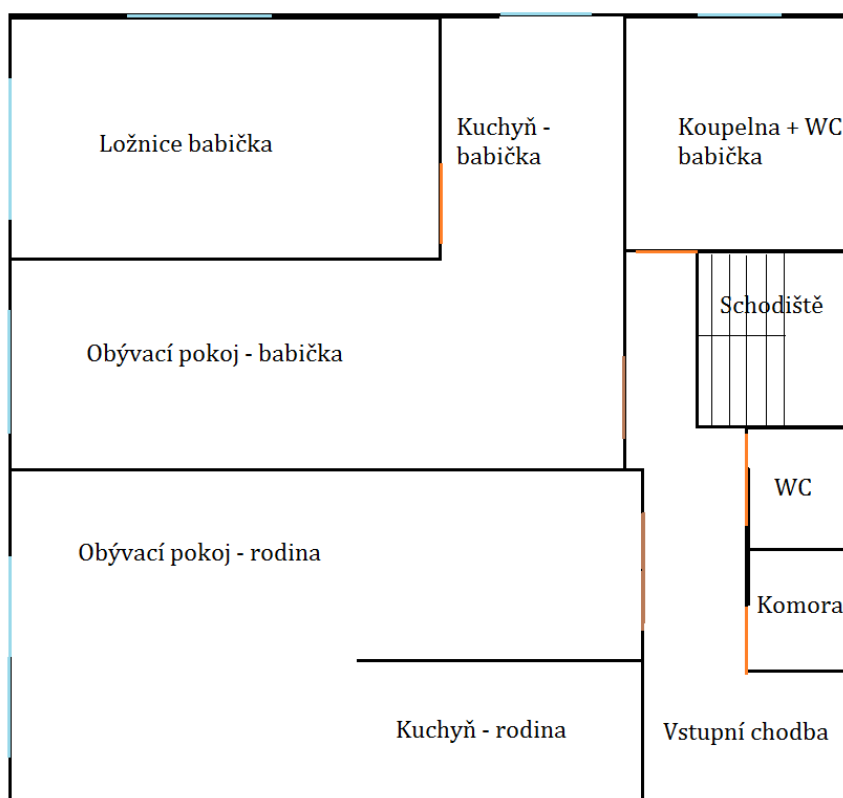
Obr. č. 32 - Pavilon C 1. NP [Zdroj: V. Holek, správa OAJL]



Obr. č. 33 - Pavilon C 2. NP [Zdroj: V. Holek, správa OAJL]

V RD byly také umístěny dvouměsíční pasivní stopové detektory, za podmínek uvedených v popisu umístění detektorů v budovách OAJL, a to do tří místností v přízemí budovy, které bylo v přímém kontaktu s podloží. Byla vybrána umístění v místnosti sloužící jako obývací pokoj spojený s kuchyní, dále jedna ložnice (v které byla měřící zařízení umístěna majitelem stavby z důvodu zachování soukromí) a nakonec obývací pokoj spojený s kuchyní sloužící pro babičku.

Poté byly do stejných místností umístěny elektretové měřiče a to opět za stejných podmínek a se stejným postupem jako v OAJL.



Obr. č. 34 - Plánek přízemí RD [Zdroj: A. Havlová]

Detektory byly rozmíst'ovány na základě podkladu Radiační ochrana - Doporučení SÚJB - Měření a hodnocení ozáření z přírodních zdrojů ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi [7]. Tedy na místa vždy zhruba 20 - 30 cm od zdi, na místa, kde s nimi nebude nutné manipulovat (většinou na vrch skříní, či do horních otevřených polic) a tak, aby nebyly vystaveny přímému slunečnímu záření či průvanu.

### **Časové intervaly rozmístění měřících zařízení:**

Časové rozmezí pro umístění stopových detektorů v OAJL bylo zvoleno tak, aby měření probíhalo při běžném užívání budov a nekolidovalo s vánočními prázdninami. Bylo tedy nutné stopové detektory umístit nejdéle do 21. 10. 2015, aby je bylo možné vyzvednout před začátkem vánočních prázdnin. V tomto období by totiž byly budovy internátu prázdné. Nebyly by užívány jako při běžném provozu a to by mohlo zkreslit výsledky. V RD nic takového nehrozilo, neboť majitelé trávili toto období ve stavbě.

Umístění elektretových měřících systémů bylo voleno tak, aby pokud možno mapovalo širší časové období. Proto bylo první umístění provedeno v listopadu a druhé v lednu. Tím byla pokryta dvě různá roční období a zvedla se tak pravděpodobnost vystřídání různého počasí, které ovlivňuje chování uživatelů stavby.

Pro umístění kontinuálního měřícího zařízení bylo důležité, aby bylo umístěno ve stejném období jako stopové detektory. Dalším faktorem bylo, kdy bude k dispozici, neboť těchto měřících zařízení je pouze omezený počet. Přesná data umístění následují:

OAJL:

Stopové detektory byly umístěny v termínu 21. 10. - 21. 12. 2015.

Elektretové měřící systémy v termínech 7. - 15. 11. 2015 a 10. 1. - 18. 1. 2016.

Kontinuální měřící zařízení RADIM bylo možné použít v termínu 7. - 15. 11. 2015. V jednotlivých místnostech pak bylo tyto dny: ve strojovně od 7. do 9. 11., v učebně v 1.NP ve dnech 9. 11. - 12. 11., v pokoji studentů v 2.NP ve dnech 12. 11. - 15. 11. kdy bylo měření zastaveno.

RD:

Stopové detektory byly umístěny v termínu od 1. 11. 2015 do 2. 1. 2016.

První termín umístění elektretových měřičů byl šestidenní a to 1. - 7. 11. 2015 a druhý osmidenní 2. - 10. 1. 2016.

## 7. 3 Přehledy měření a výsledky

### Přehled měření stopovými detektory:

Výsledky měření pomocí stopových detektorů dodané laboratoří SÚJCHBO v Kamenné u Příbrami (kopie protokolů jsou přiloženy jako přílohy č. 5 a 6):

OAJL - Pavilon A:

OAJL - Pavilon A				
Č. detektoru	označení místnosti	způsob využití	podlaží	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>
144222	110	posilovna	1	30
141767	111	rehab.	1	60
141012	104	učebna	1	66
142904	107	strojovna	1	562
146854	206a	pokoj	2	84
145531	204a	pokoj	2	78
140901	205	denní m.	2	78

Tabulka č. 2 - Výsledky měření OAJL Pavilon A

OAJL - Pavilon B:

OAJL - Pavilon B				
Č. detektoru	označení místnosti	způsob využití	podlaží	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>
147685	104	učebna	1	18
144649	110	učebna	1	36
145738	107	strojovna	1	132
142463	205	denní m.	2	30
148162	204a	pokoj	2	66
145772	206a	pokoj	2	36

Tabulka č. 3 - Výsledky měření OAJL Pavilon B

OAJL - Pavilon C:

OAJL - Pavilon C				
Č. detektoru	označení místnosti	způsob využití	podlaží	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>
149816	104	učebna	1	90
143937	110	učebna	1	54
147990	111	rehab.	1	233
144868	107	strojovna	1	443
146504	204a	pokoj	2	66
141033	206a	pokoj	2	174
144594	205	denní m.	2	66

Tabulka č. 4 - Výsledky měření OAJL Pavilon C

RD:

RD			
Č. detektoru	místnost	podlaží	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>
140879	kuchyň + OP	přízemí	82
148781	kuchyň + OP	přízemí	53
141856	ložnice	přízemí	82

Tabulka č. 5 - Výsledky měření RD

**Přehled měření pomocí elektretů:**

OAJL - I. umístění

Kód místnosti	Podlaží	č. detektoru	Hodnota při umístění	Hodnota při vyzvednutí	Gama záření
B104	1. NP	0050-97	755	795	0,14
		1073-96	773	805	
B110	1. NP	2475-95	434	441	0,14
		0496-96	459	465	
B107	1. NP	0053-97	700	780	0,15
		0752-96	525	536	
B205	2. NP	0560-08	940	780	0,135
		0062-97	745	625	
B206a	2. NP	0007-97	465	420	0,14
		3051-95	855	760	
B204a	2. NP	1695-92	460	395	0,14
		1745-94	427	365	

Tabulka č. 6 - Přehled měření pomocí elektretů OAJL I. umístění



## OAJL - II. umístění

Kód místnosti	Podlaží	č. detektoru	Hodnota při umístění	Hodnota při vyzvednutí	Gama záření
B104	1. NP	0557-08	630	603	0,14
		0555-08	596	566	
B110	1. NP	0752-96	330	304	0,13
		0062-97	479	461	
B107	1. NP	0560-08	585	553	0,15
		0053-97	491	462	
B205	2. NP	1745-94	307	285	0,14
		0001-97	382	345	
B206a	2. NP	3051-95	697	653	0,14
		0558-08	664	620	
B204a	2. NP	0006-97	602	535	0,14
		2475-95	251	230	

Tabulka č. 7 - přehled měření pomocí elektretů OAJL II. umístění

## RD - I. umístění

Místnost	č. detektoru	Hodnota při umístění	Hodnota při vyzvednutí	Gama záření
Kuchyň, obývací	0568-08	820	645	0,135
	0558-08	940	800	
Obývací babička	0555-08	780	728	0,13
	0557-08	795	769	
Ložnice babička	0006-97	702	668	0,13
	0559-08	746	704	

Tabulka č. 8 - Přehled měření pomocí elektretů RD I. umístění

## RD - II. umístění

Místnost	č. detektoru	Hodnota při umístění	Hodnota při vyzvednutí	Gama záření
Kuchyň, obývací	0053-97	530	501	0,125
	0062-97	534	488	
Obývací babička	0557-08	680	637	0,135
	0560-08	630	598	
Ložnice babička	0752-96	360	335	0,13
	0555-08	630	606	

Tabulka č. 9 - Přehled měření pomocí elektretů RD II. umístění

## Výsledky měření pomocí elektretů:

### I. umístění:

Obchodní akademie		Rodinný dům	
Označení místnosti	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>	Označení místnosti	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>
B104	53	Kuchyň, obývací	511
B110	-20	Obývací babička	64
B107	-8	Ložnice babička	105
B205	346		
B206a	121		
B204a	193		

Tabulka č. 10 - Výsledky měření pomocí elektretů I. umístění

### II. umístění:

Obchodní akademie		Rodinný dům	
Označení místnosti	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>	Označení místnosti	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>
B104	46	Kuchyň, obývací	61
B110	24	Obývací babička	62
B107	58	Ložnice babička	38
B205	48		
B206a	96		
B204a	51		

Tabulka č. 11 - výsledky měření pomocí elektretů II. umístění

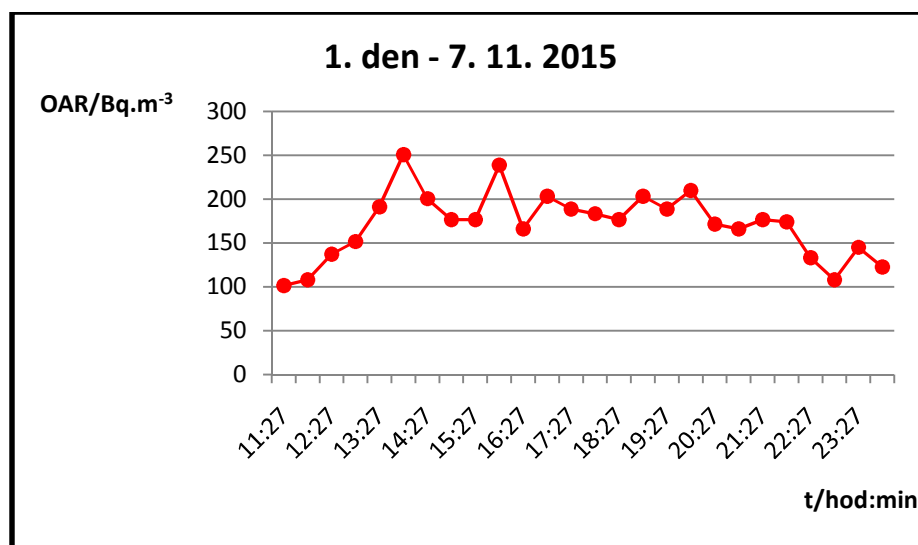
## Výsledky měření pomocí kontinuálního měřícího zařízení RADIM v pavilonu B v OAJL:

Kalibrační koeficient: 1,32

Umístění ve strojovně: 1. den - 7. 11. 2015 zapnuto v 10:57

Čas/hod.: min.	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>
11:27	102
11:57	108
12:27	137
12:57	152
13:27	191
13:57	251
14:27	201
14:57	177
15:27	177
15:57	239
16:27	166
16:57	203
17:27	189
17:57	183
18:27	177
18:57	203
19:27	189
19:57	210
20:27	172
20:57	166
21:27	177
21:57	174
22:27	133
22:57	108
23:27	145
23:57	123

Tabulka č. 12- Výsledky měření RADIM 1. den

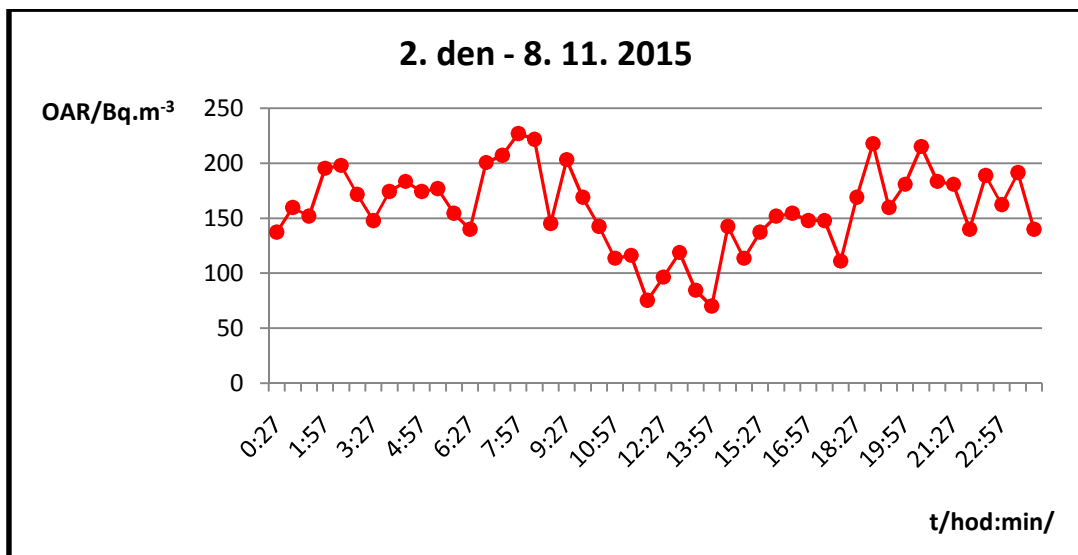


Graf č. 1 - Výsledky měření RADIM 1. den

2. den - 8. 11. 2015 - strojovna

Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>	Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>
0:27	137	12:27	96
0:57	160	12:57	119
1:27	152	13:27	84
1:57	195	13:57	70
2:27	198	14:27	143
2:57	172	14:57	114
3:27	148	15:27	137
3:57	174	15:57	152
4:27	183	16:27	154
4:57	174	16:57	148
5:27	177	17:27	148
5:57	154	17:57	111
6:27	140	18:27	169
6:57	201	18:57	218
7:27	207	19:27	160
7:57	227	19:57	181
8:27	222	20:27	215
8:57	145	20:57	183
9:27	203	21:27	181
9:57	169	21:57	140
10:27	143	22:27	189
10:57	114	22:57	162
11:27	116	23:27	191
11:57	75	23:57	140

Tabulka č. 13 - Výsledky měření RADIM 2. den

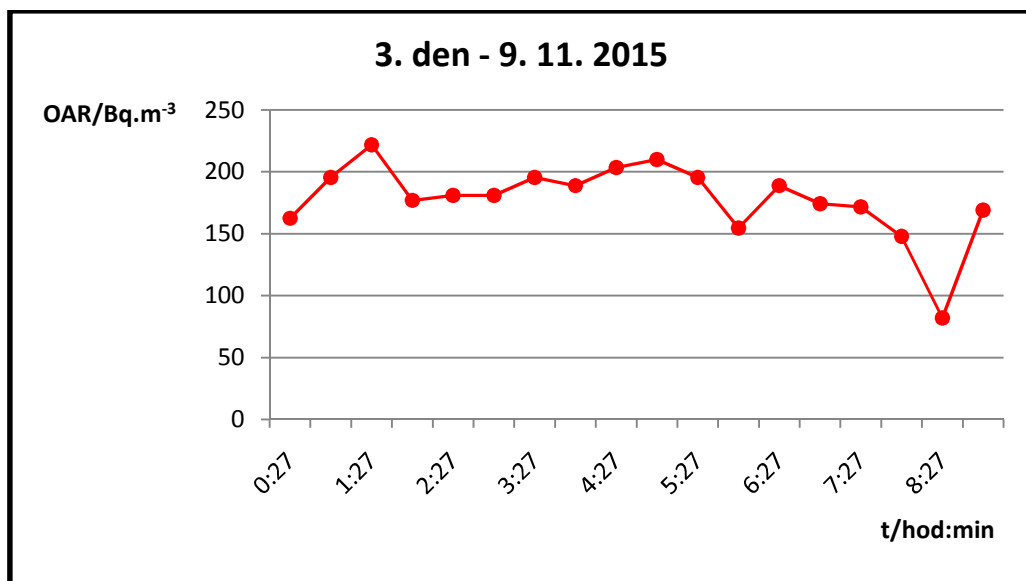


Graf č. 2 - Výsledky měření RADIM 2. den

3. den - 9. 11. 2015 do přemístění do učebny č. 104

Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>
0:27	162
0:57	195
1:27	222
1:57	177
2:27	181
2:57	181
3:27	195
3:57	189
4:27	203
4:57	210
5:27	195
5:57	154
6:27	189
6:57	174
7:27	172
7:57	148
8:27	82
8:57	169

Tabulka č. 14 - Výsledky měření RADIM 3. den I. část

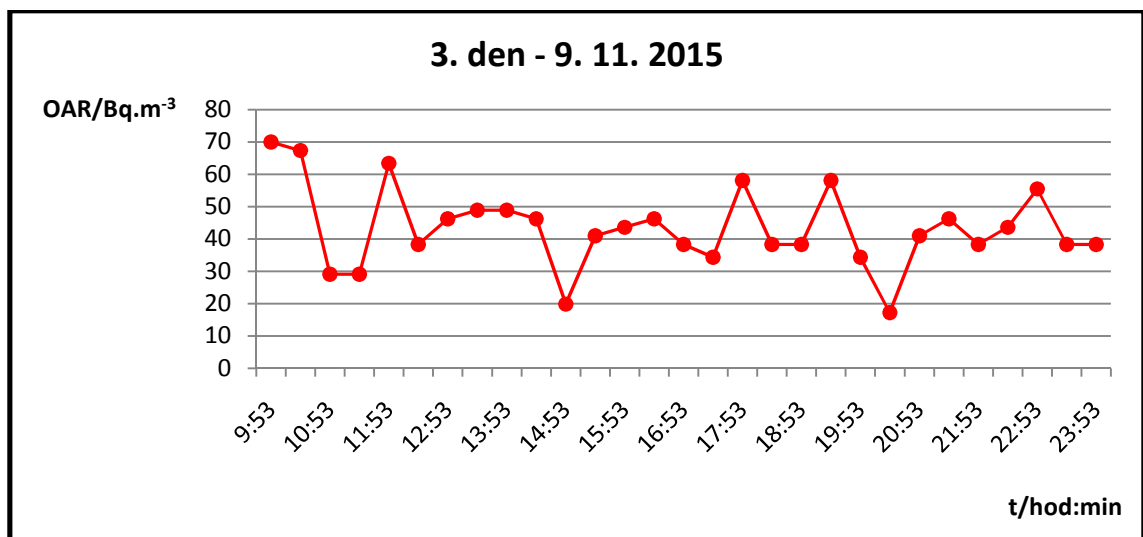


Graf č. 3 - Výsledky měření RADIM 3. den I. část

3. den 9. 11. 2015 po přemístění do učebny č. 104 - zapnuto v 9:23

Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>
9:53	70
10:23	67
10:53	29
11:23	29
11:53	63
12:23	38
12:53	46
13:23	49
13:53	49
14:23	46
14:53	20
15:23	41
15:53	44
16:23	46
16:53	38
17:23	34
17:53	58
18:23	38
18:53	38
19:23	58
19:53	34
20:23	17
20:53	41
21:23	46
21:53	38
22:23	44
22:53	55
23:23	38
23:53	38

Tabulka č. 15 - Výsledky měření RADIM 3. den II. část

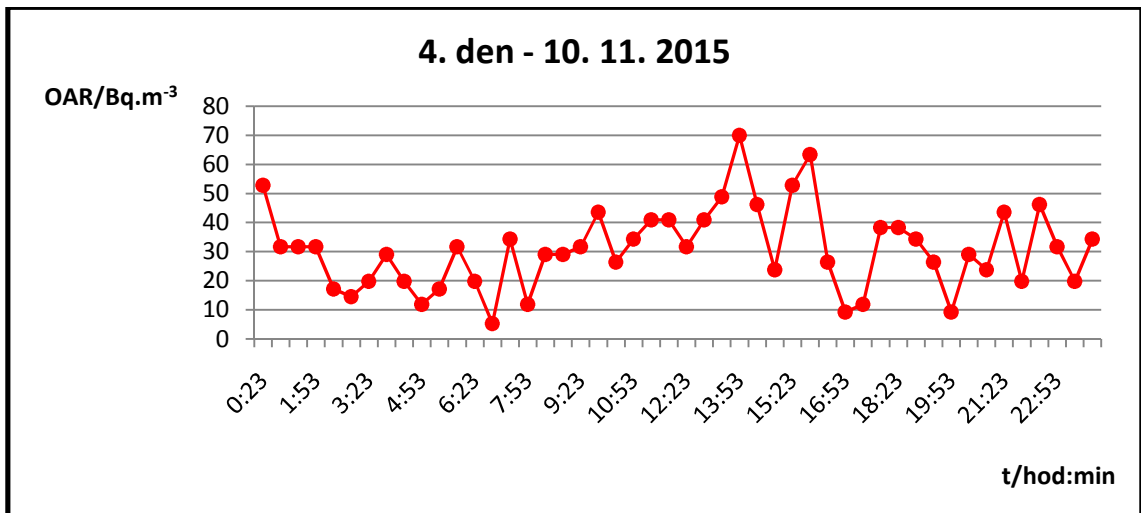


Graf č. 4 - Výsledky měření RADIM 3. den II. část

4. den - 10. 11. 2015 - učebna č. 104

Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>	Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>
0:23	53	12:23	32
0:53	32	12:53	41
1:23	32	13:23	49
1:53	32	13:53	70
2:23	17	14:23	46
2:53	15	14:53	24
3:23	20	15:23	53
3:53	29	15:53	63
4:23	20	16:23	26
4:53	12	16:53	9
5:23	17	17:23	12
5:53	32	17:53	38
6:23	20	18:23	38
6:53	5	18:53	34
7:23	34	19:23	26
7:53	12	19:53	9
8:23	29	20:23	29
8:53	29	20:53	24
9:23	32	21:23	44
9:53	44	21:53	20
10:23	26	22:23	46
10:53	34	22:53	32
11:23	41	23:23	20
11:53	41	23:53	34

Tabulka č. 16 - Výsledky měření RADIM 4. den

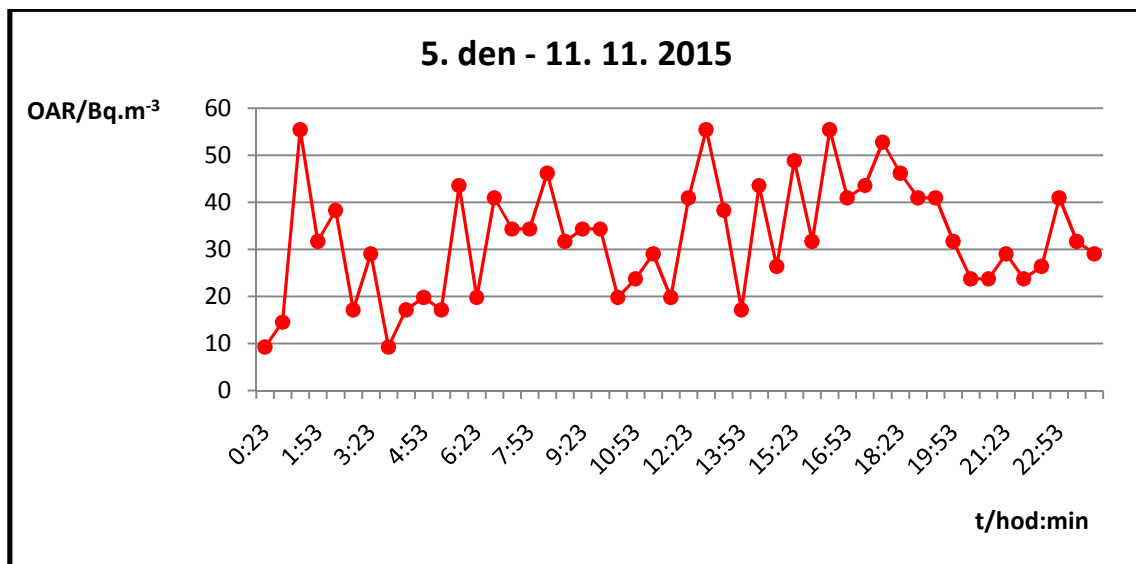


Graf č. 5 - Výsledky měření RADIM 4. den

5. den - 11. 11. 2015 - učebna č. 104

Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>	Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>
0:23	9	12:23	41
0:53	15	12:53	55
1:23	55	13:23	38
1:53	32	13:53	17
2:23	38	14:23	44
2:53	17	14:53	26
3:23	29	15:23	49
3:53	9	15:53	32
4:23	17	16:23	55
4:53	20	16:53	41
5:23	17	17:23	44
5:53	44	17:53	53
6:23	20	18:23	46
6:53	41	18:53	41
7:23	34	19:23	41
7:53	34	19:53	32
8:23	46	20:23	24
8:53	32	20:53	24
9:23	34	21:23	29
9:53	34	21:53	24
10:23	20	22:23	26
10:53	24	22:53	41
11:23	29	23:23	32
11:53	20	23:53	29

Tabulka č. 17 - Výsledky měření RADIM 5. den



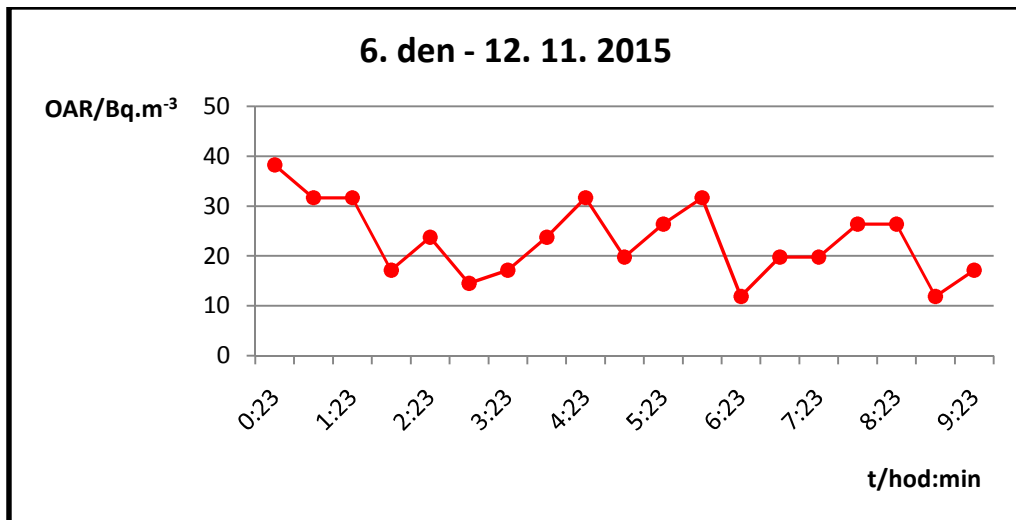
Graf č. 6 - Výsledky měření RADIM 5. den



6. den - 12. 11. 2015 do přemístění do pokoje studentů č. 206a

Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>
0:23	38
0:53	32
1:23	32
1:53	17
2:23	24
2:53	15
3:23	17
3:53	24
4:23	32
4:53	20
5:23	26
5:53	32
6:23	12
6:53	20
7:23	20
7:53	26
8:23	26
8:53	12
9:23	17

Tabulka č. 18 - Výsledky měření RADIM 6. den I. část

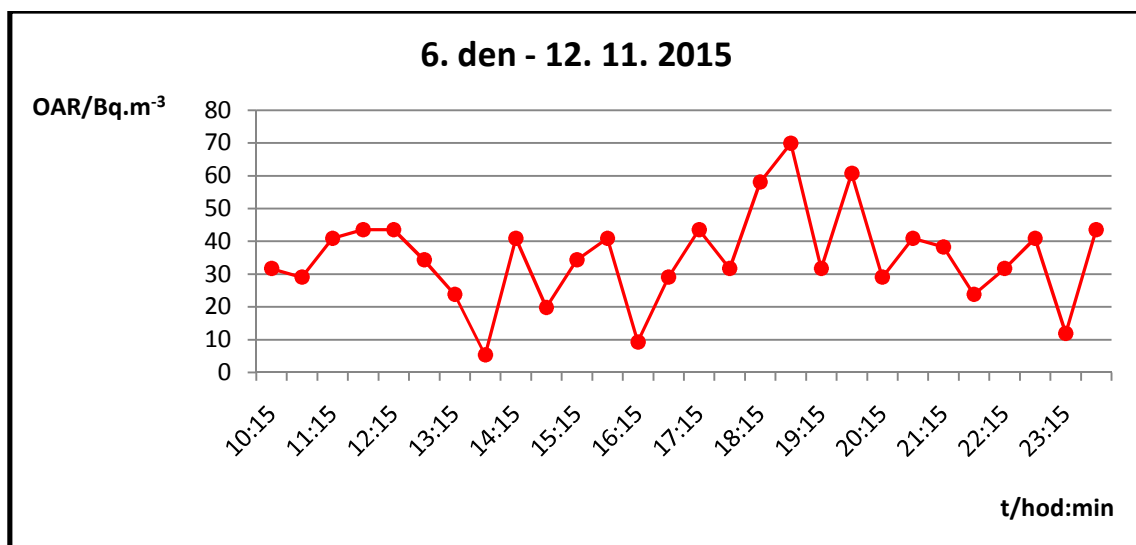


Graf č. 7 - Výsledky měření RADIM 6. den I. část

6. den - 13. 11. 2015 po přesunutí do pokoje studentů č. 206a- zapnuto v 9:45

Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>
10:15	32
10:45	29
11:15	41
11:45	44
12:15	44
12:45	34
13:15	24
13:45	5
14:15	41
14:45	20
15:15	34
15:45	41
16:15	9
16:45	29
17:15	44
17:45	32
18:15	58
18:45	70
19:15	32
19:45	61
20:15	29
20:45	41
21:15	38
21:45	24
22:15	32
22:45	41
23:15	12
23:45	44

Tabulka č. 19 - Výsledky měření RADIM 6. den II. část

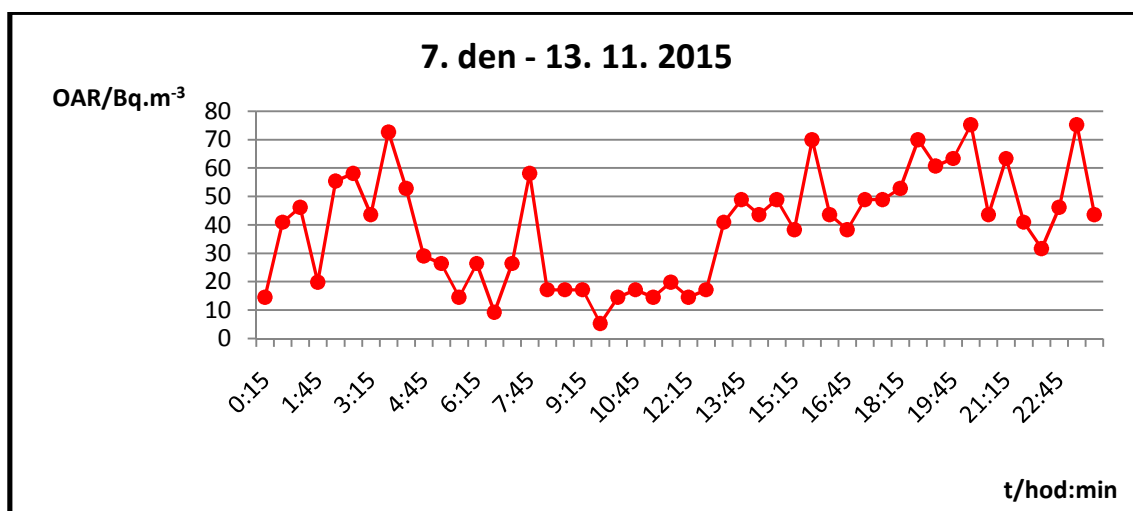


Graf č. 8 - Výsledky měření RADIM 6. den II. část

7. den - 13. 11. 2015 - pokoj č. 206a

Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>	Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>
0:15	15	12:15	15
0:45	41	12:45	17
1:15	46	13:15	41
1:45	20	13:45	49
2:15	55	14:15	44
2:45	58	14:45	49
3:15	44	15:15	38
3:45	73	15:45	70
4:15	53	16:15	44
4:45	29	16:45	38
5:15	26	17:15	49
5:45	15	17:45	49
6:15	26	18:15	53
6:45	9	18:45	70
7:15	26	19:15	61
7:45	58	19:45	63
8:15	17	20:15	75
8:45	17	20:45	44
9:15	17	21:15	63
9:45	5	21:45	41
10:15	15	22:15	32
10:45	17	22:45	46
11:15	15	23:15	75
11:45	20	23:45	44

Tabulka č. 20 - Výsledky měření RADIM 7. den

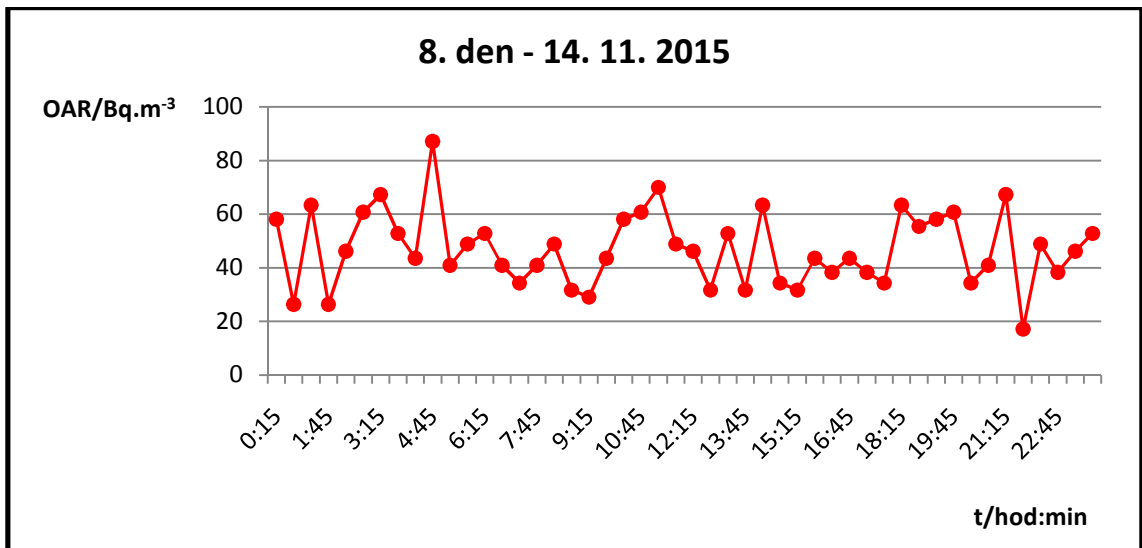


Graf č. 9 - Výsledky měření RADIM 7. den

8. den - 14. 11. 2015 - pokoj č. 206a

Čas/hod.: min.	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>	Čas/hod.: min.	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>
0:15	58	12:15	46
0:45	26	12:45	32
1:15	63	13:15	53
1:45	26	13:45	32
2:15	46	14:15	63
2:45	61	14:45	34
3:15	67	15:15	32
3:45	53	15:45	44
4:15	44	16:15	38
4:45	87	16:45	44
5:15	41	17:15	38
5:45	49	17:45	34
6:15	53	18:15	63
6:45	41	18:45	55
7:15	34	19:15	58
7:45	41	19:45	61
8:15	49	20:15	34
8:45	32	20:45	41
9:15	29	21:15	67
9:45	44	21:45	17
10:15	58	22:15	49
10:45	61	22:45	38
11:15	70	23:15	46
11:45	49	23:45	53

Tabulka č. 21 - Výsledky měření RADIM 8. den

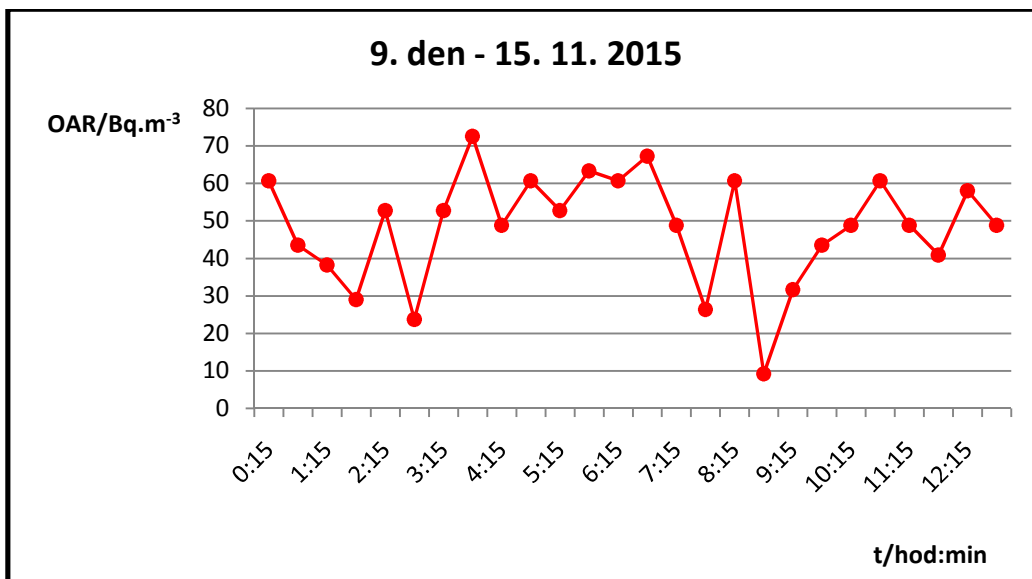


Graf č. 10 - Výsledky měření RADIM 8. den

9. den - 15. 11. 2015 do ukončení měření

Čas/hod.: min.	OAR/Bq.m <sup>-3</sup>
0:15	61
0:45	44
1:15	38
1:45	29
2:15	53
2:45	24
3:15	53
3:45	73
4:15	49
4:45	61
5:15	53
5:45	63
6:15	61
6:45	67
7:15	49
7:45	26
8:15	61
8:45	9
9:15	32
9:45	44
10:15	49
10:45	61
11:15	49
11:45	41
12:15	58
12:45	49

Tabulka č. 22 - Výsledky měření RADIM 9. den



Graf č. 11 - Výsledky měření RADIM 9. den

## 8 Diskuse naměřených výsledků

### **Měření pomocí elektretů:**

Měření elektrety bylo rozděleno do několika částí. Měření v OAJL v prvním termínu v některých místnostech musí být prohlášeno za neprůkazné. V tabulkách č. 6 a 10 jsou oranžovou barvou označeny místnosti, kde došlo k chybám, které se nepodařilo vysvětlit. Hodnoty naměřené při vyzvednutí byly vyšší, než při umístění a to není zprincipu použité metody možné. Náboj se může zmenšovat působením různých vlivů, ale nemůže v elektretu bez dodání zvenčí sám vznikat. Není zcela jasné, jak mohlo k něčemu takového dojít, zda to bylo chybou přístroje, či lidskou chybou při odečítání hodnot.

Měření v ostatních místnostech a měření v dalším termínu již takovou chybou zatíženo nebylo. Tato měření můžeme považovat za správně provedená. Nicméně jsou tato měření nejméně přesná. Při porovnání s výsledky dalších, spolehlivějších a přesnějších metod je jasné, že měření elektrety je spíše orientační.

### **Měření pomocí stopových detektorů:**

Toto měření bylo provedeno dle doporučení a příslušné metodiky. Při tomto měření nedošlo k žádnému přerušení ani nenadálým událostem, které by ovlivnily měření. S detektory nebylo nutné hýbat. Výsledky byly zpracovány laboratoří SÚJCHBO. Průměrná OAR koresponduje s výsledky ostatních dvou metod, zejména s výsledky kontinuálního měřícího zařízení RADIM a je tedy možné říci, že odpovídají skutečnosti.

### **Kontinuální měřící zařízení RADIM:**

Také v tomto případě proběhlo měření dle pokynů v návodu a dle příslušné metodiky. Opět nebylo ničím ovlivněno, zařízení bylo umístěno vždy na jednom místě, nebylo v průběhu měření vypínáno a zapínáno, měření nebylo přerušeno. Výsledky byly vyhodnoceny pomocí vhodného softwaru. Je tedy možné říci, že odpovídají skutečnosti.

### **Porovnání výsledků v místnostech OAJL (Pavilon B), kde bylo použito více metod:**

Vzhledem ke směrným hodnotám nebylo zjištěno překročení směrných hodnot v obytných místnostech. Podle očekávání byly zjištěny zvýšené hodnoty ve strojovnách, které jsou uzavřené. Výsledky stopových detektorů byly potvrzeny kontinuálním měřením. Hodnoty z elektretů mohou reflektovat jiný způsob užívání místnosti v daném týdnu, proto mají větší váhu výsledky dlouhodobého měření.

Tabulka č. 23 uvádí přehled místností, kde byly použity všechny tři metody (jedná se o místnosti 107, 104 a 206a v Pavilonu B OAJL). Z ní je patrné, že obě přesnější metody spolu víceméně korespondují. To potvrzuje Pearsonův test korelace, jehož korelační koeficient udává hodnotu 0,977, což je na hladině významnosti 5% potvrzeno jako silná korelace. Místnost 107, strojovna, vykazuje vyšší hodnoty OAR, což je logické, neboť je v největším kontaktu s podložím a není větraná. Na základě výsledků v ostatních pavilonech by ale bylo lepší zvolit měření v Pavilonu A, či B, kde jsou rozdíly v OAR mezi strojovny a ostatními místnostmi větší. Naopak pokoj i učebna vykazují velmi nízké hodnoty OAR a to v obou případech.

Co se týče měření pomocí elektretů, zde výsledky tolik nekorespondují (Korelační koeficient Pearsonova testu vychází v porovnání se stopovými detektory: 0,43 a v porovnání s měřidlem RADIM: 0,23. Ani jedna hodnota není na hladině významnosti 5% potvrzena jako významná korelace). Nejvyšší koncentrace vycházejí v místnosti 206a, která je v nejmenším kontaktu s podložím, neboť se nachází v 2.NP. Logicky by zde měla být OAR nižší, než ve strojovně, což potvrdily druhé dvě metody. Navíc při prvním umístění došlo (jak již bylo výše uvedeno) k chybě během měření a k naměření nesmyslných údajů (hodnoty označené v tabulce oranžově).

Označení místnosti (OAJL - Pavilon B)	Kód místnosti	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>			
		Stopové detektory	Elektrety I. umístění	Elektrety II. umístění	RADIM
Strojovna	B 107	132	-8	58	165,7
Učebna	B 104	18	53	46	32,8
Pokoj	B206a	36	121	96	42,5

Tabulka č. 23 - Srovnání výsledků všech tří metod

Tabulka č. 24 uvádí přehled zbývajících místností v Pavilonu B OAJL, kde bylo realizováno víc měření. K hranici doporučení použití ozdravných opatření se přiblížil pouze údaj 346 Bq·m<sup>-3</sup> naměřený při prvním umístění elektretů v místnosti B205. Protože i druhý údaj z tohoto týdne (v místnosti B204a) je vyšší, než při druhém umístění, dá se usuzovat, že zde měly vliv meteorologické podmínky a nimi související větrání. Bohužel správce objektu již po zaslání výsledků nekomunikoval, takže tuto domněnku nebylo možné ověřit. V případě místnosti B110 při prvním umístění elektretů se jedná o chybu, jak již shora uvedeno. Pro hodnocení ozáření mají větší váhu výsledky dlouhodobého měření, z nich by se mělo vycházet. Korelační koeficient Pearsonova testu zde vychází na 0,45. Ani zde není možné mluvit na hladině významnosti 5% o korelaci mezi výsledky elektretů (v úvahu byly brány pouze výsledky II. umístění) a výsledky stopových detektorů.

Označení místnosti	Elektrety I. umístění	Elektrety II. umístění	Stopové detektory
	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>		
B110	-20	24	36
B205	346	48	30
B204a	193	51	66

Tabulka č. 24 - Srovnání výsledků OAJL Pavilon B  
v místnostech bez použití kontinuálního měřicího zařízení

### Porovnání výsledků v RD:

Při měření OAR v RD byly směrné hodnoty překročeny v jednom případě - v místnosti Kuchyň, obývací. Zde byla naměřena hodnota 511 Bq·m<sup>-3</sup> při I. umístění elektretů. Odchylka mohla být způsobena změnou v užívání místnosti či meteorologickými podmínkami. Bohužel majitel objektu již po zaslání výsledků nekomunikoval, takže nebylo možné domněnku potvrdit. Kromě této odchylky si výsledky odpovídají. Pro hodnocení ozáření by měly být používány především výsledky dlouhodobého měření, které má větší váhu. Korelační koeficient Pearsonova testu v tomto případě vychází 0,52. Ani zde se tedy nejedná o silnou korelaci výsledků II. umístění elektretů a stopových detektorů (na hladině významnosti 5%).

Tabulka č. 25. uvádí srovnání výsledků jednotlivých měření vzhledem k místnostem, kde byla měřicí zařízení umístěna:

Označení místnosti	Elektrety I. umístění	Elektrety II. umístění	Stopové detektory
	OAR/Bq·m <sup>-3</sup>		
Kuchyň, obývací	511	61	82
Obývací babička	64	62	53
Ložnice babička	105	38	82

Tabulka č. 25 - Srovnání výsledků RD



## Závěr

### **Měření pomocí elektretů:**

Elektrety se ukázaly jako nejméně spolehlivá metoda. Jejich výsledky jsou nejméně přesné, slouží spíše k orientačnímu přehledu, zda budova nevykazuje příliš vysoké hodnoty OAR, než k jejímu přesnému určení. Výsledky jsou zatíženy velkou chybou měření a to jak přímo vlivem samotných měřících zařízení, tak i zařízením na odečtení hodnot, kde byla chyba měření při kalibraci určena na 11%.

Na to, abychom znali výsledky, stačí umístění na jeden týden. To může být výhodou, stejně jako fakt, že výsledky jsou známy prakticky ihned, jakmile je možné zadat data do příslušného programu. Zároveň je to ovšem nevýhoda, neboť během jednoho týdne není možné postihnout změny počasí, ročních dob, celkové chování uživatelů stavby apod. Proto je třeba věnovat maximální pozornost podmínkám užívání stavby během měření.

Elektrety jsou náchylné k samovybíjení a je nutná opatrná manipulace. Na druhou stranu jsou nenáročné na prostor, manipulace s nimi je snadná. Výhodou je operativní použití a dostatečný počet detektorů.

### **Měření pomocí stopových detektorů:**

Jedná se o velmi spolehlivou metodu. To je hlavní předností. Další výhodou metody je nízká pořizovací hodnota. Také jsou detektory snadno přenosné a není nutná náročná manipulace či odborné znalosti pro její použití. Proto je široce používána při proměřování staveb veřejností.

Ovšem na rozdíl od elektretů je nutné detektory umístit na delší dobu, nejméně 2 měsíce, ideálně však na rok. Jedině tak je možné říci, že výsledky odpovídají skutečnosti, že bylo zachyceno běžné užívání stavby a vystřídal se různé vlivy počasí.

Celkově je tato metoda velmi časově náročná, neboť se dlouho čeká i na výsledky laboratoře. Detektory se vyhodnocují ve velkých sériích, a tak se vyhodnocování provádí pouze jednou měsíčně, kdy se sejde dost detektorů na to, aby to bylo ekonomické. Z těchto důvodů se tato metoda nedá použít operativně, a pokud není dost času, je nutné použít elektrety, ovšem za cenu menší přesnosti.

### **Kontinuální měřicí zařízení RADIM:**

Je to nejcitlivější a nejpřesnější metoda ze všech. Jako jediná umožňuje určit průměrnou hodnotu OAR v krátkých časových intervalech.

Její hlavní nevýhodou je vysoká pořizovací hodnota. Mezi další nevýhody patří nutnost napájení elektrickým proudem a není tedy možné zařízení umístit kdekoli. K manipulaci s přístrojem je nutná určitá minimální znalost přístroje. Výsledky jsou k dispozici ihned po připojení k PC, ovšem je nutné mít nainstalovaný příslušný software.

Závěrem bych uvedla toto. Jako nejpřesnější, nejjednodušší pro laickou veřejnost a nejméně náročnou hodnotím metodu měření pomocí stopových detektorů, navzdory dlouhému čekání na výsledky. Pokud je nutné monitorovat časový průběh, je jedinou možností integrální měřidlo RADIM, které je taktéž velmi přesné. Jako nejméně přesné, citlivé na obsluhu a manipulaci a čistě orientační pak hodnotím měření pomocí elektretů, které se během přípravy této práce neosvědčilo.

### **Návrh na pokračování:**

Jako vhodné pokračování práce by bylo možné provést měření s nově vyvinutými přístroji, které ještě nebyly dostupné při přípravě této práce a porovnání s přístroji již použitými.

Také by bylo vhodné zaměřit se na problematiku ventilace v budovách. Jelikož je v rámci Radonového programu v přípravě metodika zahrnující právě míru větrání v měřených objektech a jeho vliv na OAR, bylo by možné provést měření používající tuto metodiku, za účelem zjištění, do jaké míry je tato metodika realizovatelná a potřebná.

## Použitá literatura a zdroje:

- [1] Přírodní ozáření; SÚRO [online]; dostupné na World Wide Web: <http://www.suro.cz/cz/prirodnioz>, online 9. 4. 2016
- [2] Drábková A.; Historie radiační ochrany v ČR - 10 let Státního ústavu radiační ochrany 1995 - 2005; Státní ústav radiační ochrany; Praha 2006; ISBN: 80-239-6594-8
- [3] Darby S. a kol.; Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies; z 21. 12. 2004; BMJ; doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63
- [4] Tomášek L.; Riziko plicní rakoviny horníků ve vztahu k expozici radonu; České pracovní lékařství; Číslo 1; Státní ústav radiační ochrany; Praha 2009
- [5] Kolektiv autorů, Editor: Klener V.; Principy a praxe radiační ochrany; Azin CZ; Praha 2000; ISBN: 80-238-3703-6
- [6] Využití radioizotopů v průmyslu: analýza a měření; O energetice; [online]; dostupné na World Wide Web: <http://oenergetice.cz/ostatni/vyuziti-radioizotopu-v-prumyslu-analyza-a-mereni/>
- [7] Atomový zákon; SÚJB [online]; dostupné na World Wide Web: [http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy\\_zakon\\_20120103.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf), online 9. 4. 2016
- [8] Vyhláška 307/2002 Sb.; SÚJB [online]; dostupné na World Wide Web: [http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/7\\_307\\_2002\\_Sb.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/7_307_2002_Sb.pdf), online 9. 4. 2016
- [9] Handbook on indoor Radon, a public health perspective; WHO; 2009; ISBN 978-92-4-154767-3
- [10] Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon; ICRP; 2010; ISBN 978-0-7020-4977-4
- [11] Směrnice 2013/59/Euratom; Úřední věstník Evropské Unie; Brusel; 2013; [online]; 10. 5. 2016; dostupné na World Wide Web: <http://www.csfm.cz/userfiles/file/Dokumenty/euroatomnovela2013.pdf>
- [12] Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation; Specific Safety Guide; IAEA, WHO; No. SSG-32; Vienna; 2015
- [13] Úvodní strana; Radonový program [online]; dostupné na World Wide Web: [www.radonovyprogram.cz](http://www.radonovyprogram.cz)
- [14] Akční plán; sujb [online]; dostupné na World Wide Web: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/radonovy\\_program\\_akcni\\_plan.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/radonovy_program_akcni_plan.pdf)
- [15] Kolektiv autorů; Radiační ochrana - Doporučení SÚJB - Měření a hodnocení ozáření z přírodních zdrojů ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi; SÚJB; Praha 2012

- [16] Ing. Josef Holeček, SÚJCHBO, ústně
- [17] Froňka O.; Návod k použití Systému pro integrální dozimetrii RM-1 (Model 97) Technický popis; Praha 2003
- [18] Plch J.; Integrální monitor radonu RADIM II Návod k použití; Praha
- [19] Cyklistika v Královéhradeckém kraji; Cyklokonference; [online]; 10. 5. 2016; dostupné na World Wide Web: <http://2009.cyklokonference.cz/cyklistika-v-kralovehradeckem-kraji/>

## Seznam zkratk:

1	ČR	Česká Republika
2	USA	United States of America
3	OAR	Objemová aktivita radonu
4	SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
5	SÚJB	Státní ústav pro jadernou bezpečnost
6	SÚJCHBO	Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany
7	WHO	World Health Organization
8	IAEA	International Atomic Energy Agency
9	ICRP	International Commission on Radiological Protection
10	EU	Evropská Unie
11	PVC	Polyvinylchlorid
12	RD	Rodinný dům
13	OAJL	Obchodní akademie Janské Lázně

## Seznam obrázků:

- 1 Rozdělení dávek obyvatelstvu
- 2 Vstup radonu do budovy
- 3 Typické koncentrace radonu
- 4 Rozpadové schéma  $^{238}\text{U}$
- 5 Mapa radonového rizika v ČR
- 6 Mapa průměrných OAR ve stavbách v ČR
- 7 Pasivní stopové detektory
- 8 Komůrka pro měření stopovým detektorem
- 9 Příklad málo a příliš naleptaných fólií
- 10 Leptací zařízení
- 11 Mikroskop v laboratoři bez vzorku
- 12 Mikroskop v laboratoři se vzorkem  
( s patrnými dírkami po částicích alfa na monitoru)
- 13 Sušárna na stopové detektory
- 14 Kazeta se stopovými detektory určenými k vyhodnocení
- 15 Ing. Josef Holeček při vyhodnocování vzorků
- 16 Snímek monitoru PC během "čtení" vzorku v mikroskopu
- 17 Komůrka pro umístění elektretu
- 18 Elektret
- 19 Kontinuální monitor radonu RADIM
- 20 Mapa Královéhradeckého kraje
- 21 Pavilony A a B internátu OAJL
- 22 Pavilon C internátu OAJL
- 23 RD Lesní 300, Janské Lázně
- 24 Měřidlo dávkového příkonu záření gama
- 25 Elektret s vyznačeným identifikačním číslem
- 26 Elektrometr EVR 3
- 27 Napěťový normál k elektrometru EVR 3
- 28 Pavilon A 1. NP
- 29 Pavilon A 2. NP
- 30 Pavilon B 1. NP
- 31 Pavilon B 2. NP
- 32 Pavilon C 1. NP
- 33 Pavilon C 2. NP
- 34 Plánek přízemí RD

## Seznam tabulek:

- 1 Vlastnosti měřených budov
- 2 Výsledky měření OAJL Pavilon A
- 3 Výsledky měření OAJL Pavilon B
- 4 Výsledky měření OAJL Pavilon C
- 5 Výsledky měření RD
- 6 Přehled měření pomocí elektretů OAJL I. umístění
- 7 Přehled měření pomocí elektretů OAJL II. umístění
- 8 Přehled měření pomocí elektretů RD I. umístění
- 9 Přehled měření pomocí elektretů RD II. umístění
- 10 Výsledky měření pomocí elektretů I. umístění
- 11 Výsledky měření pomocí elektretů II. umístění
- 12 Výsledky měření RADIM 1. den
- 13 Výsledky měření RADIM 2. den
- 14 Výsledky měření RADIM 3. den - I. část
- 15 Výsledky měření RADIM 3. den - II. část
- 16 Výsledky měření RADIM 4. den
- 17 Výsledky měření RADIM 5. den
- 18 Výsledky měření RADIM 6. den - I. část
- 19 Výsledky měření RADIM 6. den - II. část
- 20 Výsledky měření RADIM 7. den
- 21 Výsledky měření RADIM 8. den
- 22 Výsledky měření RADIM 9. den
- 23 Srovnání výsledků všech tří metod
- 24 Srovnání výsledků Srovnání výsledků OAJL Pavilon B v místnostech bez použití kontinuálního měřicího zařízení

## **Seznam grafů:**

- 1 Výsledky měření RADIM 1. den
- 2 Výsledky měření RADIM 2. den
- 3 Výsledky měření RADIM 3. den - I. část
- 4 Výsledky měření RADIM 3. den - II. část
- 5 Výsledky měření RADIM 4. den
- 6 Výsledky měření RADIM 5. den
- 7 Výsledky měření RADIM 6. den - I. část
- 8 Výsledky měření RADIM 6. den - II. část
- 9 Výsledky měření RADIM 7. den
- 10 Výsledky měření RADIM 8. den
- 11 Výsledky měření RADIM 9. den



## Seznam příloh:

- 1      Ověřovací list č. 5114 - Měřidlo RM-1 (Elektretový systém) z 21. 7. 2015
- 2      Kalibrační list č. 5114 - Měřidlo RM-1 (Elektretový systém) z 23. 6. 2015 -  
list č. 1
- 3      Kalibrační list č. 5114 - Měřidlo RM-1 (Elektretový systém) z 23. 6. 2015 -  
list č. 2
- 4      Ověřovací list č. 2015 - Měřidlo RADIM 2PF z 3. 2. 2015
- 5      Výsledky měření zaslané laboratoří SÚJCHBO - stopové detektory OAJL z  
8. 2. 2016
- 6      Výsledky měření zaslané laboratoří SÚJCHBO - stopové detektory RD z  
8. 2. 2016