



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

**Informovanost obyvatelstva o problematice ionizujícího  
záření z přírodních zdrojů**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

**Autor:** Bc. Jana Hrbková

**Vedoucí práce:** Mgr. Zuzana Freitinger Skalická, Ph.D.

České Budějovice 2022

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „*Informovanost obyvatelstva o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů*“ jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 9. 5. 2022

.....

Bc. Jana Hrbková

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala Mgr. Zuzaně Freitinger Skalické, Ph.D. za její čas, ochotu a trpělivost při vedení mé diplomové práce.

# Informovanost obyvatelstva o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů

## Abstrakt

Ionizující záření pochází z umělých nebo přírodních zdrojů. Větší kolektivní ozáření obyvatelstva je způsobeno zdroji přírodními. Přírodním zdrojem ionizujícího záření je kosmické záření a přírodní radionuklidy (kosmogenní a terestrální). Na přírodním ozáření se podílí nejvíce radon a jeho produkty. V České republice je v budovách průměrná hodnota objemové aktivity radonu  $118 \text{ Bq/m}^3$ , což nás řadí mezi státy s nejvyšší průměrnou koncentrací radonu v bytech. Radon je považován za druhou hlavní příčinu vzniku karcinomu plic. Kvůli možným zdravotním rizikům radonu je u nás i v řadě dalších zemí snaha ozáření z radonu nějak regulovat.

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, jaká je informovanost obyvatelstva o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů a vytvořit k této problematice informační materiál. Dále také porovnat, jak vybrané státy přistupují k problematice regulování radonu. Data potřebná pro svoji práci jsem získala z dotazníkového šetření a odborných zdrojů. Elektronický dotazník, vytvořený na internetové stránce [www.vyplnto.cz](http://www.vyplnto.cz), vyplnilo celkem 362 respondentů. Data z dotazníku jsem zpracovala do výsečových grafů. U otázek č. 3–16, které byly zaměřené na informovanost, jsem také do sloupcových grafů zpracovala procentuální zastoupení správných odpovědí podle nejvyššího dosaženého vzdělání. Díky získaným datům jsem mohla odpovědět na výzkumné otázky. V první jsem se tázala, zda je obyvatelstvo dostatečně informováno o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů; a v druhé, jaká skupina, podle nejvyššího dosaženého vzdělání, má nejmenší povědomí o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů. Vyhodnotila jsem, že obyvatelstvo není dostatečně informováno a nejmenší povědomí má skupina, která má nejvyšší dosažené vzdělání pouze základní. V programu Canva jsem také vytvořila informační materiál o přírodním ozáření, ve formě oboustranného letáku velikosti A5. Ten může sloužit ke zvýšení povědomí obyvatelstva o dané problematice. Za pomoci odborných zdrojů jsem také zjišťovala, jak různé státy regulují radon. Věnovala jsem zde pozornost hlavně České republice, kde historie regulování radonu sahá až do 90. let minulého století.

## Klíčová slova

ionizující záření; přírodní zdroje; radon; informovanost obyvatelstva; leták

# **Public awareness about ionizing radiation from natural sources**

## **Abstract**

Ionizing radiation comes from artificial or natural sources. Greater collective exposure of the population is caused by natural resources. Natural sources of ionizing radiation are cosmic radiation and natural radionuclides (cosmogenic and terrestrial). Radon and its products are the main contributors of natural irradiation. In the Czech Republic, the average indoor radon concentration is 118 Bq/m<sup>3</sup>, which ranks us among the countries with the highest average concentration of radon in dwellings. Radon is considered to be the second leading cause of lung cancer. Due to the possible health risks from radon, there is an effort in our country and in many other countries to regulate radon concentration in some way.

The purpose of this diploma thesis was to find out how much is the public aware of the issue of ionizing radiation from natural sources and to create information material on this topic. Also compare how some countries approach the issue of radon regulation. In order to collect necessary data for my thesis a questionnaire survey was conducted. I also used professional resources. The electronic survey, which I created on website [www.vyplnto.cz](http://www.vyplnto.cz), was filled in by 362 respondents. All the results of the survey were displayed in pie charts. Questions no. 3–16, which were focused on awareness, were also displayed in bar charts, which show the percentage of correct answers by level of education. Thanks to the data from the survey I was able to answer research questions. In the first research question, I asked whether the public is sufficiently informed about ionizing radiation from natural sources; in the second research question, I wanted to know who has the least awareness on this topic based on education. I evaluated that the public is not sufficiently informed and people with just primary education have the least awareness about this topic. In the Canva program, I also created information material about ionizing radiation, in the form of a double-sided A5 leaflet. It can serve to increase public awareness of the issue. With help of professional sources, I also found out how some countries regulate radon concentration. I paid particular attention to the Czech Republic, where the history of radon regulation dates back to the 1990s.

## **Key words**

ionizing radiation; natural sources; radon; public awareness; leaflet

## Obsah

Úvod.....	8
1 Teoretická část .....	9
1.1 Radioaktivita a ionizující záření .....	9
1.1.1 Druhy ionizujícího záření .....	11
1.1.2 Účinky ionizujícího záření na člověka .....	12
1.1.3 Jednotky a veličiny v oblasti ionizujícího záření .....	13
1.2 Ionizující záření z umělých zdrojů.....	15
1.2.1 Lékařské zdroje .....	16
1.2.2 Jaderné zbraně .....	19
1.2.3 Jaderné reaktory.....	19
1.2.4 Průmyslové a jiné aplikace .....	21
1.2.5 Předměty běžné potřeby .....	22
1.3 Ionizující záření z přírodních zdrojů.....	22
1.3.1 Kosmické záření .....	24
1.3.2 Přírodní radionuklidy.....	26
1.3.2.1 Kosmogenní radionuklidy .....	27
1.3.2.2 Terestrální radionuklidy .....	28
1.3.3 Radon.....	32
1.3.3.1 Zdroje radonu .....	33
1.3.3.2 Zdravotní riziko radonu .....	36
2 Cíl práce a výzkumné otázky .....	38
3 Metodika .....	39
4 Výsledky .....	42
4.1 Dotazníkové šetření .....	42
4.2 Informační materiál.....	72
4.3 Regulace radonu .....	74
5 Diskuze.....	78

6	Závěr .....	84
7	Seznam použité literatury.....	85
8	Přílohy .....	91
9	Seznam obrázků a tabulek.....	100
10	Seznam použitých zkratek .....	102

## Úvod

Zdroje ionizujícího záření dělíme na umělé a přírodní. Mezi umělé zdroje ionizujícího záření patří lékařské zdroje, jaderné reaktory, jaderné zbraně, průmyslové zdroje atd. Přírodní zdroje ionizujícího záření mohou být rozděleny do dvou kategorií – kosmické záření a přírodní radionuklidy (kosmogenní a terestrální).

Při zmínce o ionizujícím záření si lidé často představí jen ionizující záření pocházející z umělých zdrojů. Větší kolektivní ozáření obyvatelstva je však zapříčiněno zdroji přírodními. Lidé jsou ionizujícímu záření z přírodních zdrojů vystaveni neustále a je prakticky nemožné se mu vyhnout. Jsme mu vystaveni z kosmického záření a z přírodních radionuklidů ve vzduchu, v půdě, v potravě, ve stavebních materiálech, v horninách i v našich tělech.

V současné době připadá v průměru za rok přes cca 80 % expozice člověka na záření přírodního původu. Zbytek je ozáření z umělých zdrojů, a to zejména z aplikace záření v lékařství.

V České republice je průměrná hodnota roční efektivní dávky z přírodních zdrojů 3,4 mSv za rok (nověji se dokonce uvádí hodnota až 5,83 mSv/rok). Tato hodnota je vyšší než celosvětový průměr; je to z důvodu charakteru podloží, kde se projevuje příspěvek radonu a jeho dceřiných produktů.

Je to právě radon  $^{222}\text{Rn}$  a jeho produkty, kdo se na přírodním ozáření podílí nejvíce. Podíl radonu na ozáření z přírodních zdrojů se u každé země liší. V České republice tato hodnota může dosahovat až 75 %. Průměrná hodnota objemové aktivity radonu v budovách v České republice je 118 Bq/m<sup>3</sup>, což nás řadí mezi státy s nejvyšší průměrnou koncentrací radonu v bytech. Radon je karcinogen, který je považován za druhou hlavní příčinu vzniku karcinomu plic. Kvůli možným zdravotním následkům ozáření z radonu, je u nás i v řadě dalších zemích snaha ozáření z radonu nějak regulovat.

Toto téma jsem si vybrala, neboť se mi zdá, že problematika ionizujícího záření z přírodních zdrojů je oproti umělým zdrojům méně diskutovaná. A to i přesto, že přírodnímu ozáření jsme vystaveni prakticky neustále. A tak mě zajímá, jak je obyvatelstvo ve skutečnosti o této problematice informováno.



# 1 Teoretická část

## 1.1 Radioaktivita a ionizující záření

### *Radioaktivita*

Radioaktivita neboli radioaktivní přeměna je schopnost některých prvků, které mají nestabilní jádro, se samovolně přeměnit na jádro jiného prvku. Při této přeměně také dochází k emitování vysokoenergetického ionizujícího záření. K tomuto jevu dochází u radioaktivních nuklidů (radionuklidů), jejichž jádra nejsou v čase stabilní, neboť mají nadbytek protonů, neutronů nebo obojího. Při radioaktivní přeměně jádra může dojít ke vzniku nového radioaktivního jádra nebo již stabilního jádra. Snahou je radioaktivní přeměnou dosáhnout stability atomu.

Při radioaktivní přeměně se mění složení jádra atomu a s tím i chemická podstata látky. Přeměna látky probíhá nezávisle na vnějších podmínkách (vlhkosti, tlaku teplotě atd.). Nelze nijak ovlivnit rychlost, jakou k přeměně dojde. Pro charakteristiku rychlosti radioaktivní přeměny existuje veličina – poločas přeměny.

Radioaktivitu rozdělujeme na přirozenou a umělou. Při přirozené radioaktivitě dochází k samovolné přeměně atomového jádra. Při umělé radioaktivitě je nestabilita jádra způsobena uměle, většinou jadernou reakcí (L'Annunziata, 2012; Grupenet al., 2016; Navrátil, 2021b).

### *Ionizující záření*

Podle § 2 zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona, je ionizující záření (IZ) – přenos energie v podobě částic nebo elektromagnetických vln, vlnové délky nižší nebo rovnající se 100 nm s frekvencí vyšší nebo rovnající se  $3 \cdot 10^{15}$  Hz, který je schopen vytvářet ionty (elektricky nabitě částice) (Zákon č. 263/2016 Sb.).

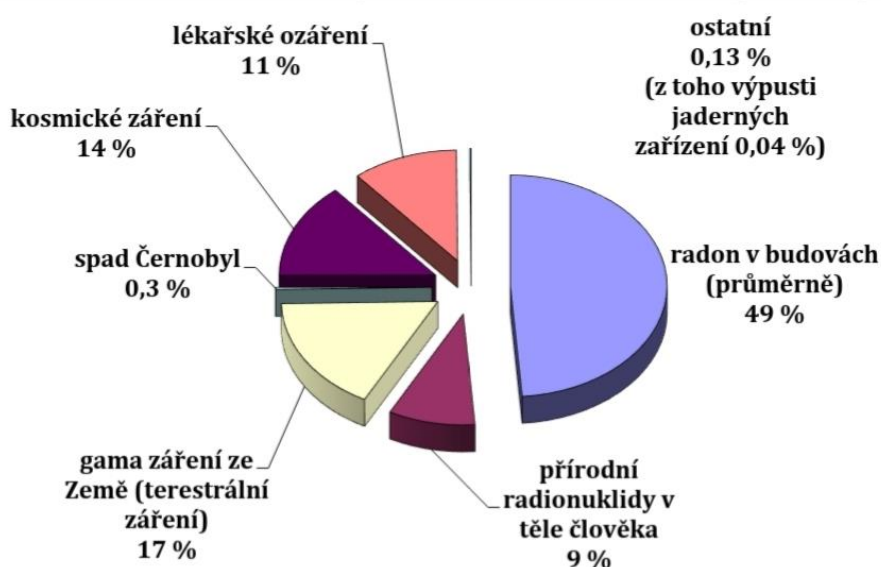
Ionizující záření vzniká během procesů v atomech, kdy se jádro nebo obal dostane do excitovaného stavu, a tím se atom stane nestabilní. Do stabilního stavu se dostane vyzářením energie v podobě ionizujícího záření. Toto ionizující záření je ve formě toku hmotných částic nebo fotonů elektromagnetického záření.

Ionizující záření má schopnost při průchodu hmotou ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jejich jádra. Při ionizaci vzniknou z původně elektricky neutrálních atomů elektricky nabitě částice – kladné a záporné ionty.

IZ lze s ohledem na charakter ionizačního procesu rozdělit na přímo ionizující a nepřímo ionizující. Přímou ionizující záření tvoří nabitě částice – elektrony, pozitrony, protony, alfa částice a beta částice. Tyto nabitě částice musí mít dostatečnou energii pro vyvolání ionizace. Nepřímo ionizující záření způsobují nenabitě částice – fotony a neutrony. Tyto nenabitě částice samy prostředí neionizují. K ionizaci látky potřebují namísto jednoho kroku, kroky dva. Nejprve nenabitá částice interaguje s látkou, a tím vytvoří sekundárně nabitě částice. K ionizaci pak dochází až díky těmto sekundárně nabitým částicím (Hála, 1998; Azeem et al., 2012; Podzimek, 2013; Havránková, 2020).

Dále lze ionizující záření rozdělit podle fyzikální podstaty, a to na korpuskulární a fotonové. Korpuskulární (částicové) ionizující záření se charakterizuje kinetickou energií, elektrickým nábojem a klidovou hmotností. Mezi korpuskulární záření se řadí elektrony, pozitrony, protony, částice alfa, neutrony nebo mezony. Fotonové ionizující záření je duálního charakteru, lze na ně nahlížet jako na elektromagnetické vlnění nebo jako na proud fotonů. Mezi fotonové záření patří rentgenové záření a fotonové záření gama. Záření gama vzniká v jádře atomu a rentgenové záření vzniká interakcí elektronu z obalu s těžkými atomy v materiálu anody. Dále se také liší ve vlnové délce.

Zdroj ionizujícího záření může být umělý (lékařský zdroj, jaderné zbraně, jaderné reaktory atd.) nebo přírodní (kosmické záření, přírodní radionuklidy). Na obrázku č. 1 je vyobrazeno přibližné procentuální zastoupení dávek ozáření obyvatelstva podle zdrojů (Podzimek, 2013; Havránková, 2018; Mu et al., 2018).



Obrázek 1 – Rozdělení dávek obyvatelstvu

Zdroj: Navrátil et al., 2021

### 1.1.1 Druhy ionizujícího záření

#### Záření alfa ( $\alpha$ )

Záření alfa ( $\alpha$ ) je tvořeno jádrem helia  ${}^2_4\text{He}$  a je vyzařováno jádrem prvku, jako je například uran nebo radium. Vysláním tohoto záření, z jádra prvku ubydou dva protony a dva neutrony. Částice alfa rychle ztrácejí svou ionizační energii, takže záření se nedostává do větších vzdáleností a může být zastaveno listem papíru nebo vrstvou pokožky. V plynech je dolet v řádu centimetrů, v kapalinách a pevných látkách se jedná o zlomky milimetrů. Vnější ozáření alfa zářením není nebezpečné (kromě ozáření oka), neboť  $\alpha$  záření se absorbuje již v horní vrstvě pokožky, kde se nacházejí mrtvé buňky. Vnitřní tkáně mohou být ozářeny alfa zářením, pokud materiál emitující záření alfa vdechneme, vypijeme nebo sníme. Záření alfa se vyskytuje např. v přírodním radonu nebo radioaktivním spadu (Králová, 2007; Podzimek, 2013; Havránková, 2018).

#### Záření beta ( $\beta$ )

Záření beta ( $\beta$ ) je tvořeno proudem rychlých elektronů nebo pozitronů (částice mající stejnou hmotnost, ale opačný náboj). Vzniká v jádře při přeměně neutronu na proton ( $\beta^-$  přeměna) nebo při přeměně protonu na neutron ( $\beta^+$  přeměna). Při  $\beta^-$  přeměně dochází k emitaci elektronu a antineutrína; při  $\beta^+$  přeměně dochází k emitaci pozitronu a neutrína.

Průnik beta záření je větší než u záření alfa; proniká materiály o malé hustotě nebo tloušťce. Dosah je závislý na energii částice. Beta záření může být zastaveno například hliníkovým plechem o tloušťce několika milimetrů až centimetrů.

Stejně jako u alfa záření dochází při interakci s prostředím k ionizaci a excitaci atomů prostředí. Dále také může dojít k pružnému rozptylu a tvorbě brzděného záření. Při pružném rozptylu dochází k tomu, že částice pokračuje v pohybu jiným směrem s nižší energií a hybností. Průchod rychlých nabitých částic látkou má za následek změnu rychlosti a dráhy částice (Králová, 2007; Havránková, 2018).

#### Záření gama ( $\gamma$ )

Záření gama ( $\gamma$ ) je elektromagnetické záření (fotony) s krátkou vlnovou délkou v intervalu 0,01 nm až 100 nm. Ke vzniku gama záření dochází při jaderných reakcích nebo při radioaktivní přeměně, když nastává přechod jádra z vyššího do nižšího energetického stavu. Gama záření je velmi pronikavé, má větší pronikavost než alfa a beta záření. Intenzitu záření je možno snížit pohlcením, například tlustou stěnou betonu nebo

olova. Toto záření neionizuje přímo, ale prostřednictvím nabitých částic, které vznikly interakcí gama záření s látkou.

Při interakci fotonů s prostředím dochází k fotoelektrickému jevu, Comptonově rozptylu nebo tvorbě elektron-pozitronových párů (Podzimek, 2013; Havránková, 2018).

### *Rentgenové záření*

Rentgenové záření je elektromagnetické záření o krátkých vlnových délkách. Má stejný charakter jako gama záření, ale liší se místem vzniku. Vzniká dopadem urychleného elektronu na podložku, změnou dráhy relativistického elektronu nebo jako vybuzené fluorescenční záření.

Záření, které vzniká dopadem elektronu na materiál se dělí na brzdné a charakteristické. Brzdné rentgenové záření vzniká následkem změny rychlosti elektronu v elektrickém poli. Charakteristické rentgenové záření je vysílané při přechodu elektronu v atomovém obalu z vyšší energetické hladiny na nižší energetickou hladinu (Podzimek, 2013).

### *Neutronové záření*

Neutrony jsou nenabitě elementární částice, které se uvolňují při jaderných reakcích a samovolným štěpením atomů. Jak se bude neutron chovat, určuje jeho energie. Neutrony reagují s atomovými jádry. Nejsou přímo ionizující, nejprve dají za vznik alfa nebo beta záření, které pak vyvolává ionizaci. Neutrony mají vysokou pronikavost; pohlceny mohou být tlustou vrstvou betonu, vody nebo jiného materiálu bohatého na vodík (Havránková, 2018).

## **1.1.2 Účinky ionizujícího záření na člověka**

Ionizující záření, jakožto šířená energie, která po dopadu na objekt může energii předat, může způsobit u ozářených objektů řadu fyzikálních, chemických a biologických změn.

Biologické účinky IZ na člověka mají původ v jeho působení na úrovni buněk. To má za následek vliv na příslušné tkáně, orgány i celý organismus. Při interakci s IZ dochází k fyzikálnímu, fyzikálně chemickému, chemickému a biologickému stádiu. K fyzikálnímu stádiu dochází bezprostředně po ozáření, v buňce proběhne excitace a ionizace atomů a molekul. Při fyzikálně chemickém stádium se disociují molekuly

a vznikají radikály. Touto radiolýzou vody vzniká hydroxylový radikál OH, vodíkový radikál H, hydratovaný elektron, kyslík O<sub>2</sub> nebo peroxid vodíku H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. V chemickém stádiu mohou tyto produkty dále zapříčinit další sekundární reakce s biologickými molekulami. Volné radikály mohou v organismu narušit například molekuly DNA. Nejčastěji se tak stává ve formě jednoduchých nebo dvojných zlomů. Tyto mechanismy radiačních účinků vyúsťují v účinky na buňky organismu. Takto může dojít k letálnímu účinku na buňku (smrt buňky) nebo k nějaké změně cytogenetické informace.

S ohledem na postižené osoby, biologické účinky IZ dělíme na somatické a genetické. Somatické změny se objevují u ozářené osoby, jedná se například o vznik rakoviny nebo poruchy plodnosti. Genetické změny postihují potomstvo ozářené osoby.

Z hlediska dávky a účinku se účinky IZ dělí na stochastické a deterministické. Deterministické účinky se projevují po překročení určité prahové dávky. Mají charakteristický klinický obraz a se zvyšující se dávkou stoupá jejich závažnost. Deterministický účinek je například akutní nemoc z ozáření, akutní radiodermatitida nebo akutní lokální změna. Stochastické účinky jsou bezprahové a vyvolané změnami v genetické informaci buňky. Tyto účinky se vyskytují s určitou pravděpodobností, která je úměrná dávce ozáření a objevují se až po uplynutí delší doby od ozáření. Mezi stochastické účinky se řadí nádory a genetické změny (Reisz et al., 2014; Navrátil et al., 2021c; SÚRO, 2021).

Aby se co nejvíce zamezilo biologickým účinkům IZ na člověka, existují určité principy radiační ochrany. Lze je shrnout jako: zdůvodnění činnosti, optimalizace ochrany před zářením, limitování dávek a rizika a zabezpečení zdrojů. Obecný roční limit pro obyvatele z ozáření (nezapočítává se sem přírodní pozadí a lékařské ozáření) je 1 mSv. Tento limit je však jen uměle nastavená hodnota, na které se shodla odborná komunita a nejedná se o hranici pro rozdělení bezpečného s nebezpečným. Pro radiačního pracovníka je tento limit 20mSv/rok, nebo nejvýše 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních letech a současně maximálně 50 mSv v jednom roce (SÚJB, 2022b).

### ***1.1.3 Jednotky a veličiny v oblasti ionizujícího záření***

**Aktivita A** udává počet radioaktivních přeměn v daném radionuklidu za jednotku času.

$$A = \frac{dN}{dt}$$

$dN$  je střední počet samovolných radioaktivních přeměn, ke kterým dochází v určitém množství radionuklidu, a to v časovém intervalu  $dt$ . Jednotkou aktivity je becquerel (Bq). Ten odpovídá jedné radioaktivní přeměně za 1 sekundu.

Pokud vztáhneme aktivitu na jednotkovou hmotnost zářiče, dostaneme měrnou aktivitu. Jednotkou je  $\text{Bq.kg}^{-1}$ . Pokud vztáhneme aktivitu na jednotkovou plochu, dostaneme plošnou aktivitu. Ta má jednotku  $\text{Bq.m}^{-2}$ . U objemových zdrojů můžeme mít veličinu objemová aktivita. Ta má jednotku  $\text{Bq.m}^{-3}$ .

**Absorbovaná dávka  $D$**  je veličina, která charakterizuje důsledek interakce přímo a nepřímo ionizujícího záření s prostředím. Dávka se definuje jako poměr střední energie  $d\varepsilon$  absorbované v objemovém elementu látky o hmotnosti  $dm$  a hmotnosti tohoto elementu.

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

Zjednodušeně lze říct, že absorbovaná dávka je energie ionizujícího záření absorbovaná v jednotce hmotnosti v ozařovaném místě. Jednotkou pro absorbovanou dávku je joule na kilogram ( $\text{J.kg}^{-1}$ ). Pro tuto jednotku byl zaveden název gray (Gy).

**Dávkový příkon** vyjadřuje přírůstek dávky v závislosti na čase.

$$D = \frac{dD}{dt}$$

$D$  je dávkový příkon,  $dD$  je přírůstek dávky a  $dt$  je časový interval. Jednotkou dávkového příkonu je  $\text{Gy.s}^{-1}$ , často se také vyjadřuje v  $\text{mGy.h}^{-1}$  nebo v  $\mu\text{Gy.h}^{-1}$ .

**Ekvivalentní dávka  $H_T$**  je součin radiačního váhového faktoru  $w_R$  a střední absorbované dávky  $D_{T,R}$  v orgánu nebo tkáni  $T$ , a to pro ionizující záření typu  $R$ .

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Radiační váhový faktor zohledňuje rozdílnou biologickou účinnost záření pro různé typy záření. Jednotkou ekvivalentní dávky je  $\text{J.kg}^{-1}$ . Tato jednotka se nazývá sievert (Sv).

**Efektivní dávka  $E$**  je veličina, která vyjadřuje součet ekvivalentních dávek v jednotlivých orgánech nebo tkáních vážených tkáňovým váhovým faktorem  $w_T$ .

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Tkáňový váhový faktor vyjadřuje různou radiosenzitivitu tkání a orgánů, a to z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků. Jednotkou efektivní dávky je  $\text{J.kg}^{-1}$ . Tato jednotka se nazývá sievert (Sv).

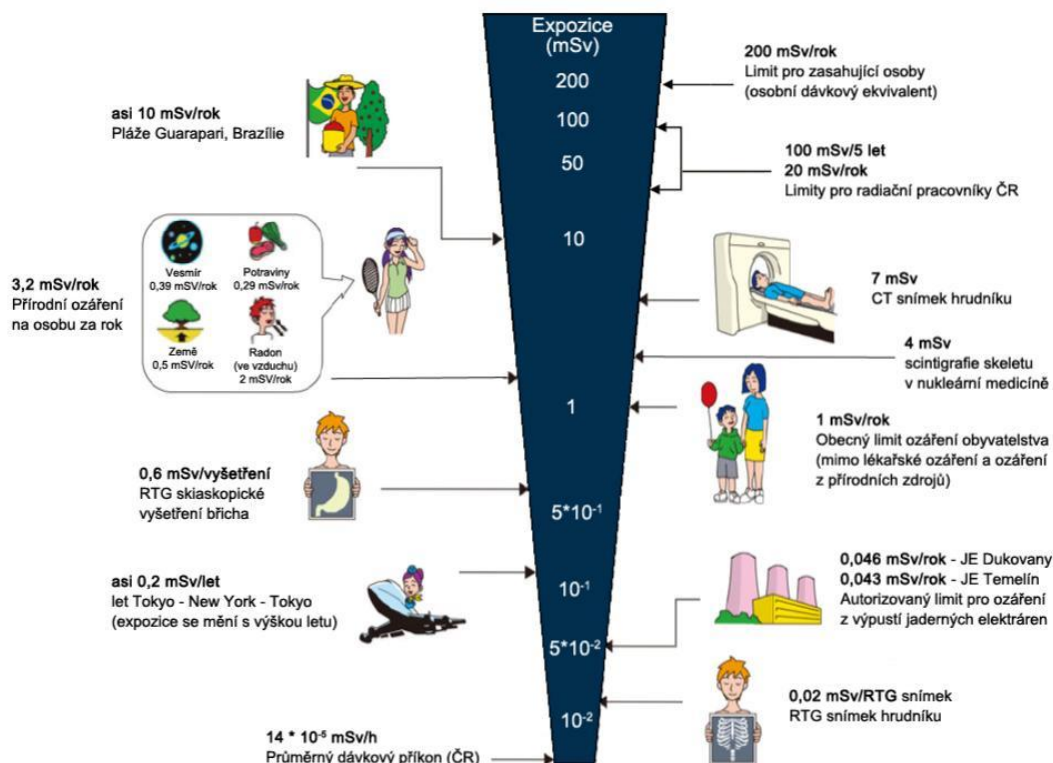
Kolektivní efektivní dávka je součet efektivních dávek všech jednotlivců v nějaké dané populaci nebo dané skupině lidí. Tato veličina se vyjadřuje v jednotkách man-sievert (manSv).

***Poločas přeměny (poločas rozpadu)  $T_{1/2}$***  je doba, za kterou se z počátečního množství daného radionuklidu samovolně přemění jedna polovina.

***Objemová aktivita radonu (OAR)*** je veličina, která udává množství radonu v jednotkách  $\text{Bq/m}^3$ . Tato hodnota vyjadřuje počet radioaktivních přeměn radonu v jednom metru kubickém vzduchu (Podzimek, 2013; Beneš et al., 2015; Havránková, 2018).

## ***1.2 Ionizující záření z umělých zdrojů***

V posledních desetiletích se používání umělých zdrojů záření významně rozšířilo, neboť IZ nachází uplatnění v různých oblastech lidské činnosti. Individuální dávky z těchto zdrojů se pohybují ve velkém rozpětí. Umělé zdroje jsou však většinou pod dobrou kontrolou, a to díky opatřením radiační ochrany. Mezi umělé zdroje IZ patří lékařské zdroje, jaderné reaktory, jaderné zbraně, průmyslové zdroje atd. (UNEP, 2016).



Obrázek 2 – Expozice ionizujícího záření

Zdroj: Pecháček, © 2022

### 1.2.1 Lékařské zdroje

Největším ozářením obyvatel mimo přírodní zdroje je ozáření osob, které jsou vyšetřovány nebo léčeny pomocí zdrojů IZ. Lékařské expoziční nepodléhají žádným limitům, pouze se u nich uplatňuje princip optimalizace a princip zdůvodnění. V průměru 98 % ozáření z umělých zdrojů pochází z IZ využívaného pro diagnostiku nebo léčbu.

Mezi expoziční z lékařského zdroje a většinou ostatních expoziční z umělých zdrojů existují značné rozdíly. U lékařské expoziční je typicky ozářena jen určitá část těla, zatímco u ostatních expoziční se často jedná o celotělové ozáření.

S postupným zlepšováním životních podmínek a rozvojem urbanizace, se čím dál tím více lidem dostává lepší zdravotní péče. To má za následek i to, že se celosvětově zvyšují dávky z lékařských expoziční. Vědecký výbor zřízený při OSN pro zkoumání účinků ionizujícího záření (UNSCEAR), který shromažďuje informace o diagnostických a terapeutických procedurách, zaznamenal, že mezi lety 1997–2007 se provádělo



na celém světě přibližně 3,6 miliard lékařských radiologických výkonů ročně. Přitom v období 1991–1996 to bylo přibližně 2,5 miliard ročně (UNEP, 2016).

Hlavní oblasti medicíny, které používají zdroje záření, jsou radiodiagnostika, nukleární medicína a radioterapie. Je zde používáno několik různých druhů zdrojů ionizujícího záření, jedná se například o rentgenky, urychlovače částic, radionuklidové zdroje využívané v radioterapii nebo generátory záření využívané v nukleární medicíně.

### *Rentgenky*

Rentgenka je v lékařství využívána pro zobrazovací a diagnostické účely. Využívá se při skiagrafii, skiaskopii, výpočetní tomografii (CT) nebo angiografii.

Rentgenka je generátorem ionizujícího záření. Jedná se o elektronku, jejímiž hlavními komponenty jsou anoda a katoda, které se nacházejí ve vakuové trubici. Z rozžhavené katody jsou emitovány elektrony, které jsou za pomoci vysokého napětí urychlovány k terčíku na anodě. Dopadem elektronů na anodu se většina jejich energie přemění v teplo. Zbývá část dopadajících elektronů se mění na rentgenové záření, které také vystupuje z anody. Rentgenové záření dále rozdělujeme na charakteristické a brzdné. Charakteristické rentgenové záření je emitováno při přechodu elektronu v materiálu anody, a to z excitovaného elektronového obalu atomu na nižší energetickou hladinu. Charakteristické záření má čárové spektrum, které je závislé na materiálu anody. Brzdné rentgenové záření vzniká změnou rychlosti pohybu elektronů při dopadu na anodu. Dojde k přeměně kinetické energie atomů na energii fotonů elektromagnetického záření. Brzdné záření má spojité spektrum.

Podle UNSCEAR přehledu odpovídá CT vyšetření asi za 43 % celosvětové kolektivní dávky z radiologických procedur (Podzimek, 2013; UNEP, 2016; Havránková, 2018; Súkupová, 2011 - 2022).

### *Urychlovače částic*

Urychlovače částic se podle tvaru dráhy urychlované nabitě částice dělí na kruhové a lineární. Využívají se v radioterapii, k léčbě nádorových onemocnění. Mezi kruhové urychlovače se řadí betatron nebo cyklotron. V betatronu se urychlují elektrony po kruhové dráze, a to uvnitř trubice prstencového tvaru. V současnosti betatrony ustoupily lineárním urychlovačům. Cyklotron slouží k získání svazků nabitých částic

o vysoké energii. Částice urychlené na cyklotronu se využívají v radioterapii – protonové/hadronové terapii.

V lineárních urychlovačích jsou elektrony urychlovány elektromagnetickou vlnou po přímkové dráze. Elektrony se použijí přímo k ozařování nebo dopadají na kovový terčik, při čemž dojde ke vzniku RTG záření, které je také využito pro terapii. V současnosti je vysokofrekvenční lineární urychlovač převládajícím ozařovačem při teleterapeutické léčbě zhoubných nádorů (Kuna et al., 2005; Podzimek, 2013).

#### *Radionuklidové zdroje využívané v radioterapii*

V radioterapii se kromě urychlovačů používají i radionuklidové zdroje. Kobaltové a cesiové ozařovače jsou zdrojem gama záření. Poločas přeměny pro kobalt  $^{60}\text{Co}$  je 5,29 roku a pro cesium  $^{137}\text{Cs}$  30,07 roku. Zdroj je uzavřen ve formě kroužků nebo válečků v hliníkovém nebo ocelovém kontejneru. Ochranná hlavice přístroje má otvor, z něhož vystupuje primární svazek záření gama.

Leksellův gama nůž obsahuje 201 polosféricky umístěných zdrojů záření gama, izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$ . Svazky gama záření jsou kolimovány tak, aby se protuly v jenom společném místě. Dávka v tomto ohnisku je velmi vysoká.

V brachyterapii jsou využívány automatické afterloadingové přístroje. Ty zavádějí radioizotopy do těla (orgánů a dutin). Automatické afterloadingové přístroje mají mimo jiné zásobní kontejner, který pomáhá s minimalizací expozice personálu (Šlampa et al., 2007; Podzimek, 2013).

#### *Generátory záření využívané v nukleární medicíně*

Nukleární medicína funguje na principu zavádění otevřených zářičů (radionuklidů) do těla. Je tak konáno za účelem diagnostickým i léčebným. V nukleární medicíně se používají jen radionuklidy, které jsou vyrobeny uměle. Ty jsou upraveny tak, aby mohly být podány jako radiofarmaka do žíly nebo orálně. Radiofarmakum vysílá uvnitř těla záření, které se analyzuje pro diagnostické zobrazení nebo se využívá jeho terapeutická schopnost.

Jedním z přístrojů, který je používán pro výrobu umělých radionuklidů k medicínskému využití je radionuklidový generátor. Nejčastěji se u něj využívá principu, při němž se dceřiný nuklid vymývá z kolony, kde je fixován mateřský nuklid.

Radionuklidy můžeme získat i z jaderného reaktoru. K přípravě radionuklidů pro PET vyšetření se také používá cyklotron (Podzimek, 2013; UNEP, 2016).

### ***1.2.2 Jaderné zbraně***

Největší množství umělých radionuklidů se dostalo do ovzduší v důsledku zkoušek jaderných zbraní v atmosféře. Jaderné zbraně jsou zbraně hromadného ničení, které jsou založené na jaderných reakcích. Při jaderných reakcích dochází ke štěpení a slučování atomových jader. Radioaktivní spad ze zkoušek jaderných zbraní se může dostat do půdy, vody nebo potravy. Největší vnitřní kontaminace způsobená zkouškami jaderných zbraní se odehrála koncem padesátých a začátkem šedesátých let minulého století. Při výbuchu docházelo ke vzniku celého spektra radionuklidů, jedná se o samotné štěpné produkty jaderné reakce, zbytky nálože a radionuklidy prvků prostředí, které vznikly aktivací neutrony. V současnosti nás nejvíce zajímají radionuklidy, které mají dlouhý poločas rozpadu, a to zejména stroncium-90, cesium-137 nebo uhlík-14. Velká část radioaktivního spadu se ukládá v okruhu přibližně 50 km kolem místa testování. Jelikož se zkoušky prováděli hlavně na odlehlejších místech, lokálním spadem nebylo zasaženo velké množství obyvatel. Větší expozici, než byla průměrná dávka, obdrželi lidé, kteří bydleli po směru větru od míst testování. V roce 1963 se odhadovalo, že průměrná roční efektivní dávka zapříčiněná spadem ze zkoušek jaderných zbraní, je 0,11 mSv. Tato dávka postupně s časem klesala a dnes by měla mít hodnotu méně než 0,005 mSv.

Jediným případem, kdy byly jaderné zbraně válečně použity, je konec druhé světové války. Na japonská města byly roku 1945 svrženy dvě atomové bomby, 6.8. na Hirošimu a 9.8. na Nagasaki. Výbuchy usmrtily okolo 130 000 lidí; a další deseti až statisíce zemřely v následujících měsících a letech (UNEP, 2016; Navrátil et al., 2021a).

### ***1.2.3 Jaderné reaktory***

Jaderné reaktory jsou zařízení, ve kterých probíhá řízené štěpení jader a jsou mohutným zdrojem neutronů a gama záření. Největší praktický význam má štěpení neutrony. K němu dochází, když jsou některé izotopy uranu nebo plutonia zasaženy neutrony, kdy následně dojde k rozštěpení jádra izotopu na dvě malá jádra. Při tomto procesu dojde k uvolnění energie a dvou či více neutronů. Tyto uvolněné neutrony opět zasáhnou jádra uranu nebo plutonia a proces se opakuje; říkáme tomu řetězová reakce. Takto využívané izotopy se nacházejí v palivu jaderných reaktorů. Energie, která

je uvolněná štěpením v jaderných reaktorech, může být v jaderných elektrárnách využívána pro výrobu elektrické energie. Jaderný reaktor je zdrojem tepla v jaderné elektrárně. Teplo, které je z reaktoru odváděno se využívá k výrobě páry, která pohání turbínu. Parní turbína poté pohání generátor vyrábějící elektrickou energii.

Existují také reaktory sloužící pro různý výzkum nebo výrobu radionuklidů, které jsou následně využívány v medicíně a průmyslu. Jak energetické, tak výzkumné reaktory se opírají o technologické procesy, jako je těžba uranu a ukládání radioaktivního odpadu.

Radiační zátěž lidí, kteří se nacházejí v blízkosti jaderné elektrárny se prakticky neliší od zátěže ostatního obyvatelstva. Expoziční úrovně výpustí mají i klesající tendenci. Je to způsobeno inovacemi technologií a přísnějšími opatřeními v radiační ochraně.

Další složkou radiační expozice z jaderné energetiky je těžba a úprava radioaktivních surovin – uranové rudy. Jedná se zejména o residua v hlušině, která mají zvýšený obsah radionuklidů. I když jsou v dnešní době odvaly hlušiny dobře ošetřeny, stále existují místa, kde k rekultivaci nedošlo. UNSCEAR odhaduje, že běžná roční kolektivní dávka u lidí v okolí dolů, úpraven rud a odvalů hlušin činí cca 50-60 manSv. Vyhořelé palivo z reaktorů je buď recyklováno nebo uchováváno v přechodných skladech. Nízkoaktivní odpad a některé odpady na hranici rizikovosti jsou ukládány do podzemních úložišť. Vysokoaktivní odpad z recyklace a vyhořelé palivo, které nebylo recyklováno, se také skladuje. A to takovým způsobem, který by neměl vést ke zvýšené expozici populace ani v daleké budoucnosti.

Úrovně expozic při běžném provozu zařízení jaderného průmyslu jsou velmi nízké. Avšak problém nastává, pokud dojde k nějaké nehodě nebo havárii. Mezi nejzávažnější nehody se řadí například havárie v Three Mile Island, Černobyli nebo Fukušimě.

Havárie jaderné elektrárny Three Mile Island se odehrála dne 28. března 1979 v USA. Došlo k částečnému tavení paliva reaktoru, které vedlo k uvolnění velkého množství štěpných produktů a radionuklidů z porušeného paliva reaktoru do ochranné obálky, avšak do okolí se dostalo jen relativně malé množství. Výsledná expozice obyvatelstva tak byla malá.

Havárie v jaderné elektrárně Černobyl se odehrála dne 26. dubna 1986 v bývalém Sovětském svazu. Jednalo se o nejzávažnější nehodu z hlediska ozáření široké populace. Kolektivní dávka z této jaderné havárie byla několikanásobně vyšší než celková kolektivní dávka ze všech ostatních radiačních nehod. Havárie zapříčinila největší

nekontrolovatelný radioaktivní únik do životního prostředí v civilním sektoru. Z radioaktivních látek, které unikaly do atmosféry, se vytvořil radioaktivní mrak. Ten se rozptýlil po celé severní polokouli a následně došlo k depozici velkého množství radioaktivního materiálu na územích bývalého Sovětského svazu a dalších částí Evropy. Populace jako celek byla vystavena záření po delší dobu, a to jak zevně, tak i vnitřně z kontaminované potravy. Radioaktivní cesium-137 je v mnoha částech Evropy stále měřitelné v některých potravinách a v půdě.

Havárie v jaderné elektrárně Fukušima-Daiichi se odehrála dne 11. března 2011 v Japonsku. Zemětřesení na východě Japonska vyvolalo tsunami, které zasáhlo jadernou elektrárnu Fukušima-Daiichi, kde došlo k úniku radioaktivních látek do okolí. Na rozdíl od havárie v sovětském Černobylu, zde došlo k rozsáhlým evakuacím obyvatelstva, které se nacházelo v blízkosti elektrárny. Tyto evakuace snížily hladinu expozice, ke které by jinak v postižených oblastech došlo. Více než 80 % radionuklidů se dostalo do Tichého oceánu. Při havárii ve Fukušimě činil únik radioaktivních látek asi 10 % hodnot odhadovaných pro havárii v Černobylu. Dopady černobylské havárie tedy jasně převyšovaly ty z havárie ve Fukušimě (Kuna et al, 2005; Steinhauser et al., 2014; UNEP, 2016; Ullmann, 2021a).

#### ***1.2.4 Průmyslové a jiné aplikace***

Zdroje IZ se využívají také v průmyslových aplikacích. Může se jednat například o radiační sterilizaci. Ta slouží k sterilizaci zdravotnických přípravků, farmaceutických výrobků nebo také k udržení kvality potravin. Dojde k zahubení mikroorganismů (bakterií, spor, virů) na povrchu i uvnitř.

Ionizující záření se také využívá v radiační defektoskopii. Při ní je za pomoci prozařování zkoumáno, zda se v materiálu nenachází nějaká vada, jedná se například o kontrolu kvality svárů kovových dílů. Defektoskopické měření je podobné rentgenové diagnostice v medicíně – závisí na absorpci ionizujícího záření.

Dále se zdroje IZ využívají při měření tloušťky a hustoty materiálu. Pomocí radionuklidových hladinoměrů se určuje výška sloupce kapaliny. Neutronovou metodou měření zjišťujeme vlhkost materiálů. Při geologických vrtech při průzkumu těžby minerálů, zemního plynu nebo ropy se mohou použít rentgenové přístroje.

Při těchto všech aplikacích dochází jen k velmi nízké expozici široké veřejnosti. Větší expozice nastává jen v případě nehod. Tyto nehody při průmyslovém využívání

zdrojů IZ nastávají častěji než nehody v jaderných elektrárnách. V letech 1945–2007 bylo zaregistrováno kolem 80 nehod v průmyslových provozech, kde jsou nějaké zdroje IZ. Při těchto nahlášených nehodách zemřelo 9 lidí a 120 utrpělo radiační poškození.

Opuštěné zdroje (ztracené, ukradené nebo opuštěné zdroje) v letech 1966–2007 způsobily 31 nehod. Víme, že tyto zdroje zapříčinily smrt nejméně 42 lidí a radiační poškození utrpěly další stovky. Odhaduje se, že v rámci Evropské unie se ročně ztratí až 70 zdrojů z běžné kontroly (UNEP, 2016; Ullmann, 2021b).

### **1.2.5 Předměty běžné potřeby**

Některé předměty, které slouží pro každodenní použití obsahují malé množství radionuklidů. Ty jsou při výrobě do předmětu záměrně přidány, a to pro své chemické a radioaktivní vlastnosti.

V minulosti byl nejběžněji používaný radionuklid radium-226. Tento radionuklid vynikal pro své luminiscenční vlastnosti, avšak již před několika desítkami let se přestal využívat kvůli své radiotoxicitě.

Některé moderní požární hlásiče jsou tvořeny ionizačními komorami. Je zde vrstvička americia-241, které produkuje alfa částice, které vytváří ionizační proud. Pokud se do detektoru dostane kouř, tento ionizační proud se přeruší a spustí se poplach. Expozice z těchto požárních hlásičů je extrémně nízká.

K detekci sloučenin, které mají vysokou elektronovou afinitu (freony, chlorované pesticidy a další halogenové sloučeniny) se může použít radiační detektor elektronového záchytu. Ten obsahuje vrstvičku nízkoenergetického zářiče beta, který ionizuje atomy plynu v ionizační komoře. Proud protékající komorou poklesne, pokud do komory vstoupí atomy plynu s vysokou elektronickou afinitou (UNEP, 2016; Ullmann, 2021b).

## **1.3 Ionizující záření z přírodních zdrojů**

Velká část lidí si při zmínce radioaktivity a ionizujícího záření představí hlavně IZ pocházející z umělých zdrojů, jako jsou jaderná zařízení nebo přístroje využívané ve zdravotnictví, avšak větší kolektivní ozáření obyvatelstva je způsobeno přírodními zdroji. Lidé jsou neustále vystaveni ionizujícímu záření z přírodních zdrojů. Ozáření z přírodních zdrojů jsou živé organismy vystaveny odjakživa a je prakticky nemožné se mu vyhnout. Jsme mu neustále vystaveni z kosmického záření a z přírodních

radionuklidů ve vzduchu, v půdě, ve stavebních materiálech, v horninách i v našich tělech.

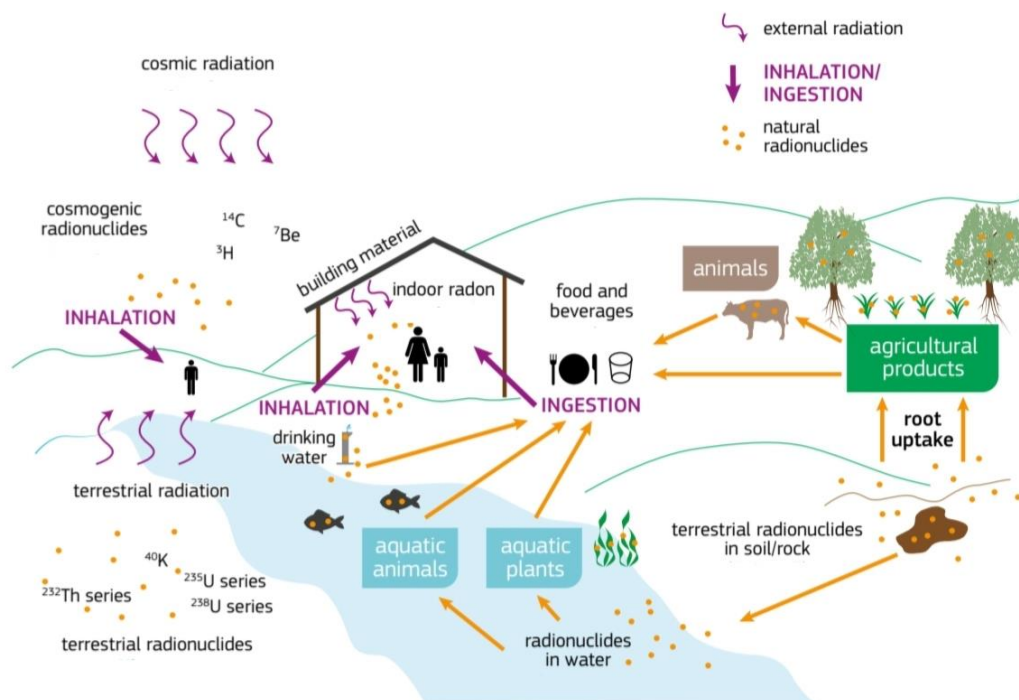
V současnosti připadá v průměru za rok přibližně přes 80 % expozice člověka na záření přírodního původu. Zbytek je expozice z umělých zdrojů, a to zejména z aplikace záření v lékařství.

Pro státy Evropské unie je průměrná hodnota roční efektivní dávky z přírodních zdrojů 3,2 mSv, pro celý svět je to přibližně 2,4 mSv. Ozáření je ale značně nerovnoměrné a odvíjí se podle místa, kde se člověk nachází. Efektivní dávka se tak může pohybovat od 1 až do více než 10 mSv. V České republice je tato hodnota vyšší než celosvětový průměr, je to 3,4 mSv za rok; nověji se dokonce uvádí hodnota až 5,83 mSv/rok. Efektivní dávka je u nás vyšší z důvodu charakteru podloží, kde se projevuje příspěvek radonu a jeho dceřiných produktů (UNEP, 2016; Cinelli et al., 2020; SÚJB, 2022a).

Některé zdroje přírodního ozáření jsou ovlivněny lidskou činností a je dobré je regulovat. Jedná se například o protiradonová opatření budov, opatření ke snížení ozáření z přírodních radionuklidů z podzemních vod nebo regulace uvolňování přírodních radionuklidů do životního prostředí při průmyslových činnostech. Na některých místech – pracovištích – je třeba monitorovat, zda nedochází k nějakému významnému zvýšení ozáření osob z přírodních zdrojů a není potřeba zavést nějaká ochranná opatření. Jedná se např. o paluby letadel, doly, jeskyně, pracoviště, kde je nakládáno s vodou, kde se vyrábějí stavební materiály z produktů spalování uhlí, kde se provádí těžba apod (Navrátil, 2022; SÚRO, 2022b).

Expozice z přírodních zdrojů IZ pro jednotlivce je většinou nízká (jedná se o nízké dávkové příkony), a tak by se v souvislosti s biologickými účinky mohlo hovořit spíše jen o stochastických účincích. Ze zdravotního hlediska je nejvýznamnějším zdrojem přírodního ozáření radon. Je prokázáno, že radon představuje druhou nejčastější příčinu vzniku karcinomu plic (UNSCEAR, 2017).

Přírodní zdroje IZ mohou být rozděleny do dvou kategorií – kosmické záření a přírodní radionuklidy (kosmogenní a terestrální).



Obrázek 3 – Ozáření z přírodních zdrojů

Zdroj: UNSCEAR, 2017

### 1.3.1 Kosmické záření

Významným přírodním zdrojem IZ je kosmické záření. To objevil francouzský fyzik Victor Hass. Na počátku 20. století se zjistilo, že ve vyšších vrstvách atmosféry je vyšší radiace, avšak to bylo v rozporu s tehdejšími přesvědčením, že zdrojem radioaktivity je Země. Objev kosmického záření tento rozpor vysvětlil. Tento typ záření zvyšuje zevní expoziční dávku a je závislý na nadmořské výšce a lokalitě. Kosmické záření tak významně ovlivňuje převážně osoby při letech letadlem a kosmickými loděmi.

Kosmické záření je vysokoenergetický proud částic, který proniká do zemské atmosféry z kosmického prostoru a je téměř zcela izotropní – přichází ho ze všech směrů stejně. Kosmické záření má primární a sekundární složku. Primární kosmické záření obsahuje hlavně protony, dále pak mezony, heliony a jádra těžkých prvků. Tato složka dopadá na zemský povrch jen minimálně. Primární kosmické záření interaguje po vstupu do zemské atmosféry s přítomnými atomy a molekulami a dává za vznik sekundárnímu kosmickému záření. Sekundární kosmické záření obsahuje protony, neutrony, radioaktivní prvky, mezony, miony, neutria a i fotony záření gama. Toto záření již dopadá na zemský povrch (spršky kosmického záření). Na zemském povrchu nejvíce k dávkovému ekvivalentu přispívají miony. Čím vyšší je nadmořská výška, tím



se objevuje více elektronů a v desítkách kilometrů nad zemí převládají protony. V obvyklých výškách letů se na expozici z poloviny podílí nabitě částice a z poloviny neutrony (Kuna et al., 2005; Navrátil et al., 2005; Olinto, 2014; Beneš et al., 2015).

Střední roční ekvivalentní dávka z kosmického záření je pro člověka na úrovni mořské hladiny přibližně 0,30 mSv. Lidé žijící ve výškách kolem 2 000 m. n. m. obdrží přibližně dvojnásobek dávky oproti lidem žijícím na úrovni moře. Příkon dávkového ekvivalentu pro let ve výšce 10 km je cca 1,35  $\mu\text{Sv/h}$  a v nadzvukových letadlech (20 km nad zemí) cca 9  $\mu\text{Sv/h}$ . To znamená, že např. let New York – Paříž a zpět způsobí dávku okolo 0,05 mSv. Tato dávka odpovídá přibližně efektivní dávce obdržené při běžném rentgenovém snímku hrudníku. U pilotů a stevardů, kteří tráví v letadle delší dobu, činná průměrná roční dávka z kosmického záření 2–3 mSv. Biologické účinky kosmického záření mohou být pociťovány při dlouhodobých kosmických letech. Během čtyřměsíčního pobytu na Mezinárodní kosmické stanici, která je od Země vzdálená 350 km, dostane kosmonaut efektivní dávku okolo 100 mSv. Zdravotní rizika z kosmického záření jsou tak jedním z hlavních omezujících faktorů pro dlouhodobé vesmírné mise mimo oběžnou dráhu Země (Blažková, 2008; Podzimek, 2013; Norbury et al., 2016; UNEP, 2016; Cinelli et al., 2020).

Z hlediska radiační expozice jsou důležité tři složky kosmického záření – galaktické záření, sluneční záření a záření radiačních van Allenových pásů.

#### *Galaktické kosmické záření*

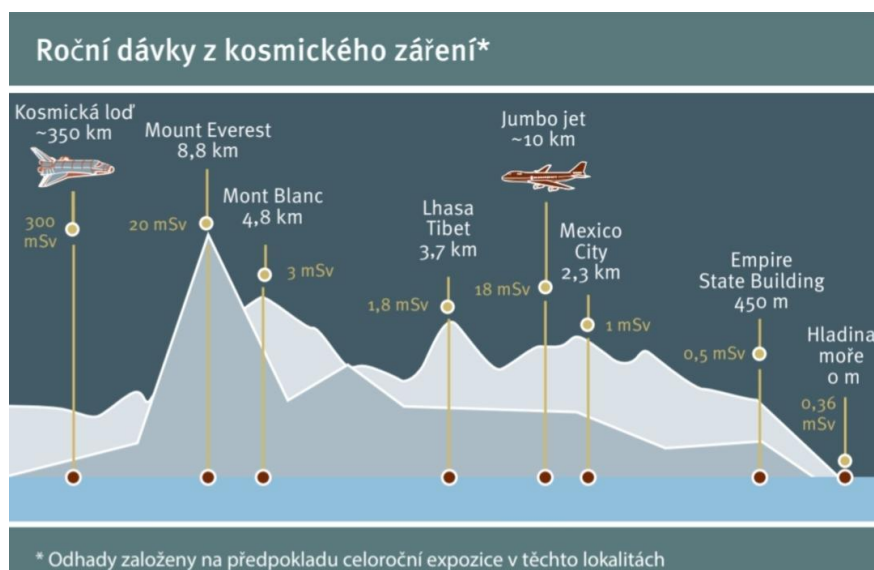
Galaktické kosmické záření má svůj původ v hlubokých oblastech vesmíru a skládá se převážně z protonů (85 %), jader hélia (11 %), elektronů (3 %) a těžších jader mnoha prvků (1 %). Galaktické záření pochází ze zbytků supernov, což jsou silné exploze hvězdy, které se buď zhroutí do černých děr nebo jsou zničeny (Kuna et al., 2005; IAEA, © 1998–2022).

#### *Sluneční kosmické záření*

Sluneční záření pochází hlavně ze slunečních erupcí. Část tohoto záření je vyzařována ze sluneční korony, čemuž se říká „sluneční vítr“. Zbylé záření pochází ze slunečních částic, které vznikají při rozpínání magnetického pole na povrchu Slunce. Záření se skládá z protonů (99 %) a těžších nabitých částic (IAEA, © 1998–2022).

### *Radiační van Allenovy pásy*

Radiační van Allenovy pásy jsou protony a elektrony zachyceny a drženy v magnetickém poli Země, a to v určitých vzdálenostech od Země. Tyto pásy jsou dva, vnitřní a vnější. Vnitřní pás je přibližně ve vzdálenosti 3 000 km a vnější pás přibližně 20 000 km. Radiační účinky z těchto pásů jsou pro osoby na Zemi zanedbatelné. Pásy jsou významnější z hlediska letů do vesmíru a letů družic kolem Země (Cinelli et al., 2020; Navrátil et al., 2022).



Obrázek 4 – Roční dávky z kosmického záření

Zdroj: UNEP, 2016

### **1.3.2 Přírodní radionuklidy**

V přírodě, se kromě stabilních prvků, v malém množství vyskytují i radioaktivní prvky přírodního původu (vznikají nějakou činností přírody).

Přírodní radionuklidy se rozdělují do tří skupin podle původu a jejich vzniku – kosmogenní radionuklidy, původní primordiální radionuklidy a sekundárně vznikající radionuklidy. Původní primordiální a sekundárně vznikající radionuklidy se označují jako terestrální radionuklidy, neboť jsou „zemního“ původu (Havránková, 2018).

V přírodě se hodně vyskytují dlouhodobé radionuklidy s poločasem přeměny přes 100 milionů let. Mezi ty krátkodobější patří ty, co jsou nepřetržitě vytvářeny přírodními procesy – kosmickým zářením nebo jsou v rozpadových řadách dlouhodobých radionuklidů (Ullmann, 2021a).

V České republice jsou v životním prostředí některé radionuklidy monitorovány. Sleduje se jejich obsah v ovzduší, vodě a půdě. Tento monitoring má sloužit hlavně

k včasnému zachycení nějakých odchylek v aktivitě vzorků od dlouhodobých průměrů. Část ze sledovaných radionuklidů jsou umělé radionuklidy, které se do přírody dostaly například po jaderných haváriích nebo zkouškách jaderných zbraní. Jedná se například o radionuklidy  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , nebo  $^{238}\text{Pu}$ . Mezi přírodní radionuklidy, které se měří v ovzduší patří  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  nebo  $^{14}\text{C}$ . Vodní odběrová místa sledují  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  nebo  $^3\text{H}$ . Tímto sledováním je pověřen SÚJB (SÚJB, 2022b).

Přírodní radionuklidy se mohou využívat pro radiometrické datování, které využívá radioaktivního rozpadu k měření času. Jedná se o srovnání množství radioaktivního izotopu a jeho rozpadových produktů, a to za využití známých poločasů přeměny. Tato technika se užívá pro datování různých materiálů (určování stáří) (Ullmann, 2021a).

### **1.3.2.1 Kosmogenní radionuklidy**

Kosmogenní radionuklidy vznikají interakcí kosmického záření a jader atmosféry, půdy a vody. Jejich vznik je závislý na kosmickém záření (jeho sekundární složce) a nejčastěji k němu dochází v horních vrstvách atmosféry. Vznikají jadernými reakcemi. Produkce kosmogenních radionuklidů roste s nadmořskou výškou a také se zeměpisnou šířkou. Tyto radionuklidy se nejčastěji do lidského organismu dostanou požitím látek kontaminovaných těmito radionuklidy. Co se týká radiační zátěže obyvatelstva, nejdůležitější jsou radionuklidy uhlík  $^{14}\text{C}$ , tritium  $^3\text{H}$ , beryllium  $^7\text{Be}$  a sodík  $^{22}\text{Na}$ .

Nejvýznamnějším kosmogenním radionuklidem je přírodní uhlík  $^{14}\text{C}$ . Ten vzniká interakcí neutronů kosmického záření a atomů dusíku. Aktivita  $^{14}\text{C}$  v 1 g uhlíku v lidském těle je 0,227 Bq, což je přibližně efektivní dávka 12  $\mu\text{Sv}$ . Uhlík  $^{14}\text{C}$  slouží k jedné z nejvyužívanějších metod radiometrického datování – radiouhlíkové datovací metodě. Ta se opírá o výpočet stáří z poklesu počtu atomů uhlíku  $^{14}\text{C}$  v dřívě živých materiálech. Metoda je používána hlavně v archeologii.

Tritium  $^3\text{H}$  vzniká interakcí neutronů kosmického záření s atomy dusíku, kyslíku a lithia. Asi 99 % tritia je integrováno do molekul vody, díky čemuž se dostává do vodního cyklu. S vodou se pak dostává do potravního řetězce, a tím i do lidského organismu, kde se zčásti zabudovává. Způsobuje tak vnější i vnitřní ozáření. Aktivita tritia  $^3\text{H}$  je přibližně  $1,2 \cdot 10^{-3}$  Bq/kg.

Beryllium  $^7\text{Be}$  vzniká interakcí kosmického záření s atomy dusíku a kyslíku. Nejvíce se do lidského organismu dostane požíváním listové zeleniny. Přibližná roční průměrná efektivní dávka z  $^7\text{Be}$  je 0,03  $\mu\text{Sv}$ .

U světová populace je z kosmogenních radionuklidů průměrná roční efektivní dávka 0,01 mSv (Airey et al., 2012; Beer et al., 2012; Havránková, 2018; Peplowski et al., 2019; Ullmann, 2021a).

Tabulka 1 – Roční příjem kosmogenních radionuklidů

RADIONUKLID	PŘÍJEM (Bq)	ROČNÍ EFEKTIVNÍ DÁVKA ( $\mu$ Sv)
$^7\text{Be}$	1000	0,03
$^{14}\text{C}$	20 000	12
$^3\text{H}$	500	0,01
$^{22}\text{Na}$	50	0,15

### 1.3.2.2 Terestrální radionuklidy

Terestrální radionuklidy jsou obsaženy v zemské kůře. Rozložení těchto radionuklidů není ve světě rovnoměrné, a tudíž jimi způsobená radiační zátěž není na různých místech Země stejná. Je to dáno geologickými procesy, které terestrální radionuklidy rozdělily nerovnoměrně. Z tohoto důvodu existují místa, kde jsou velmi vysoké dávkové příkony z terestrálních radionuklidů, a která převyšují světový průměr. Celosvětový průměrný dávkový příkon je přibližně 0,057  $\mu$ Gy/h. Extrémně vysoké hodnoty byly naměřeny například na monazitových pískách Guarapari v Brazílii (až 50  $\mu$ Gy/h) a Kerala v Indii (2  $\mu$ Gy/h) nebo na horninách Ramsar v Íránu, kde je vysoká koncentrace rádia (1-10  $\mu$ Gy/h) (Havránková, 2018; Navrátil et al., 2022).

Celosvětová průměrná roční efektivní dávka z vnějšího ozáření terestrálními radionuklidy (bez radonu) činí 0,48 mSv a z vnitřního ozáření 0,23 mSv (UNEP, 2016).

Pod označení terestrální radionuklidy patří původní primordiální radionuklidy (např. izotopy uranu  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ , thoria  $^{232}\text{Th}$ , draslíku  $^{40}\text{K}$ ) a radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů tvořících rozpadové řady (např. radium  $^{226}\text{Ra}$ , radon  $^{222}\text{Rn}$ ).

Co se týče terestrálních radionuklidů, externí ozáření obyvatel je způsobeno zejména gama zářením radionuklidů thoriové a uran-radiové rozpadové řady a draslíku  $^{40}\text{K}$ . Tyto radionuklidy se také vyskytují v lidském těle, kde ozařují alfa, beta i gama zářením. Uran-radiové a thoriové rozpadové řady mají ve svých produktech přeměny radon  $^{222}\text{Rn}$  a thoron  $^{220}\text{Rn}$ , ty jsou dominantní z hlediska vnitřního ozáření. V závislosti

na podmínkách mohou radon a jeho rozpadové produkty tvořit až přes polovinu celkové radiační zátěže člověka.

Co se týče externí expozice, ta je způsobena především terestrálními radionuklidy emitujícími gama záření a nacházející se na horních vrstvách hornin a půdy. Aktivita se různí podle původu půdy nebo horniny. Vyšší hodnoty jsou v oblastech, kde se objevují vyvěřelé horniny, jako je žulové podloží (to je bohaté na draslík, uran i thorium). Zvýšené hodnoty dávkových příkonů také nalezneme v oblastech bývalých ložisek uranových rud – Příbramsko, Jáchymovsko atd. Naopak nejnižší hodnoty dávkových příkonů jsou v oblastech s vápencovým podložím, mramory apod. Aktivity se podle druhu horniny liší i o několik řádů. Hodnoty pro  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{238}\text{U}$  se mohou pohybovat od 1 až do 1 000 Bq/kg (Levý, 2008; SÚRO, 2022a).

Na základě složitých procesů mezi horninou a vodou, se terestrální radionuklidy do ní také mohou uvolňovat. Vyšší aktivitu zaznamenává podzemní voda, která byla dlouho v kontaktu s horninou s vyšší mírou terestrálních radionuklidů. Aktivita radionuklidů ve vodě je od 1 až do 100 Bq/l; s výjimkou radonu ten je v rozmezí 10 až 1 000 Bq/l. Aktivita povrchových vod je o několik řádů nižší; kromě sedimentů povrchových vod, kde dochází ke kumulaci.

Terestrální radionuklidy se do potravních řetězců také mohou dostat přes kořeny rostlin z půdy nebo ingescí kontaminované vody nebo krmiva zvířaty. Dávky z potravin jsou rozdílné v závislosti na místních výživových návycích. Například lidé, kteří více konzumují ryby a měkkýše obdrží dávku větší, neboť tyto potraviny obsahují vysokou hladinu  $^{210}\text{Pb}$  a  $^{210}\text{Po}$ . Další potraviny, které mají trochu vyšší obsah radioaktivních prvků jsou např. brazilské ořechy.

Do ovzduší se terestrální radionuklidy dostávají uvolněním z půdy a hornin. Nejvýznamnější je z tohoto hlediska plynný radon a jeho dceřiné produkty. Ostatní radionuklidy se do vzduchu dostávají jako prachové částice.

Terestrální radionuklidy mohou být také obsaženy ve stavebním materiálu, a to v závislosti na surovinách materiálu.

Určité množství radionuklidů, které se dostane do lidského organismu, se v něm může ukládat. I z těchto radionuklidů poté člověk dostává dávku, i když velice minimální (Levý, 2008; UNEP, 2016; Alomari et al., 2019; SÚRO, 2022a).

### *Původní primordiální radionuklidy*

Primordiální radionuklidy vznikly již v časných etapách vesmíru. Vznikly v nitrech hvězd, které pak explodovaly jako supernovy a obohatily zárodečný oblak, ze kterého vzniklo naše Slunce a sluneční soustava. Když před cca 4,6 mld lety vznikla planeta Země, staly se tak už její součástí. Na Zemi se pak vyskytovaly stabilní a nestabilní atomy. Od té doby se většina nestabilních atomů rozpadla a hodně jich dosáhlo stability. Některé radionuklidy však mají velmi dlouhé poločasy přeměny (větší než  $10^8$  let), a tak stále ještě existují. Energie, která je z primordiálních radionuklidů uvolňována, je pravděpodobně i významným zdrojem geotermální energie zahřívající nitro Země (Khandaker et al., 2012; Podzimek, 2013).

Mezi primordiální radionuklidy patří izotopy uranu  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ , thorium  $^{232}\text{Th}$ , draslík  $^{40}\text{K}$ , dále také například kadmium  $^{113}\text{Cd}$ , vápník  $^{48}\text{Ca}$ , rubidium  $^{87}\text{Rb}$  atd.

K těm nejvíce zastoupeným patří izotopy uranu  $^{238}\text{U}$  a  $^{235}\text{U}$ , ty pak dále tvoří uran-radiovou a aktiniovou rozpadovou řadu.  $^{238}\text{U}$  představuje 99,3 % přírodního uranu a má poločas rozpadu  $4,5 \cdot 10^8$  let.  $^{235}\text{U}$  představuje 0,72 % přírodního uranu a má poločas rozpadu  $7 \cdot 10^8$  let. Je také důležitý pro jaderné elektrárny a jaderné zbraně, neboť jde velmi dobře štěpit. Oba izotopy se rozpadají odděleně rozpadovou řadou, která končí stabilním izotopem olova. Uran a jeho dceřiné produkty v obou rozpadových řadách jsou zdrojem záření alfa, beta a gama. Uran tvoří samostatné minerály (uraninit), příměsí v jiných minerálech (zirkonu, apatitu, titanitu), případně může být vázán na organickou hmotu. Jako stopový prvek je přítomen ve všech vyvřelých a metamorfovaných horninách. Nejvíce uranu obsahuje ruda smolinec (uraninit  $\text{UO}_2$ ). Ozáření z uranu jsme tedy z půdy, hornin a ingescí jídla a vody obsahující stopové množství uranu. Uran má tendenci se v těle koncentrovat do kostí a nahrazovat vápník. Expozice člověka může být zvýšena několika antropogenními činnostmi, a to převážně těmi, které souvisí s těžbou a zpracováním uranu (a thoria), výrobou nukleární energie, výrobou a používáním fosfátových hnojiv a pálením uhlí. Stejnými činnostmi se zvyšuje také expozice z ozáření  $^{232}\text{Th}$  (Manová et al., 1995; Podzimek, 2013).

Thorium  $^{232}\text{Th}$  má poločas proměny  $1,41 \cdot 10^{10}$  let. Thorium se může v horninách vyskytovat v podobě samostatných minerálů (thorit, thorianit) nebo může být jako příměs v jiných minerálech (zirkonu, apatitu, titanitu, monazitu, jílových minerálech). Jeho koncentrace v horninách je v rozmezí 1,6 až 20 mg/kg. Jedním z hlavních zdrojů thoria jsou monazitové písky, které ho obsahují až 6 %. Monazitové písky jsou jedním z míst,

kde je neobvykle vysoké přírodní záření. Ozáření tak můžeme být z okolních hornin a půdy. Jelikož je thorium relativně nerozpustné, je v biologických materiálech pouze ve velmi malých množstvích. Hlavním zdrojem  $^{232}\text{Th}$  pro člověka je inhalace prachových částic obsahujících radionuklid.

Draslík patří v přírodě k nejrozšířenějším prvkům. V zemské kůře se ho nachází v průměru asi 2,5 %. Přírodní draslík má tři izotopy, avšak radioaktivní přeměně podléhá jen jeden, a to izotop  $^{40}\text{K}$ .  $^{40}\text{K}$  má poločas přeměny  $1,28 \cdot 10^9$  let. Jak v přírodních materiálech (půda, horniny, soli), tak i v tkáních živých organismů je jeho obsah cca 0,0119 %. Radioaktivní přeměna  $^{40}\text{K}$  z větší části probíhá za uvolňování částic beta s maximální energií 1,311 MeV a také dochází k záchytu orbitálních elektronů za současné emise záření gama o energii 1,461 MeV. Dochází k přeměně na vápník  $^{40}\text{Ca}$  nebo záchytem elektronu na argon  $^{40}\text{Ar}$ . V lidském těle o hmotnosti 70 kg se průměrně nachází 0,14 kg draslíku, z čehož 0,0166 g je  $^{40}\text{K}$ . Toto vede k aktivitě přibližně 4 400 Bq. Koncentrace draslíku v těle je homeostaticky udržována, a proto je i koncentrace  $^{40}\text{K}$  u všech lidí velmi podobná (Podzimek, 2013; Cinelli et al., 2020; SÚRO, 2022a; SÚRO, 2022b).

#### *Sekundárně vznikající radionuklidy*

Sekundárně vznikající radionuklidy vznikají jako rozpadové produkty přeměn primordiálních radionuklidů. Jedná se o významnou část zdrojů ionizujícího záření.

Radionuklidy  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  a  $^{235}\text{U}$  tvoří rozpadové řady, kdy se se alfa rozpadem a později i beta rozpadem přeměňují na dceřiné produkty. Dceřiné produkty vykazují alfa i beta radioaktivitu a excitovaná jádra emitují gama záření. Rozpadové řady jsou pojmenované podle počátečního izotopu:

- uran-radiová – začíná uranem  $^{238}\text{U}$  a končí olovem  $^{206}\text{Pb}$
- uran-aktiniová – začíná uranem  $^{235}\text{U}$  a končí olovem  $^{207}\text{Pb}$
- thoriová – začíná thoriem  $^{232}\text{Th}$  a končí olovem  $^{208}\text{Pb}$ .

Jak vypadají celé tyto rozpadové řady je vyobrazeno v příloze číslo 1. Mezi základní rozpadové řady patří ještě neptuniová rozpadová řada, která začíná neptuniem  $^{237}\text{Np}$  a končí thalliem  $^{205}\text{Tl}$ . Avšak s touto řadou se v přírodě běžně nesetkáme (SÚRO, 2022a).

Z radionuklidů, které vznikají v rozpadových řadách, je nejvýznamnější radium  $^{226}\text{Ra}$  a z něj vznikající plyn radon  $^{222}\text{Rn}$ , který má řadu dceřiných produktů v pevné formě. Za významné izotopy radia se považují izotop  $^{226}\text{Ra}$ , který pochází z uran-radiové

rozpadové řady a izotop  $^{228}\text{Ra}$  z thoriové rozpadové řady. Tyto dceřiné produkty se vyskytují v podobných hmotnostních aktivitách jako thorium a uran.

Z hlediska vnitřního ozáření je významný radon  $^{222}\text{Rn}$  a thoron  $^{220}\text{Rn}$ , ale také izotopy radia  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , uranu  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ , polonia  $^{210}\text{Po}$  a olova  $^{210}\text{Pb}$  (Podzimek, 2013; Alomari et al., 2019; Navrátil et al., 2022).

### **1.3.3 Radon**

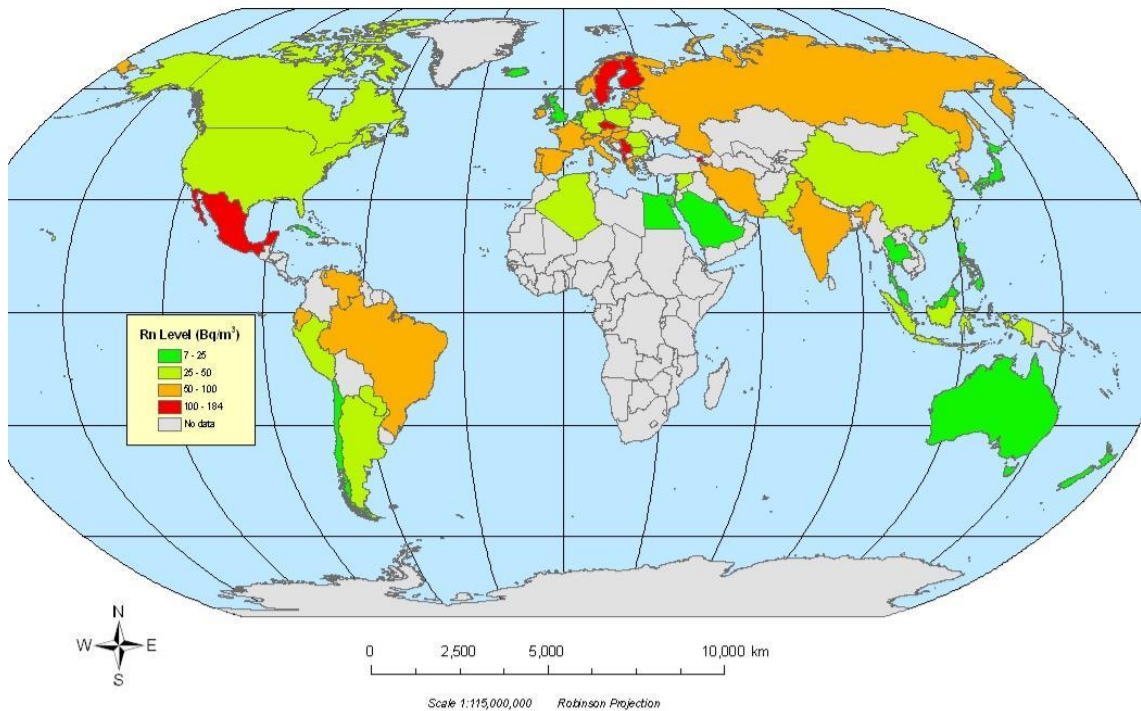
Radon je radioaktivní přírodní plyn, který je bez chuti a zápachu. Je těžší než vzduch, takže se hromadí u země. Radon je jedním z dceřiných produktů uranu nebo thoria. V přírodě se vyskytuje ve formě tří radioaktivních izotopů:  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  a  $^{219}\text{Rn}$ . Všechny tři izotopy jsou zdrojem alfa záření. Radioaktivním rozpadem thoria  $^{232}\text{Th}$  vzniká izotop  $^{220}\text{Rn}$  zvaný thoron. Thoron  $^{220}\text{Rn}$  má poločas přeměny 55,6 sekund. Radioaktivním rozpadem  $^{235}\text{U}$  vzniká aktinon  $^{219}\text{Rn}$ , který má poločas přeměny 3,92 sekund. Radioaktivním rozpadem  $^{238}\text{U}$  vzniká radon  $^{222}\text{Rn}$ , který má poločas přeměny 3,85 dne. Ten je tak nejstabilnější a nejvíce důležitý z hlediska přírodního ozáření (Tiwari, 2020).

Mezi dceřiné produkty radonu  $^{222}\text{Rn}$  patří polonium  $^{218}\text{Po}$  (poločas přeměny 3,11 min), olovo  $^{214}\text{Pb}$  (poločas přeměny 26,8 min), vizmut  $^{214}\text{Bi}$  (poločas přeměny 19,9 min), polonium  $^{214}\text{Po}$  (poločas přeměny 164  $\mu\text{s}$ ) a rozpadová řada končí stabilním olovem  $^{206}\text{Pb}$ . Tyto dceřiné produkty jsou kovy usazující se na prachových částicích, které jsou vdechovány člověkem a mohou se ukládat ve výstelce dýchacích cest a plicích (Alomari et al., 2019; Navrátil et al., 2022).

Z přírodních zdrojů je to právě radon  $^{222}\text{Rn}$  a jeho produkty, kdo připívá k ozáření nejvíce. V průměru se v Evropě na ozáření z přírodních zdrojů podílí z cca 60 %. Tento podíl se však u každé země liší. Například v Nizozemsku a na Kypru se jedná o 30 %, v České republice nebo Finsku tato hodnota může dosahovat až 75 % (UNEP, 2016). V České republice je průměrná efektivní dávka z radonu odhadována na více než 2 mSv/rok, je uváděna i hodnota 4,47 mSv/rok. Průměrná efektivní dávka z radonu pro celý svět je kolem 1,15 mSv/rok a pro Evropu 1,96 mSv/rok (UNEP, 2016; SÚRO, 2022b).



Arithmetic Mean Radon Level by Country  
(Based on Data up to 2007)



Obrázek 5 – Průměrná koncentrace radonu ve světě

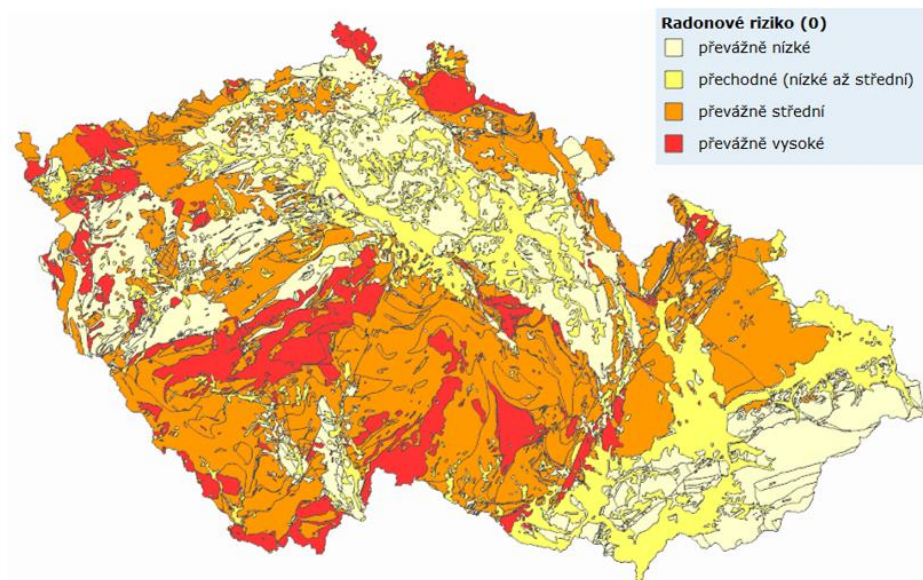
Zdroj: Al Jassim et al., 2018

### 1.3.3.1 Zdroje radonu

Uran, z jehož rozpadu  $^{222}\text{Rn}$  vzniká, je součástí zemské kůry. Může se nacházet i ve vodě, ve které je rozpuštěn. Radon opouští horniny jako plyn skrze póry. Ve volném prostředí je radon ředěn vzdušnými proudy, ale v uzavřených prostorách se může kumulovat. Do uzavřených prostorů i ovzduší se radon může dostat z geologického podloží, vody, stavebního materiálu nebo zemního plynu (Navrátil et al., 2022; SÚRO, 2022a).

Koncentrace radonu v půdním vzduchu je závislá na množství uranu v hornině. Největší objemovou aktivitu radonu (OAR) mají podloží tvořené zvětralou žulou a vulkanickými půdami. Naopak nízké koncentrace radonu jsou v půdách tvořených sedimenty (jílovec, pískovec, slepenec). Česká republika je ze dvou třetin tvořena metamorfovanými a magmatickými horninami, které mají vyšší obsah uranu, tudíž je zde větší koncentrace radonu v půdním vzduchu (Komárek et al., 1997; Navrátil et al., 2022).

Českou geologickou službou byla vytvořena geologická prognózní mapa radonového indexu. Tato mapa orientačně naznačuje průměrnou míru aktivity radonu v geologickém podloží a rozděluje území ČR podle radonového rizika (Česká geologická služba, 2022).



Obrázek 6 – Radonová mapa ČR

Zdroj: Česká geologická služba, 2022

Radon se k člověku také může dostat skrze vodu. Povrchová voda obsahuje jen zanedbatelné množství radonu, na rozdíl od vody podzemní. Podzemní voda, která byla v kontaktu s horninami obsahující uran nebo radium, je radonem nasycena. Riziko radonu ve vodě nespočívá v jeho ingesci, ale v jeho inhalaci. Při sprchování, mytí, vaření nebo praní dochází k uvolňování části radonu z podzemní vody do ovzduší. Hladina koncentrace radonu, je také závislá na tom, jak se s vodou zachází. V podzemních zdrojích pitné vody se provádí měření koncentrace radonu. Podle vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, nesmí pitná voda pro veřejnou potřebu a balená voda překročit hodnotu objemové aktivity radonu 300 Bq/l. Pokud je zjištěna zvýšená koncentrace radonu následuje jeho odstranění. K tomu slouží aerační zařízení – provzdušňuje se voda a radon je tím vytěšňován. Aerační zařízení fungují v úpravárnách vody pro veřejné vodovody a obsah radonu snižují více než desetkrát. Pro individuální zásobování pitné vody z domovní studny nejsou stanoveny žádné limity, pouze doporučení. V České republice je průměrná objemová aktivita v pitné vodě pro veřejné zásobování z podzemních zdrojů přibližně 14 Bq/l a u vody z domovních studní to je 49 Bq/l. Extrémem jsou například lázeňské vody

v Jáchymovských lázních, které mají aktivitu v řádu 10 000 Bq/l (Hampl, 2010; Radonový program České republiky, 2016; SÚRO, 2022a).

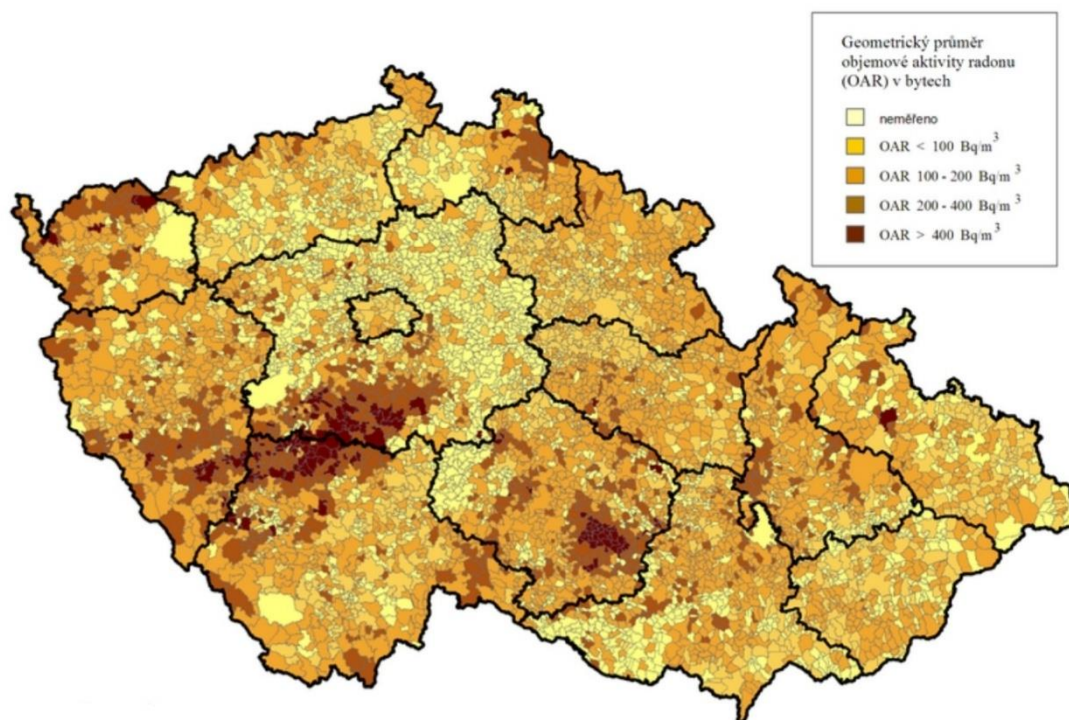
Zemní plyn jako zdroj radonu představuje zanedbatelný příspěvek.

Do budovy se radon dostane z podloží pod objektem, a to difúzí nebo se v důsledku podtlaku nasává netěsnostmi (trhliny mezi stěnou a podlahou, trhliny způsobené rozdílným sedáním v suterénních stěnách, netěsnosti kolem uzávěrů revizních šachet, netěsnosti kolem prostupů instalací, netěsnosti kolem podlahových výpustí nebo odvodňovacím drenážním potrubím) ve spodních částech stavby. Někdy může docházet i k difúzi spodní konstrukcí stavby, pokud se jedná například o prkenné podlahy na škárovém podsypu (Komárek et al., 1997; Navrátil et al., 2022).

Radon se také do interiéru budov může uvolňovat ze stavebního materiálu budovy, který obsahuje nějaké množství uranu nebo radia. Jedná se často o drcené, mleté nebo tepelně upravované materiály, které uvolňují radon ze svého povrchu. Stejně jako u vody, musí výrobci a dovozci stavebních materiálů dodržovat určité limity. Pro stavební materiály vyráběné pro vlastní potřebu nejsou stanoveny žádné limity, jsou zde opět jen doporučení. Koncentrace radonu v budově je závislá na kvalitě vzduchotěsnosti základů, způsobu konstrukce nebo větrání (Neznal et al., 2009; SÚRO, 2022a).

Průměrná hodnota objemové aktivity radonu v budovách v České republice je 118 Bq/m<sup>3</sup>, což nás řadí mezi země s nejvyšší průměrnou koncentrací radonu v bytech. Celosvětový průměr OAR v budovách je 40 Bq/m<sup>3</sup>. Maximální hodnota pro byty doporučená ve vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně, je 300 Bq/m<sup>3</sup>. Tuto hodnotu překračuje asi 3–4 % bytů u nás. Pro lidi, kteří v těchto bytech žijí se jedná o stejnou dávku, jako by každý den podstoupili rentgenový snímek plic (Radonový program České republiky, 2016).

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



Obrázek 7 – Geometrický průměr OAR v obcích ČR

Zdroj: Radonový program České republiky, 2016

### 1.3.3.2 Zdravotní riziko radonu

Radon je považován za druhou hlavní příčinu vzniku karcinomu plic (první je kouření cigaret). Světová zdravotnická organizace (WHO) ho zařadila mezi karcinogeny.

Přímo samotný radon <sup>222</sup>Rn nepředstavuje pro organismus velké nebezpečí. Je totiž po vdechnutí z velké části vydechnut zpět. Z hlediska zdravotních důsledků jsou nebezpečné hlavně rozpadové produkty radonu <sup>222</sup>Rn. Jsou to pevné částice, které se ve vzduchu usazují na prachových částicích a vytváří radioaktivní aerosoly. Ty jsou pak vdechovány a procházejí dýchací soustavou. Některé jsou zachycovány v průduškách, kde přispějí k většímu ozáření horních cest dýchacích. Zbytek se usadí v plicích, kde se dochází k rozpadu na další prvky a emitaci alfa a beta záření. Alfa má dolet jen několik milimetrů, a tak zasahuje epitelovou výstelku dýchacích cest. Dochází k husté ionizaci, což může mít za následek poškození buněk, porušení DNA a následnou mutaci, která dává za vznik rakovině (Jiránek, 2001; Hampl, 2010).

Pravděpodobnost vzniku rakoviny v důsledku radonu je úměrná koncentraci dceřinných produktů radonu ve vzduchu a délce pobytu v takovém prostředí. Riziko

vzniku rakoviny způsobené produkty radonu je dlouhodobou záležitostí, a tak ke vzniku nádoru dochází až po několika jednotkách až desítkách let od pobytu v exponovaném prostředí. Při krátkodobých pobytech ve vyšších koncentracích je riziko zanedbatelné (Danihelka, 2009; Reisz et al., 2014; SÚRO, 2022a).

To, že je vdechování radonu škodlivé a zvyšuje riziko rakoviny plic, bylo poprvé zaznamenáno u výzkumů horníků v uranových dolech v USA, Kanadě, ČR. V druhé polovině 20. století se vědci zaměřili i na koncentrace radonu v budovách a dospěli k názoru, že radon může být jednou z hlavních příčin rakoviny plic nejen u horníků (SÚRO, 2022a).

Celosvětová studie sdružující údaje z více národních studií statisticky prokázala riziko rakoviny plic pro koncentraci radonu vyšší než  $150 \text{ Bq/m}^3$ . Pokud je koncentrace nižší, riziko se také snižuje a testy zde nejsou dostatečně průkazné. Dále je také předpoklad, že při každém zvýšení koncentrace radonu o  $100 \text{ Bq/m}^3$  dojde ke zvýšení rizika rakoviny plic přibližně o 16 %. Riziko vzniku karcinomu plic se také zvyšuje u osob, které kouří, a to až 25-krát (Al Jassim et al., 2018; SÚRO, 2022a).

Každoročně po celém světě přibude asi 2,2 milionu případů karcinomu plic. Podle WHO je jich 3–14 % způsobeno právě radonem. Toto procentuální zastoupení se v jednotlivých zemích odvíjí od jejich průměrné koncentrace radonu. Celosvětově je s expozicí radonem spojeno až 222 000 z 1,7 milionu úmrtí na rakovinu plic za rok. V Evropě se odhaduje, že cca 18 000 úmrtí na rakovinu plic ročně, je způsobeno radonem. Podle dalších studií, například v USA zemře ročně na rakovinu plic spojenou s radonem přibližně 21 000 lidí a ve Velké Británii je to 1 100 úmrtí.

Uvádí se, že v České republice, v důsledku vysoké koncentrace radonu, zemře ročně přibližně 900 lidí na rakovinu plic. To je asi 15 % ze všech úmrtí na toto onemocnění. Pro srovnání, je to přibližně dvojnásobek počtu lidí, kteří ročně zemrou na silnicích (Al Jassim et al., 2018; Elío et al., 2019; SÚRO, 2022a).

Radon však nemusí být vždy jen zdravotním nebezpečím. V určitém množství se totiž může využívat k léčbě celé řady zdravotních problémů. Jedná se o tzv. radonové minerální vody, které mají své místo v lázeňství. Při radonových koupelích je tělo vystaveno alfa částicím, které způsobují produkci hormonů, regeneraci tkání a aktivaci imunitního systému. Tato léčebná procedura se provádí v lázních v Jáchymově (Danihelka, 2009).

## **2 Cíl práce a výzkumné otázky**

### ***Cíl práce***

1. Zjistit, jaká je informovanost obyvatelstva o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů.
2. Vytvořit informační materiál o ionizujícím záření z přírodních zdrojů.
3. Porovnat, jak vybrané státy přistupují k problematice regulování radonu.

### ***Výzkumná otázka č. 1***

Je obyvatelstvo dostatečně informováno o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů?

### ***Výzkumná otázka č. 2***

Jaká skupina, podle nejvyššího dosaženého vzdělání, má nejmenší povědomí o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů?

### 3 Metodika

K vytvoření teoretické části své diplomové práce jsem využila různé odborné materiály, jednalo se o knihy, elektronické knihy, brožury, odborné články, příspěvky na internetu atd. Informace jsem čerpala jak z českých, tak i ze zahraničních zdrojů.

Moje praktická část diplomové práce se skládá ze tří částí. První je dotazníkové šetření, které je zaměřeno na informovanost obyvatelstva o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů. Druhou částí je vytvoření informačního materiálu – informačního letáku o ionizujícím záření z přírodních zdrojů. V třetí části mám uvedeno, jak různé státy regulují radon.

První část praktické části mé diplomové práce jsem zpracovávala ve formě kvantitativního výzkumu. Potřebná data jsem získala pomocí dotazníkového šetření (viz Příloha 2).

Nejdříve jsem vymyslela šestnáct otázek, na které se budu ptát. Dotazník jsem poté vytvořila na webové stránce [www.vyplnto.cz](http://www.vyplnto.cz). Dotazník byl k respondentům distribuován prostřednictvím soukromých emailů, sociálních sítí a diskuzních fór. Asi dvacet dotazníků jsem také vytiskla, a ty jsem poté rozdala některým rodinným příslušníkům, kteří je nechali vyplnit kolegy/kolegyněmi v práci nebo jejich známými. Tyto odpovědi jsem poté z tištěné formy do elektronického dotazníku zanesla sama.

Neboť se jedná o elektronický dotazník, nelze přesně určit jeho návratnost. Můj výběrový statistický soubor je 362 respondentů. Dotazník byl vyplňován po dobu dvou týdnů, na přelomu měsíců únor a březen.

Po otevření odkazu na můj dotazník se respondentům zobrazil text s představením a vysvětlením účelu dotazníku.

Dotazníkové šetření obsahovalo celkem 16 otázek. U každé otázky bylo na výběr dvě až pět odpovědí. U otázek, které zjišťovaly informovanost, byla vždy možnost odpovědět „Nevím“. Všechny otázky byly uzavřené a respondenti u nich mohli vybrat vždy jen jednu odpověď. První dvě otázky byly informativního charakteru, týkaly se pohlaví respondenta a jeho nejvyššího dosaženého vzdělání. Zbýlých čtrnáct otázek bylo zaměřeno na informovanost respondentů o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů. U každé z těchto otázek byla vždy jen jedna správná odpověď. Otázky č. 3–16 slouží k zodpovězení první a druhé výzkumné otázky. Polovina z otázek, které byly zaměřeny na informovanost, se týkala problematiky radonu. Dotazník jsem



takto vytvořila, neboť radon má největší zastoupení v přírodním ozáření, a proto mi přišlo vhodné zaměřit se na něj trochu více.

Dotazník nebyl nijak větvený, takže všem respondentům se objevilo všech 16 otázek. Dotazník se respondentovi otevřel celý najednou. Všechny otázky byly povinné, takže respondenti museli odpovědět na všech 16 otázkách.

Data získaná z dotazníků jsem zpracovala do výsečových grafů. U otázek č. 3–16 jsem využila také sloupcové grafy. Sloupcové grafy jsem použila pro zachycení procentuálního zastoupení správných odpovědí u čtyř skupin, které jsou rozděleny podle nejvyššího dosaženého vzdělání. Vytvoření těchto grafů předcházelo zpracování tabulky v Excelu, která obsahovala počet a procenta správných odpovědí u jednotlivých skupin (Příloha 3).

Dále jsem v praktické části diplomové práce vytvořila informační materiál o ionizujícím záření z přírodních zdrojů. Jako typ informačního materiálu jsem zvolila informační leták. Pro tvorbu jsem využila webových stránek [www.canva.com](http://www.canva.com). Rozhodla jsem se pro vytvoření oboustranného informačního letáku ve formátu A5 (14,8 cm x 21 cm), na výšku. Do letáku je zakomponován jak stručný text, tak infografika.

Nejprve jsem vybrala, jaké informace do letáku použiji. Informace obsažené v informačním letáku jsem čerpala z teoretické části mé diplomové práce. Při vybírání informací pro informační leták, jsem se také snažila využít poznatky z provedeného dotazníkového šetření. Potom co jsem vybrala vhodné informace, jsem začala tvořit leták na platformě Canva, která je určena pro tvorbu grafického materiálu.

Přední strana letáku obsahuje rozdělení zdrojů ionizujícího záření, stručný text k přírodnímu ozáření a prstencový graf, na kterém je vyobrazeno rozdělení dávek obyvatelstvu. Na zadní straně jsou uvedeny stručné informace týkající se radonu. Také je zde infografika, která vyobrazuje možné cesty přírodního ozáření člověka.

Leták jsem se snažila vytvořit tak, aby množstvím textu neodrazoval od přečtení. Proto jsem se v něm rozhodla spíše pro stručný text se základními informacemi. Snažila jsem se ho také vytvořit tak, aby zaujal vzhledově. Proto jsem nepoužila jen černobílé barevné rozhraní, ale zakomponovala jsem do letáku barvy, a to převážně odstíny zelené. Pro přitáhnutí pozornosti i lepší přehlednost jsem využila také infografiku.



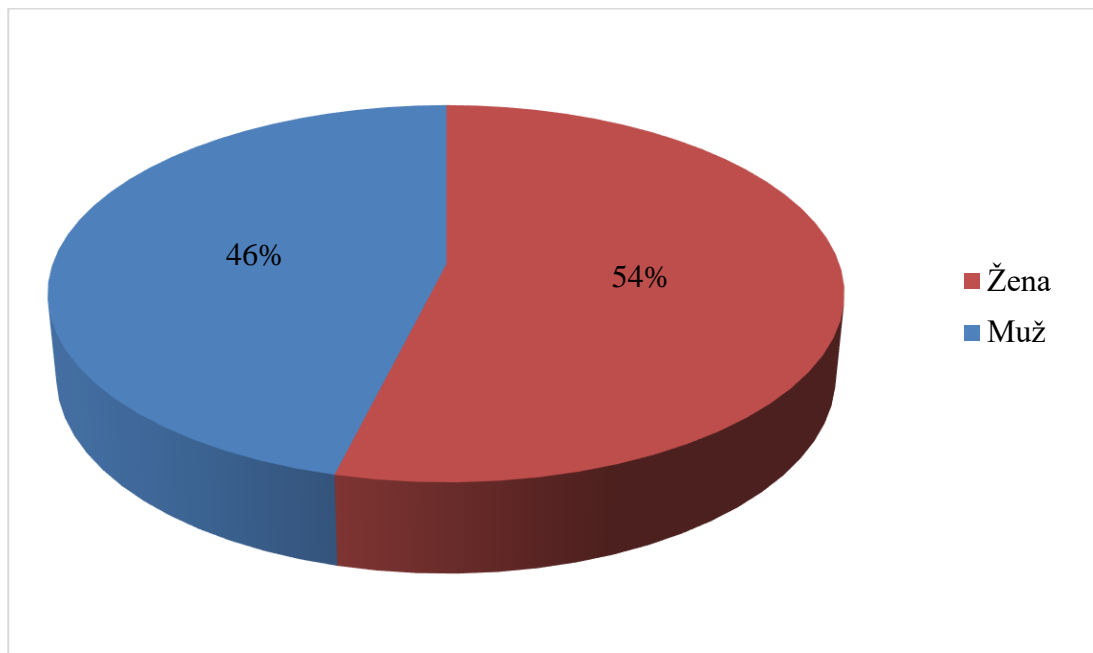
V poslední praktické části mé diplomové práce jsem se zabývala tím, jak různé státy přistupují k problematice regulování radonu. Zde jsem čerpala jak z českých, tak zahraničních internetových zdrojů, odborných článků a literatury.

U této problematiky okolo regulace radonu jsem se zaměřila hlavně na Českou republiku. Dále jsem zjišťovala přístupy některých států Evropy, například jaké mají stanovené referenční úrovně radonu v budovách. Zmiňuji ale i některé neevropské státy.

## 4 Výsledky

### 4.1 Dotazníkové šetření

Otázka č. 1 – Vaše pohlaví:

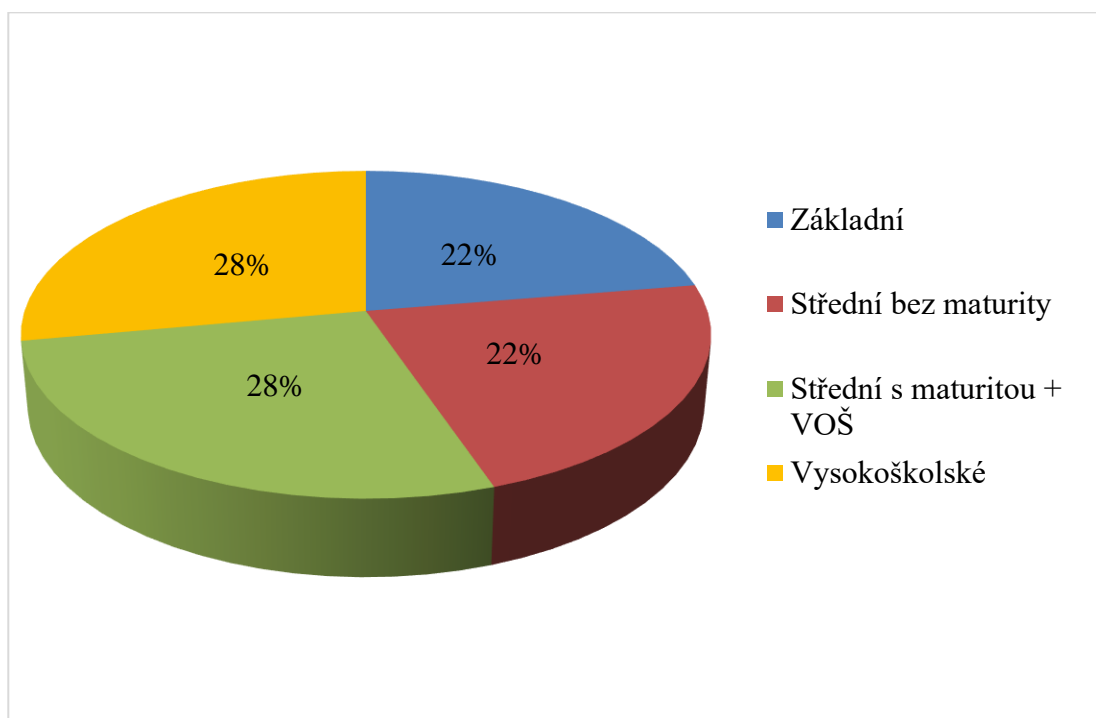


Obrázek 8 – Pohlaví

Zdroj – Vlastní výzkum

Můj dotazník vyplnilo 195 (54 %) žen a 167 (46 %) mužů.

**Otázka č. 2 – Jaké je Vaše nejvyšší dosažené vzdělání:**

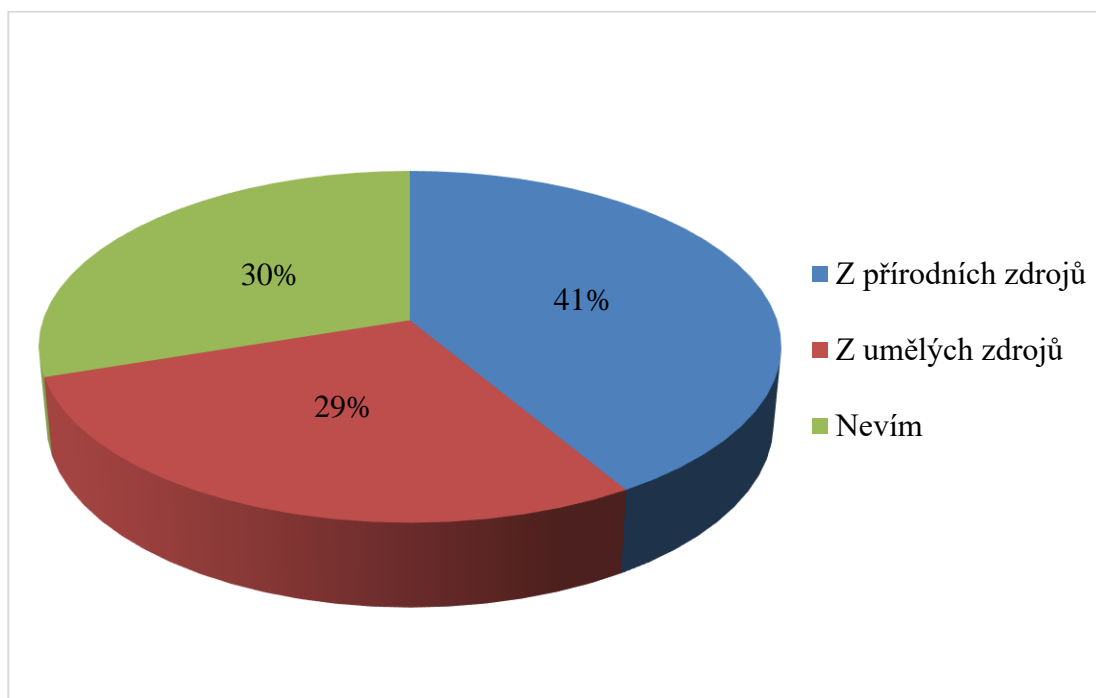


Obrázek 9 – Nejvyšší dosažené vzdělání

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na můj dotazník odpovědělo celkem 362 (100 %) respondentů. Z toho 81 (22 %) mělo nejvyšší dosažené vzdělání základní, 81 (22 %) střední bez maturity, 99 (28 %) střední s maturitou nebo vyšší odborné a 101 (28 %) vysokoškolské.

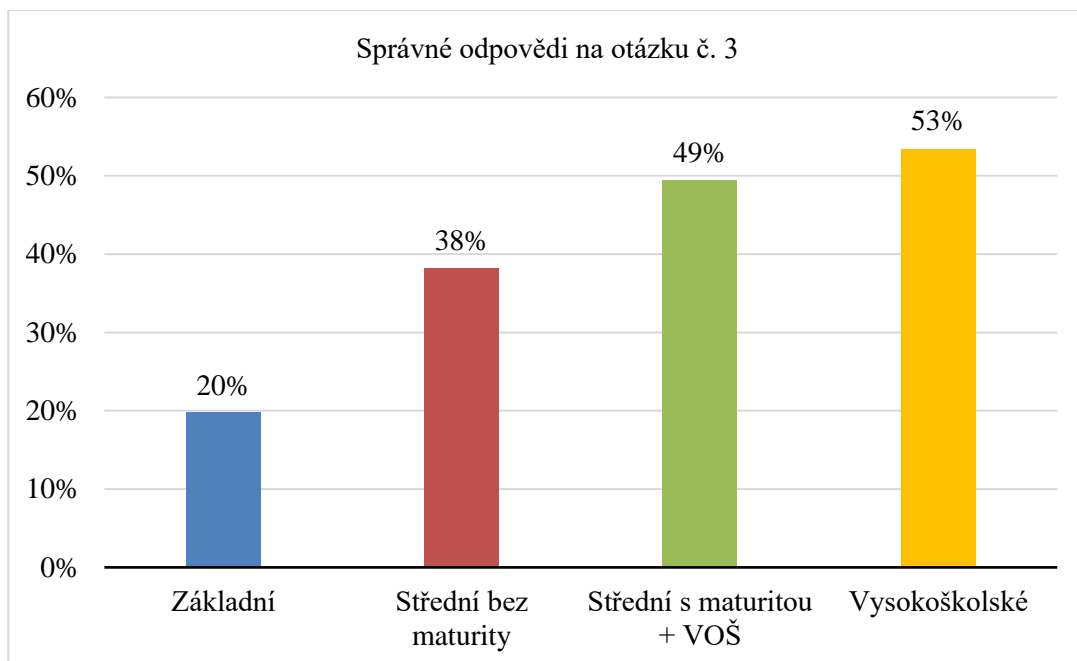
**Otázka č. 3 – Z jakých zdrojů ionizujícího záření má člověk (průměrně za rok) největší radiační zátěž?**



Obrázek 10 – Zdroje ionizujícího záření

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Z dotazovaných respondentů jich odpovědělo 150 (41 %) správně, že člověk má (průměrně za rok) největší radiační zátěž z přírodních zdrojů. To, že to je z umělých zdrojů, si myslelo 103 (29 %) respondentů. Zbýlých 109 (30 %) respondentů vybralo odpovědělo, že neví.

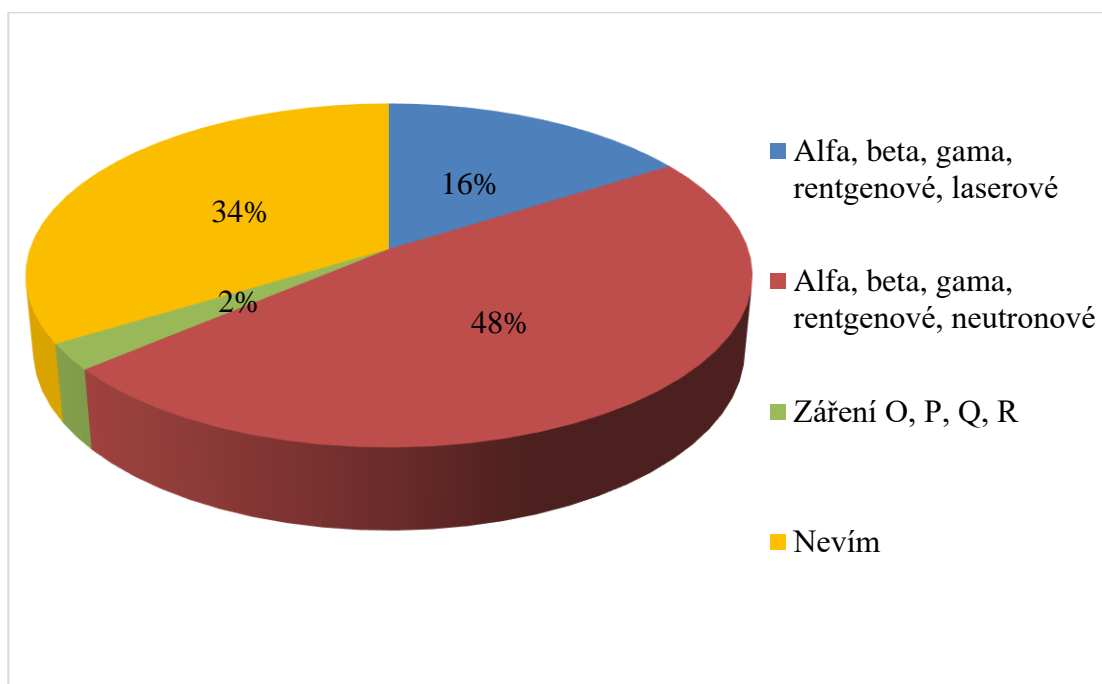


Obrázek 11 – Správné odpovědi na otázku č. 3

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 3 odpovědělo správně 16 (20 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 31 (38 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 49 (49 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 54 (53 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

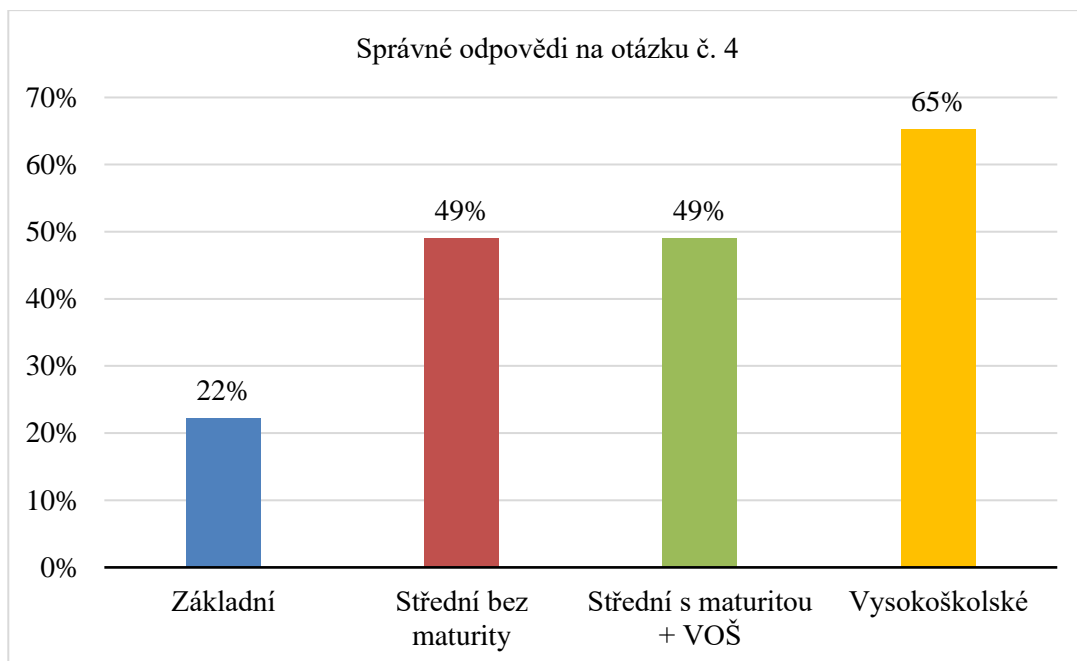
#### Otázka č. 4 – Jaké existují druhy ionizujícího záření?



Obrázek 12 – Druhy ionizujícího záření

Zdroj – Vlastní výzkum

Správnou odpověď, že druhy ionizujícího záření jsou alfa, beta, gama, rentgenové a neutronové, vybralo 173 (48 %) dotazovaných. 58 (16 %) respondentů si myslelo, že se jedná o alfa, beta, gama, rentgenové a laserové záření a jen 9 (2 %) respondentů se domnívalo, že existují druhy ionizujícího záření s názvem záření O, P, Q, R. 122 (34 %) dotazovaných nevědělo jaké existují druhy ionizujícího záření.

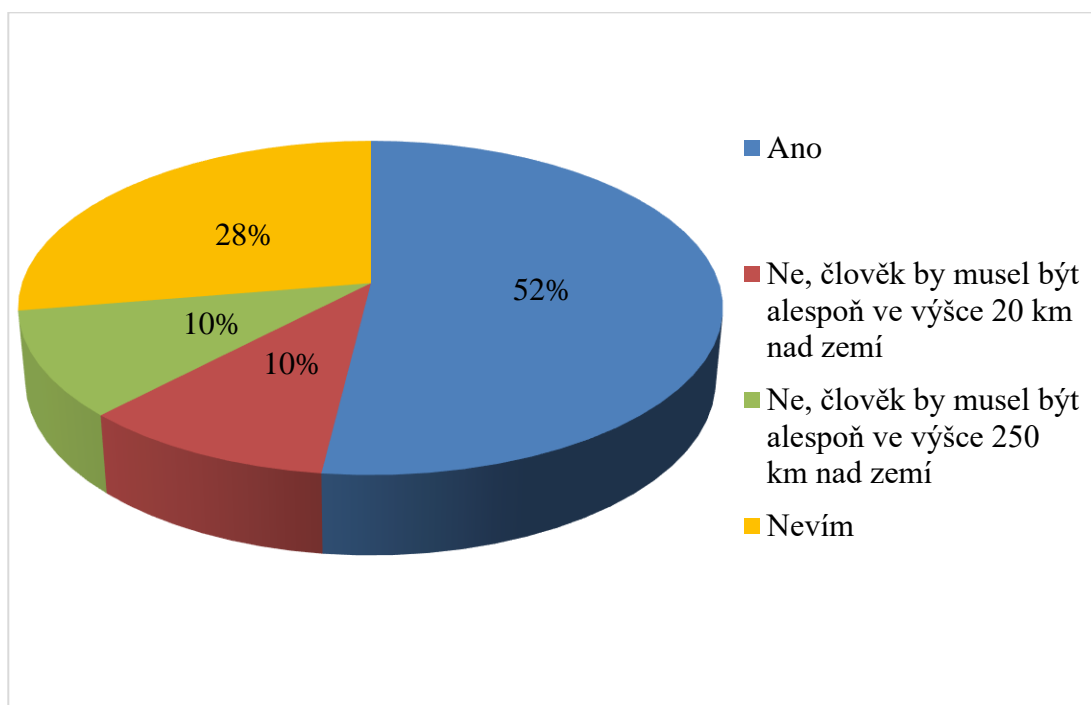


Obrázek 13 – Správné odpovědi na otázku č. 4

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 4 odpovědělo správně 18 (22 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 40 (49 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 49 (49 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 66 (65 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

### Otázka č. 5 – Je člověk na zemi vystaven kosmickému záření?

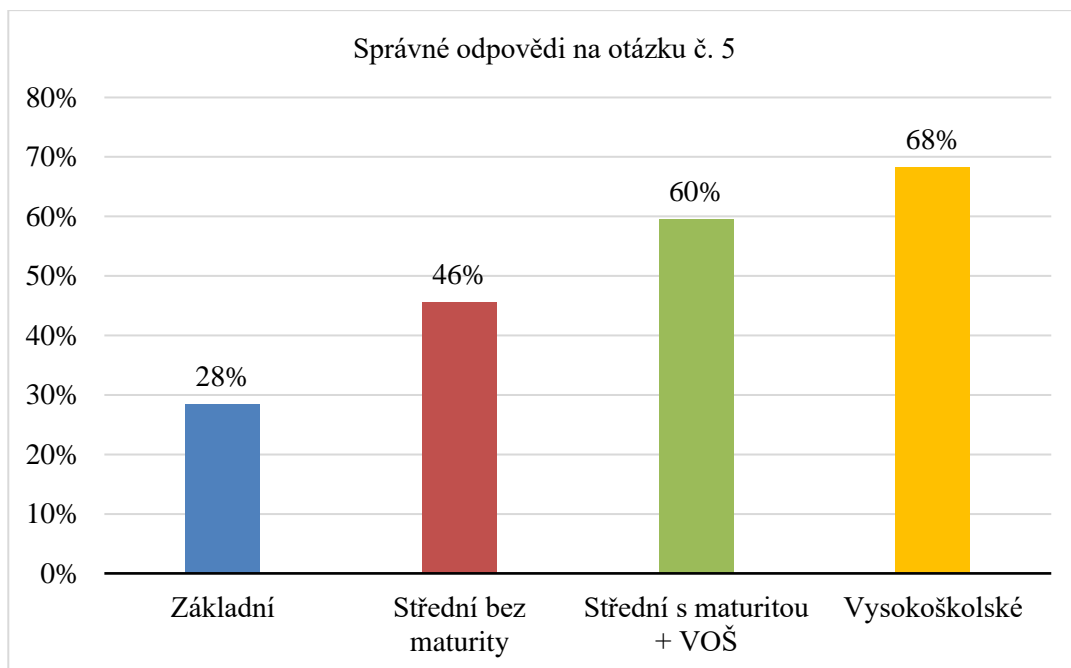


Obrázek 14 – Kosmické záření

Zdroj – Vlastní výzkum

Správná odpověď byla ano, člověk je na zemi vystaven kosmickému záření, tak odpovědělo 188 (52 %) respondentů. 37 (10 %) dotazovaných se domnívalo, že člověk by musel být alespoň ve výšce 20 km nad zemí, aby byl vystaven kosmickému záření. 37 (10 %) dotazovaných se domnívalo, že člověk by musel být alespoň ve výšce 250 km nad zemí. 100 (28 %) respondentů odpovědělo, že neví.



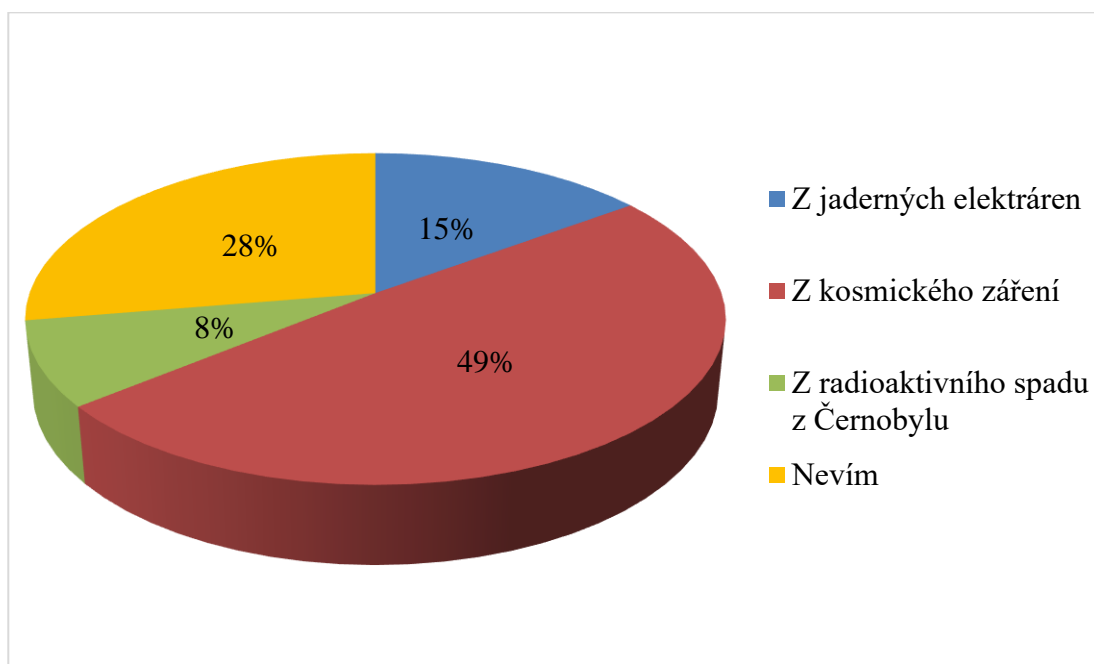


Obrázek 15 – Správné odpovědi na otázku č. 5

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 5 odpovědělo správně 23 (28 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 37 (46 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 59 (60 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 69 (68 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

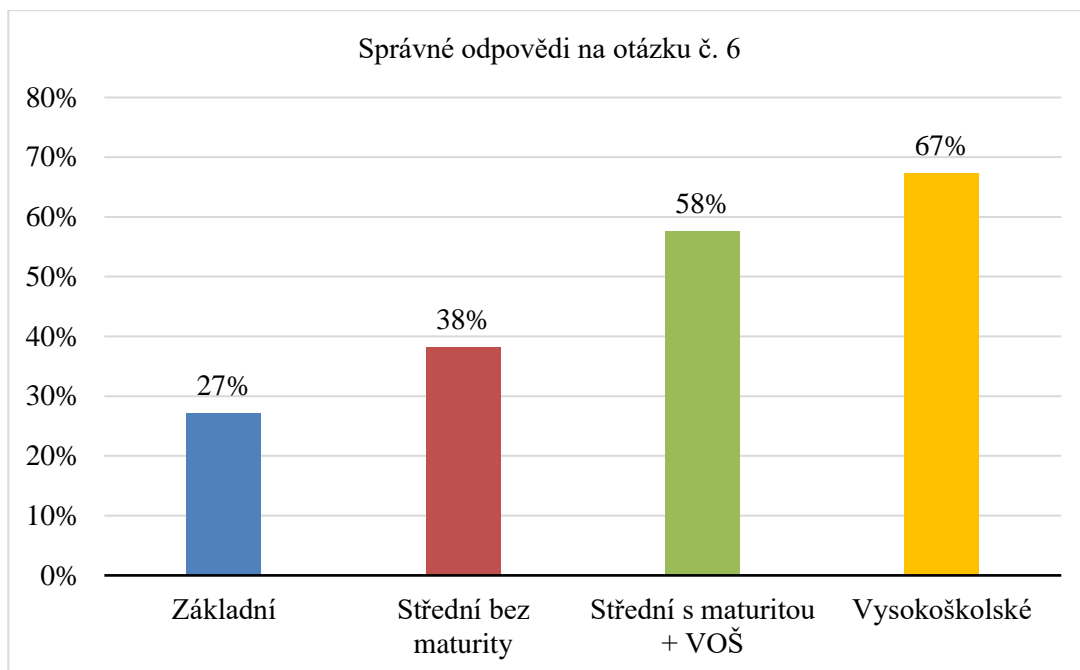
**Otázka č. 6 – Z čeho člověk obdrží větší dávku záření za rok?**



Obrázek 16 – Větší dávka záření

*Zdroj – Vlastní výzkum*

178 (49 %) respondentů vědělo, že z nabízených možností, člověk obdrží největší dávku záření za rok z kosmického záření. 54 (15 %) dotazovaných si myslelo, že se jedná o dávku záření z jaderných elektráren. 30 (8 %) respondentů se domnívalo, že se jedná o dávku záření z radioaktivního spadu z Černobylu a 100 (28 %) respondentů odpovědělo, že neví.

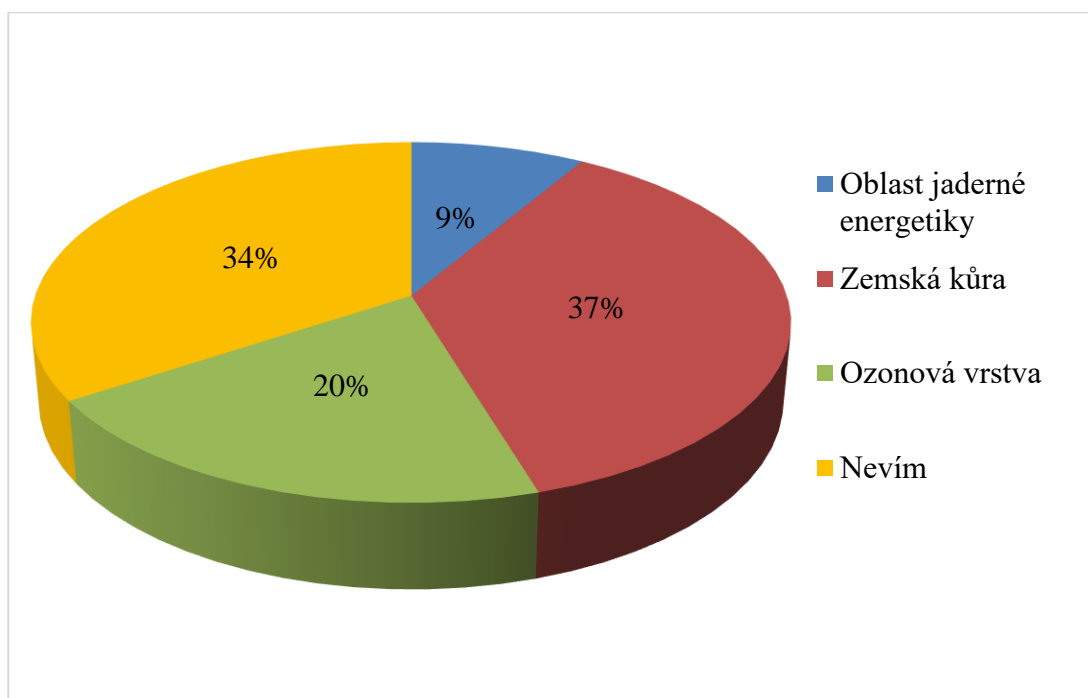


Obrázek 17 – Správné odpovědi na otázku č. 6

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 6 odpovědělo správně 22 (27 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 31 (38 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 57 (58 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 68 (67 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

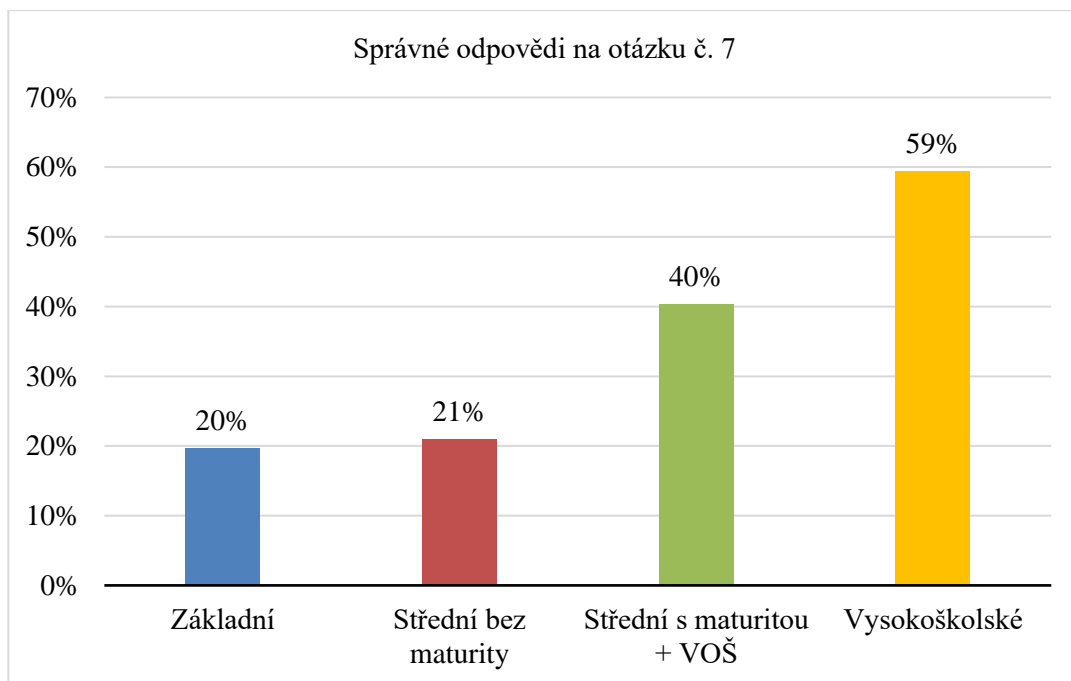
**Otázka č. 7 – Co je hlavním zdrojem přírodních radionuklidů?**



Obrázek 18 – Zdroj přírodních radionuklidů

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Že hlavním zdrojem přírodních radionuklidů je zemská kůra, odpovědělo správně 133 (37 %) respondentů. 74 (20 %) dotázaných si myslelo, že hlavním zdrojem přírodních radionuklidů je ozonová vrstva a 31 (9 %) myslelo oblast jaderné energetiky. 124 (34 %) dotázaných odpovědělo, že neví správnou odpověď.

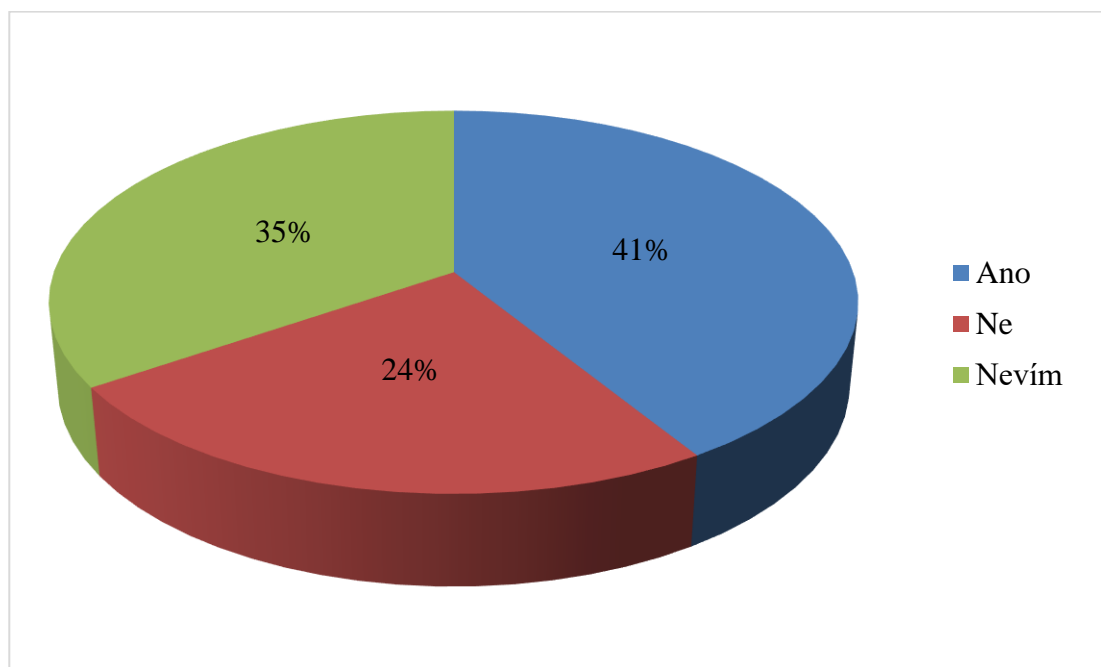


Obrázek 19 – Správné odpovědi na otázku č. 7

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 7 odpovědělo správně 16 (20 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 17 (21 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 40 (40 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 60 (59 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

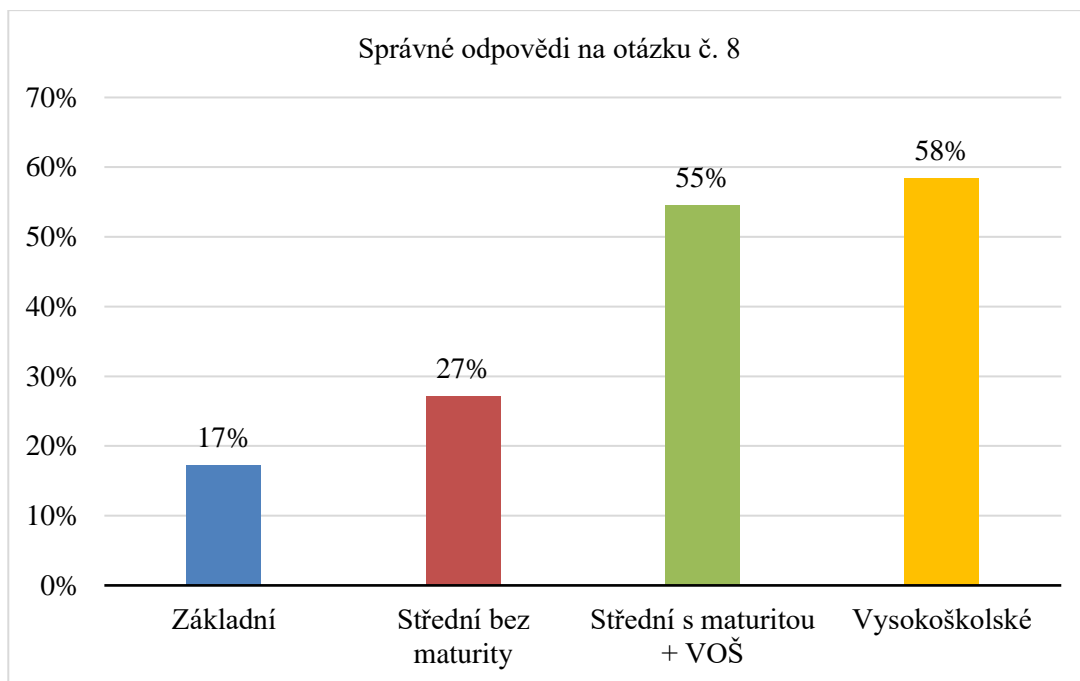
**Otázka č. 8 – Může z konzumace některých potravin dojít k vnitřnímu ozáření člověka?**



Obrázek 20 – Vnitřní ozáření

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Že konzumací některých potravin může dojít k vnitřnímu ozáření, správně odpovědělo 149 (41 %) respondentů. 88 (24 %) respondentů odpovědělo, že konzumací některých potravin nemůže dojít k vnitřnímu ozáření člověka a 125 (35 %) respondentů odpověď nevědělo.

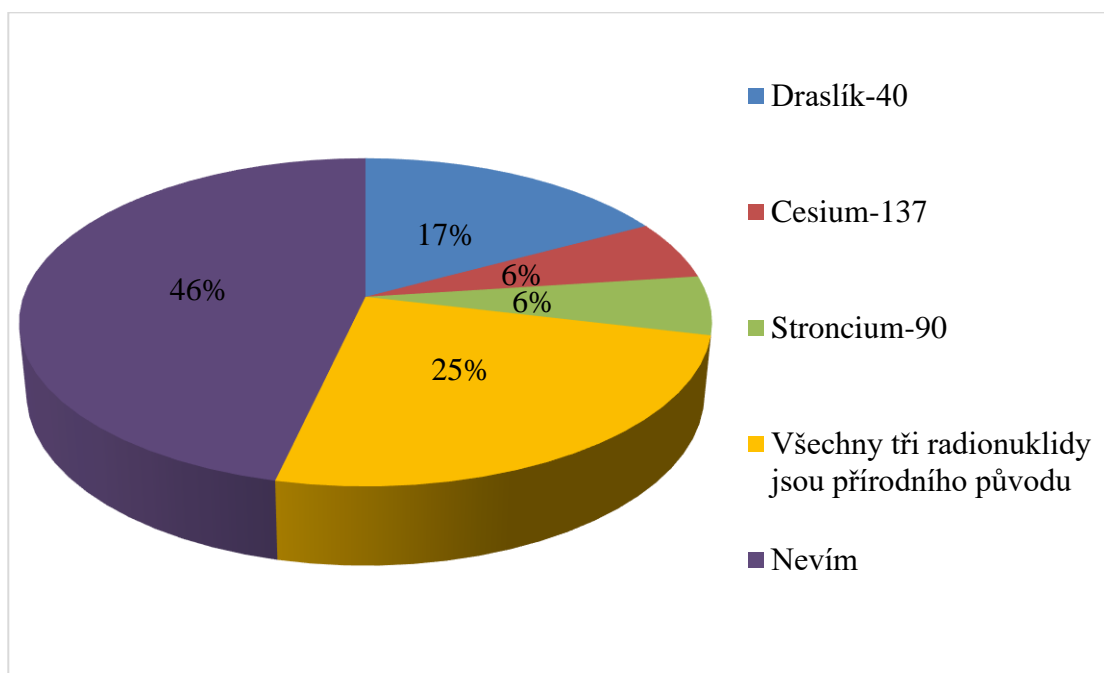


Obrázek 21 – Správné odpovědi na otázku č. 8

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 8 odpovědělo správně 14 (17 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 22 (27 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 54 (55 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 59 (58 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

### Otázka č. 9 – Který z těchto radionuklidů je přírodní radionuklid?

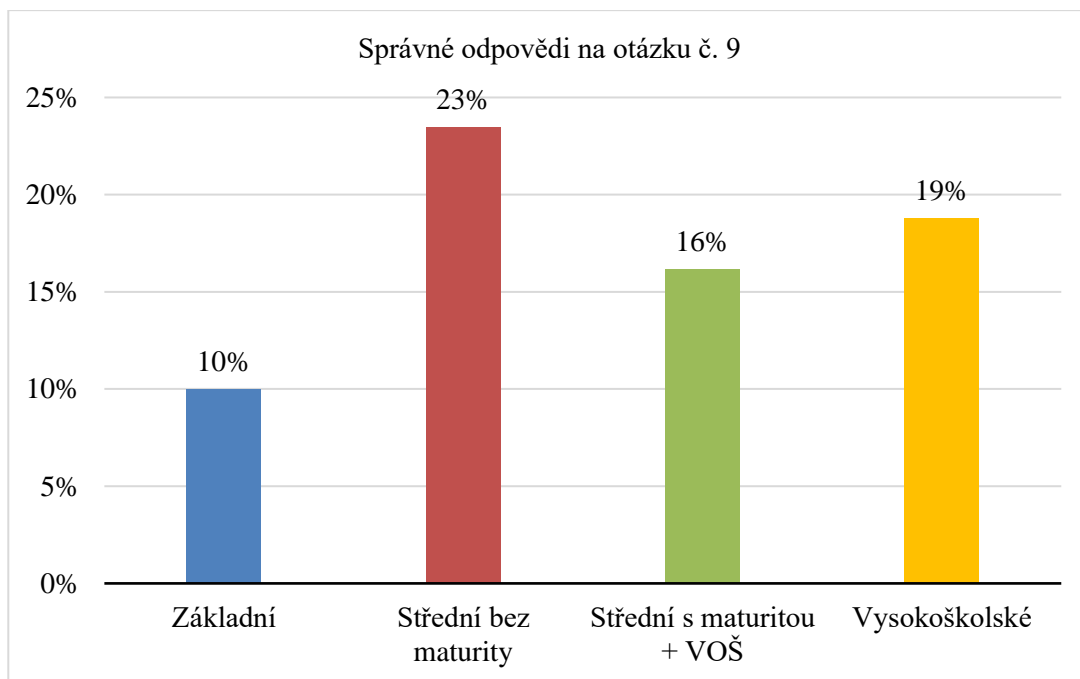


Obrázek 22 – Přírodní radionuklid

Zdroj – Vlastní výzkum

Správnou odpověď, že přírodní radionuklid je draslík-40, vybralo pouze 62 (17 %) dotazovaných. 21 (6 %) respondentů si myslelo, že přírodní radionuklid je stroncium-90 a 21 (6 %) respondentů se domnívalo, jde o cesium-137. 90 (25 %) dotazovaných si myslelo, že všechny tři radionuklidy jsou přírodní. 168 (46 %) respondentů nevědělo, který z nabízených radionuklidů je přírodní.



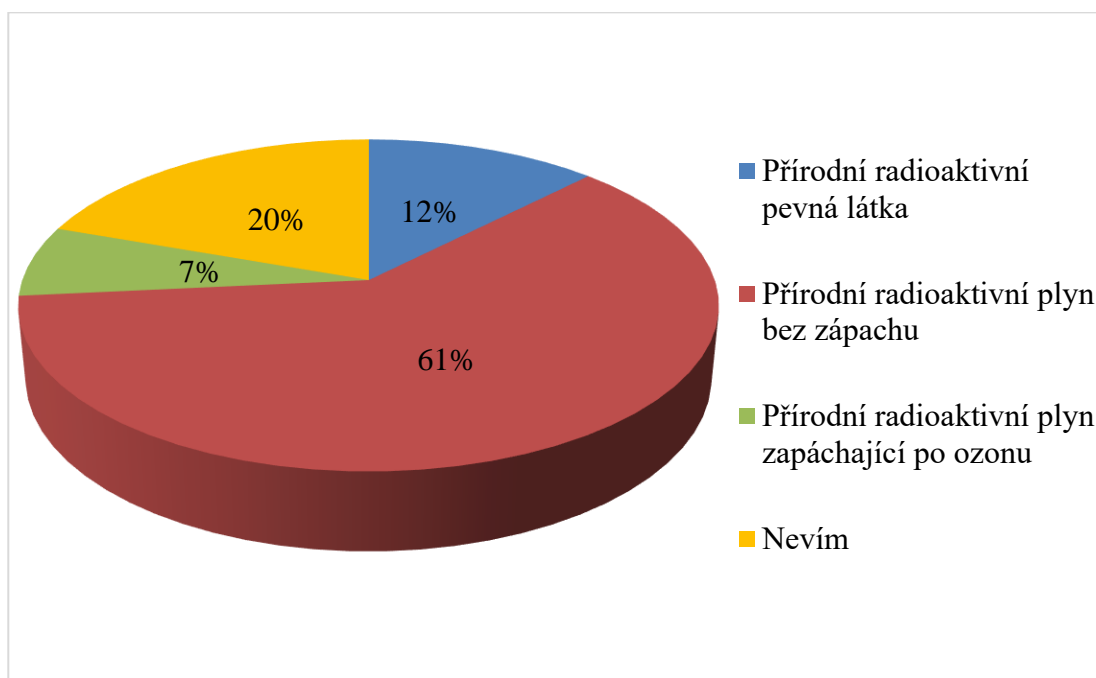


Obrázek 23 – Správné odpovědi na otázku č. 9

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 9 odpovědělo správně 8 (10 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 19 (23 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 16 (16 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 19 (19 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

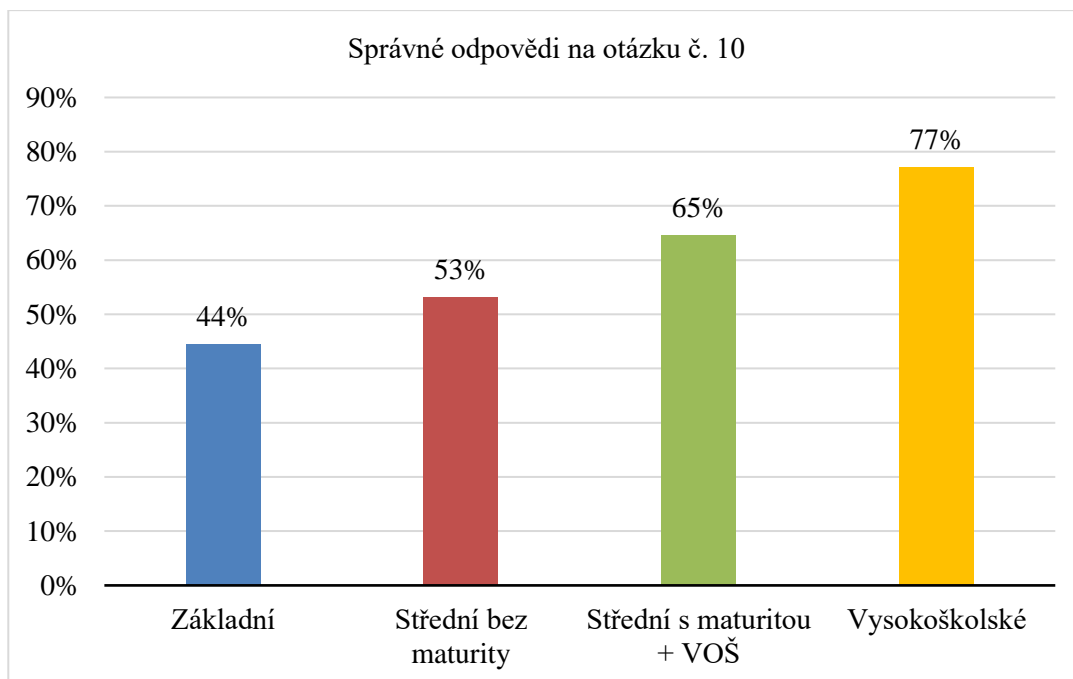
### Otázka č. 10 – Co je to radon?



Obrázek 24 – Radon

Zdroj – Vlastní výzkum

Že radon je přírodní radioaktivní plyn bez zápachu, vědělo 221 (61 %) respondentů. 45 (12 %) respondentů odpovědělo, že radon je přírodní radioaktivní pevná látka a 25 (7 %) odpovědělo, že se jedná o přírodní radioaktivní plyn zapáchající po ozonu. 71 (20 %) respondentů odpovědělo, že neví, co to je radon.

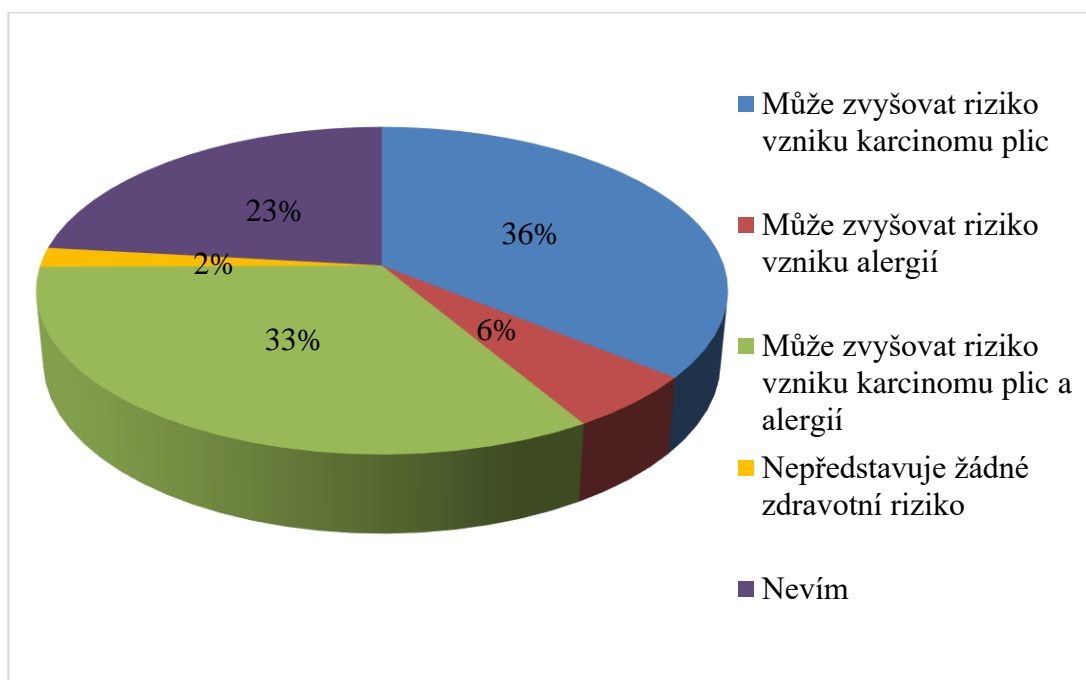


Obrázek 25 – Správné odpovědi na otázku č. 10

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 10 odpovědělo správně 36 (44 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 43 (53 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 64 (65 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 78 (77 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

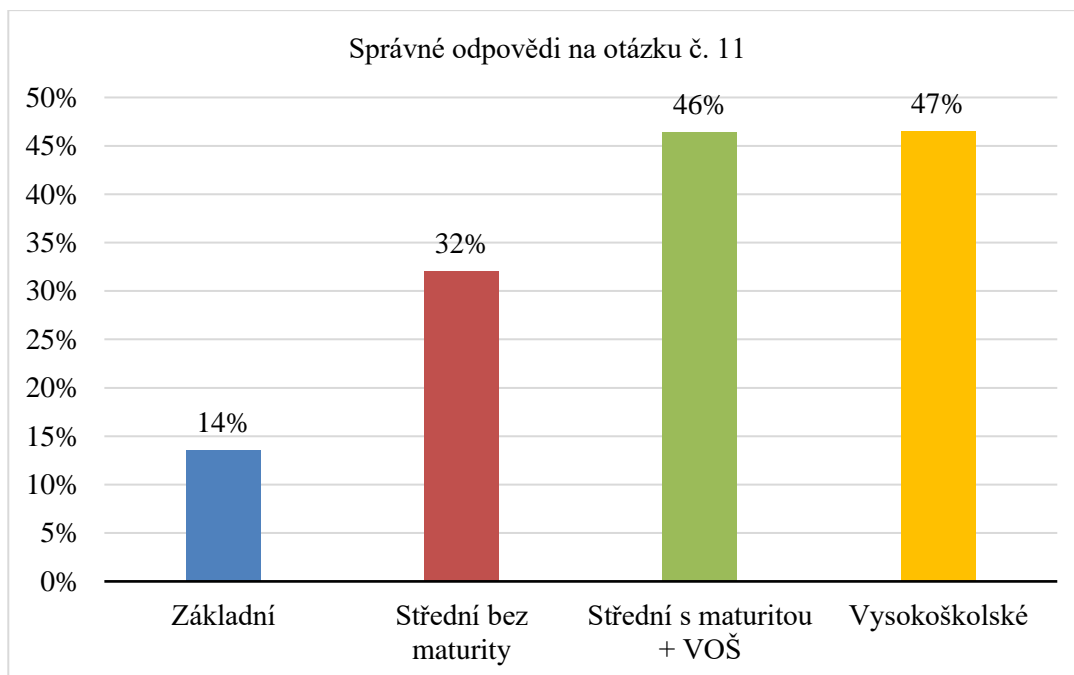
### Otázka č. 11 – Jaké zdravotní riziko představuje radon pro člověka?



Obrázek 26 – Zdravotní riziko z radonu

Zdroj – Vlastní výzkum

Správnou odpověď, že radon může zvyšovat riziko vzniku karcinomu plic, zvolilo 130 (36 %) dotazovaných. 121 (33 %) respondentů odpovědělo, že radon může zvyšovat riziko vzniku karcinomu plic a alergií. 20 (6 %) respondentů považovalo za správnou odpověď, že radon může zvyšovat riziko vzniku alergií. Odpověď nevědělo 84 (23 %) dotázaných. Zbýlých 7 (2 %) respondentů odpovědělo, že radon nepředstavuje žádné zdravotní riziko.

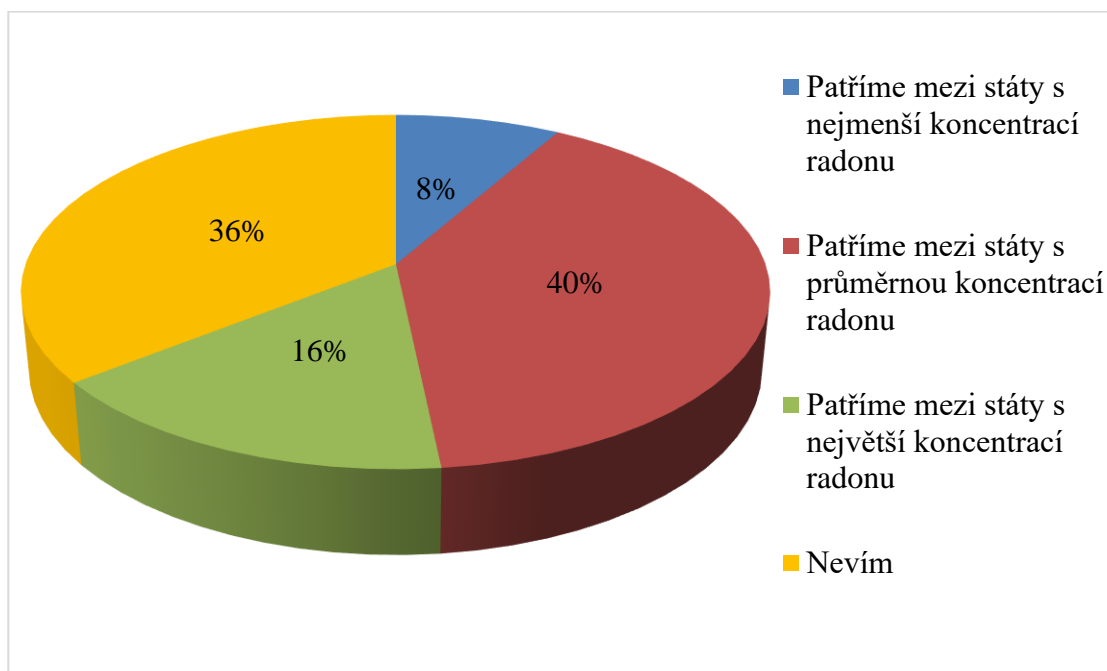


Obrázek 27 – Správné odpovědi na otázku č. 11

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 11 odpovědělo správně 11 (14 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 26 (32 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 46 (46 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 47 (47 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

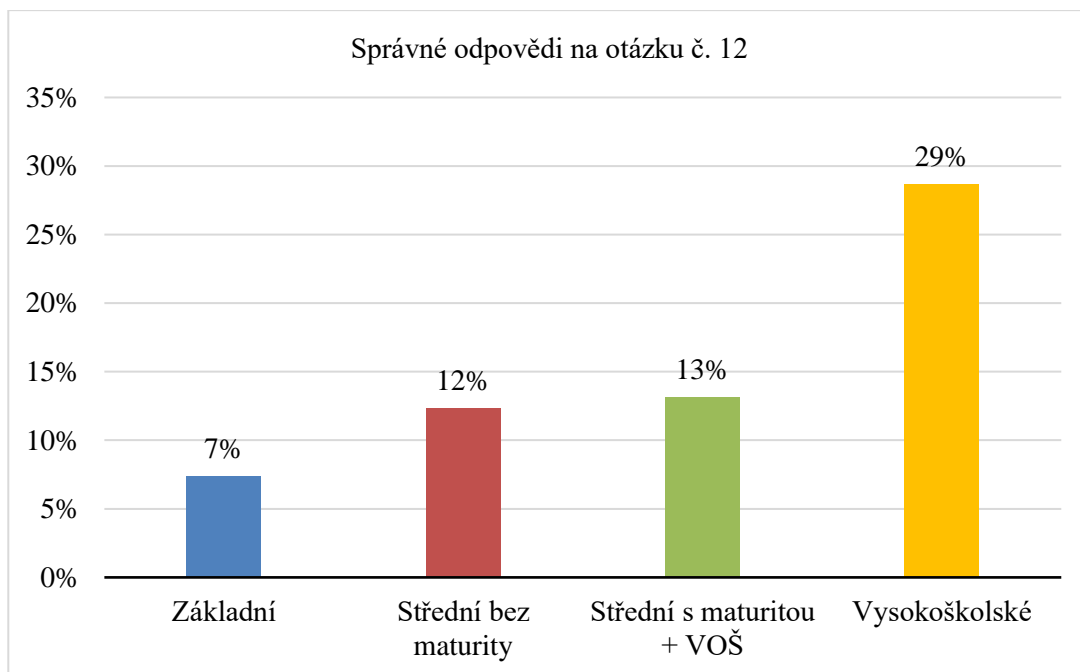
**Otázka č. 12 – Jaká je v ČR koncentrace radonu v budovách, v porovnání se světem?**



Obrázek 28 – Koncentrace radonu v budovách

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Správnou odpověď, že ČR patří mezi státy s největší koncentrací radonu v budovách, vybralo pouze 58 (16 %) dotazovaných. 145 (40 %) respondentů si myslelo, že patříme mezi státy s průměrnou koncentrací radonu a 30 (8 %) respondentů se domnívalo, že patříme mezi státy s nejmenší koncentrací radonu. 129 (36 %) dotazovaných odpovědělo, že neví.

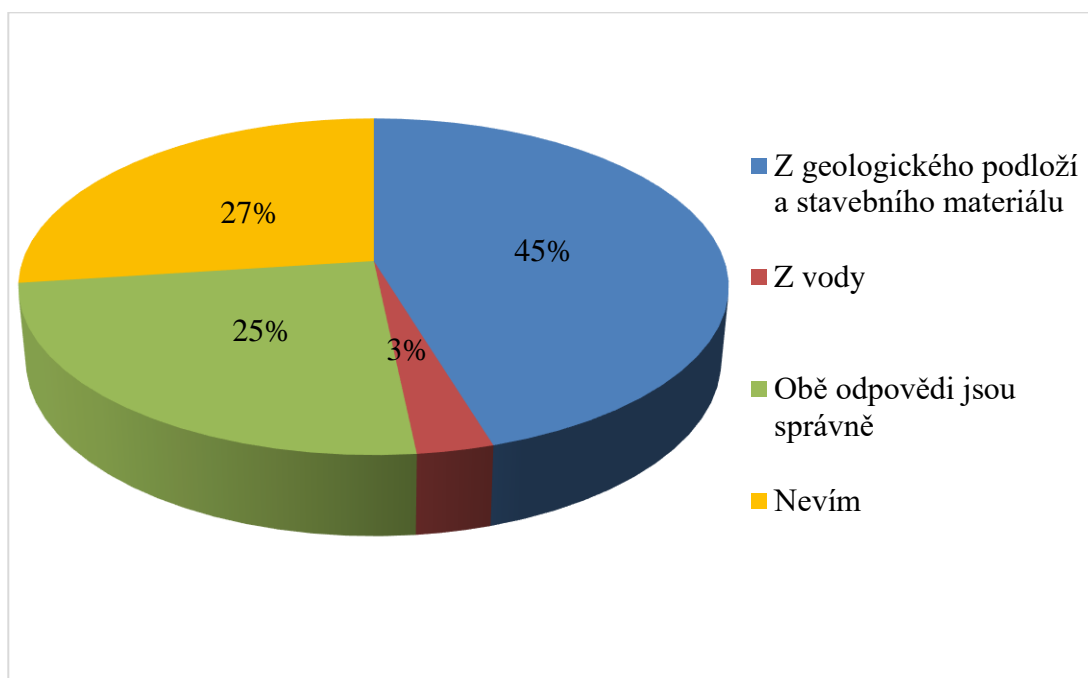


Obrázek 29 – Správné odpovědi na otázku č. 12

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 12 odpovědělo správně 6 (7 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 10 (12 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 13 (13 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 29 (29 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

**Otázka č. 13 – Z čeho se radon může dostávat do ovzduší?**

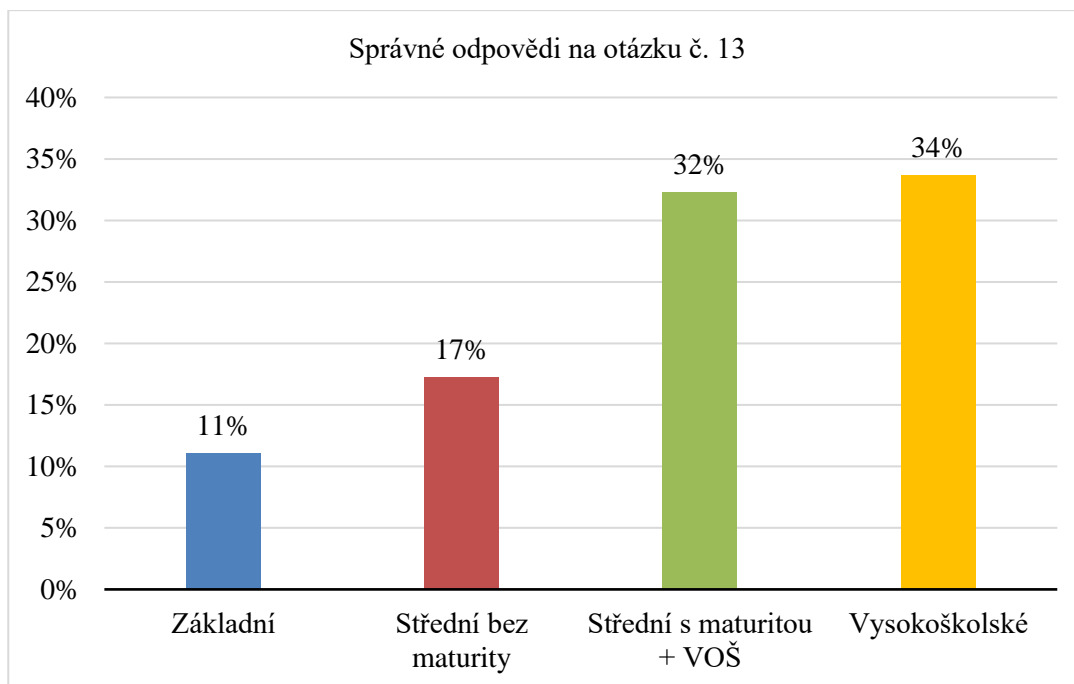


Obrázek 30 – Radon do ovzduší

*Zdroj – Vlastní výzkum*

164 (45 %) respondentů odpovědělo, že radon se do ovzduší může dostávat z geologického podlaží a stavebního materiálu, 11 (3 %) odpovědělo, že z vody. 89 (25 %) respondentů vědělo, že obě tyto odpovědi jsou správně. 98 (27 %) respondentů odpovědělo, že neví.



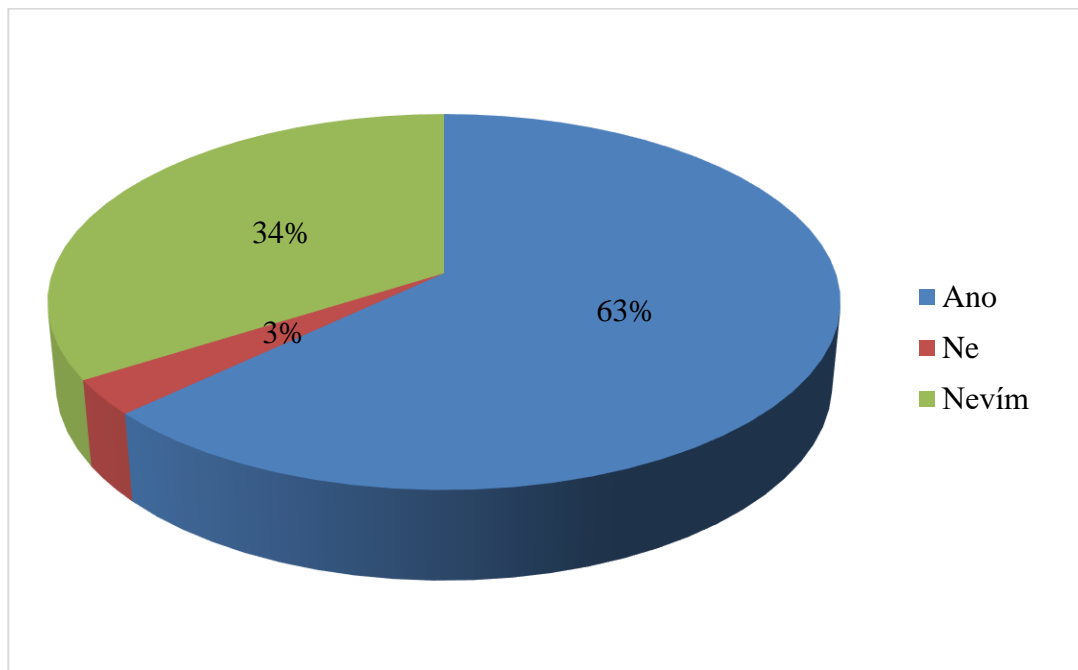


Obrázek 31 – Správné odpovědi na otázku č. 13

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 13 odpovědělo správně 9 (11 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 14 (17 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 32 (32 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 34 (34 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

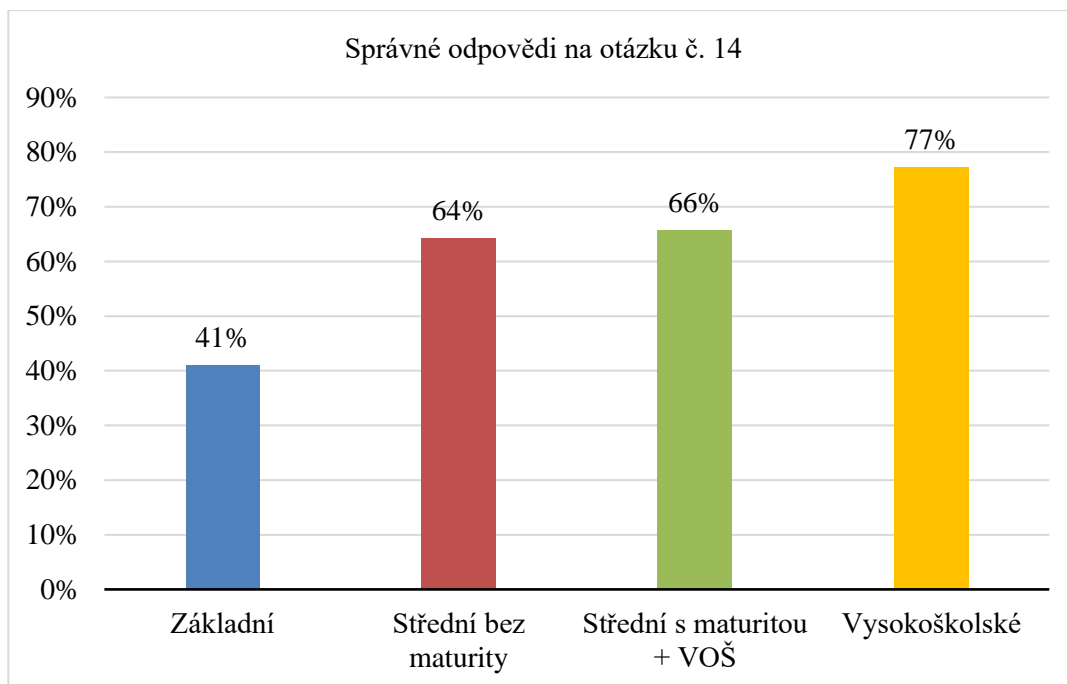
**Otázka č. 14 – Existují v České republice právní předpisy, které nějak regulují koncentraci radonu?**



Obrázek 32 – Regulace radonu v ČR

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Že v České republice existují právní předpisy, které nějak regulují koncentraci radonu, vědělo 228 (63 %) respondentů. 11 (3 %) respondentů si nemyslí, že v České republice existují právní předpisy, které nějak regulují koncentraci radonu. Zbýlých 123 (34 %) respondentů odpovědělo, že neví, zda v ČR existují právní předpisy, které nějak regulují koncentraci radonu.

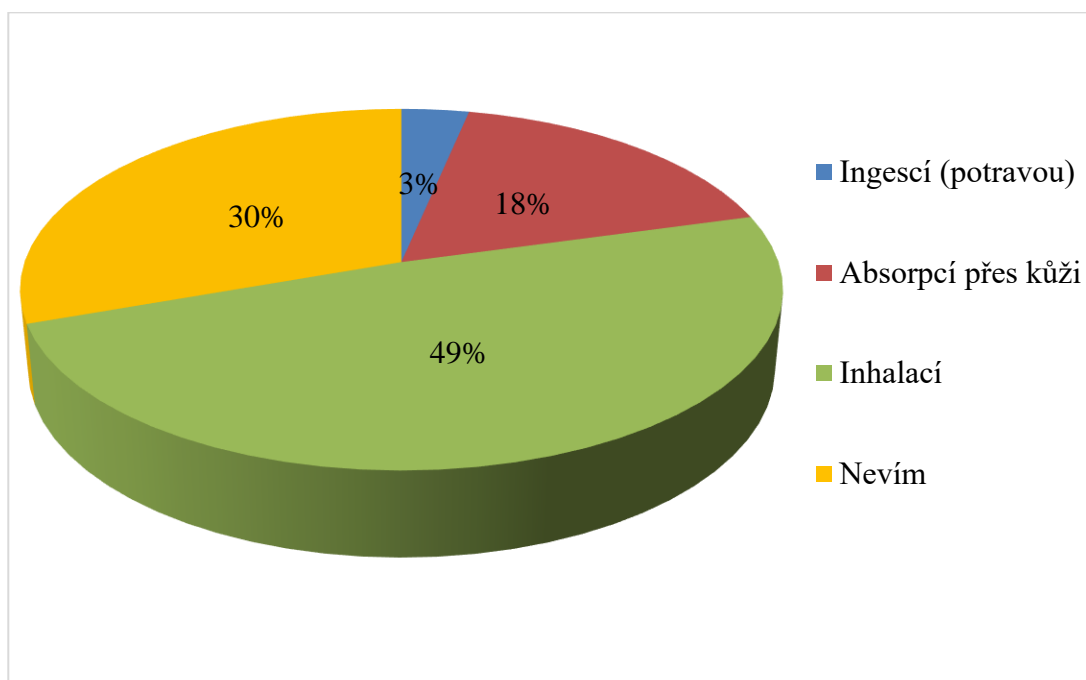


Obrázek 33 – Správné odpovědi na otázku č. 14

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 14 odpovědělo správně 33 (41 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 52 (64 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 65 (66 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 78 (77 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

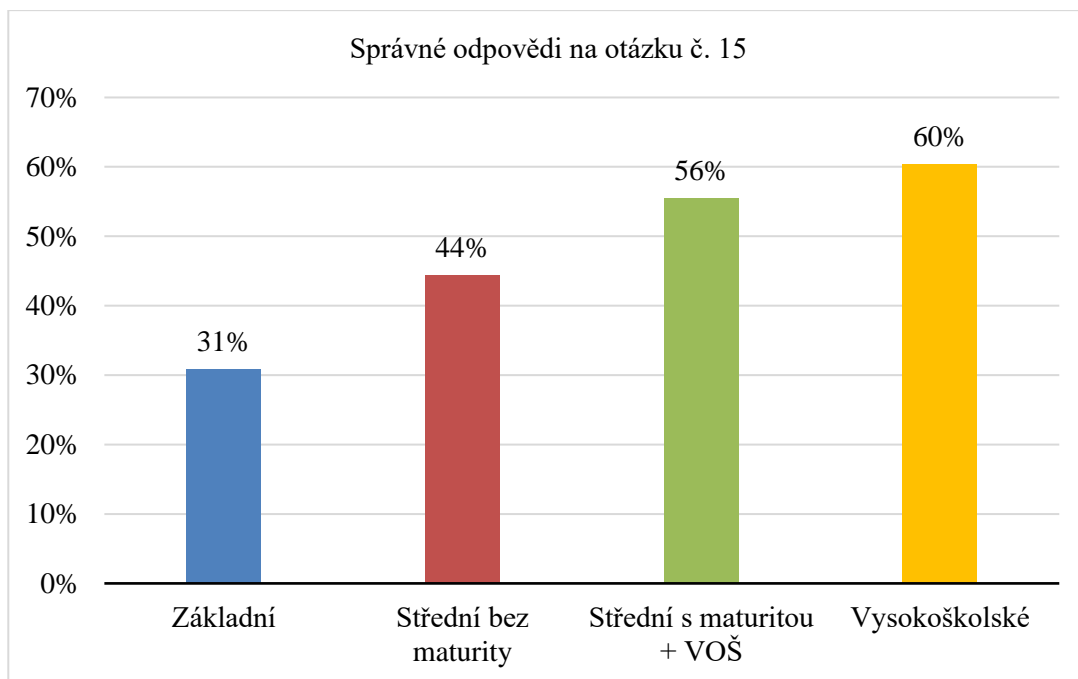
**Otázka č. 15 – Jaký je hlavní způsob vstupu radonu do těla?**



Obrázek 34 – Vstup radonu do těla

*Zdroj – Vlastní výzkum*

177 (49 %) respondentů vědělo, že hlavní způsob vstupu radonu do těla je inhalace. 63 (18 %) dotazovaných si myslelo, že hlavním způsobem vstupu radonu do těla je absorpce přes kůži. 12 (3 %) respondentů se domnívalo, že se jedná o ingesci (potravu). 110 (30 %) respondentů uvedlo, že odpověď neví.

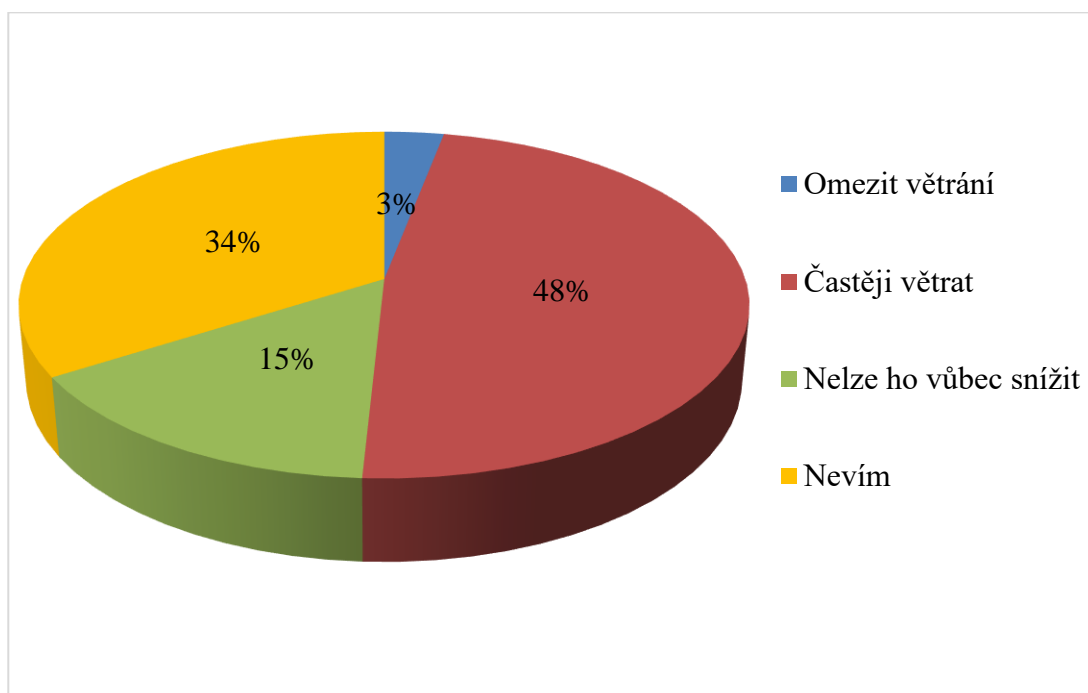


Obrázek 35 – Správné odpovědi na otázku č. 15

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 15 odpovědělo správně 25 (31 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 36 (44 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 55 (56 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 61 (60 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

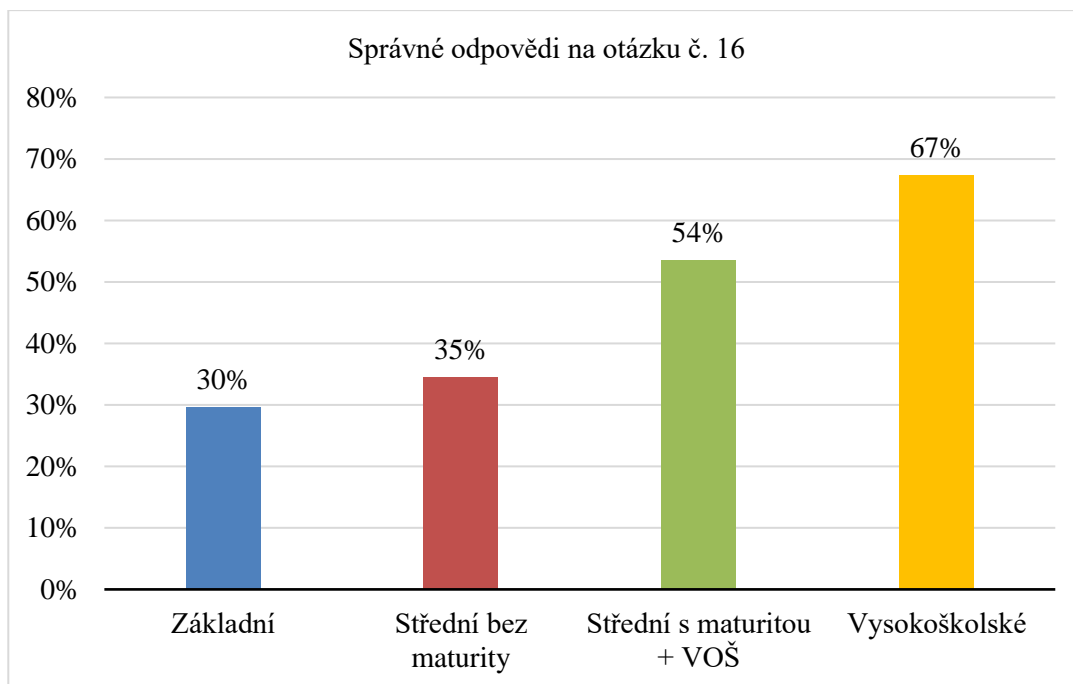
### Otázka č. 16 – Jak lze částečně snížit koncentraci radonu v budově?



Obrázek 36 – Snížení koncentrace radonu

Zdroj – Vlastní výzkum

Správná odpověď byla, že koncentraci radonu v budově lze částečně snížit častějším větráním, tak odpovědělo 173 (48 %) respondentů. 55 (15 %) dotazovaných se domnívalo, že koncentraci radonu v budově nelze snížit vůbec. 123 (34 %) respondentů odpovědělo, že neví odpověď. Zbýlých 11 (3 %) respondentů si myslí, že koncentrace radonu lze částečně snížit tím, že se omezí větrání.



Obrázek 37 – Správné odpovědi na otázku č. 16

*Zdroj – Vlastní výzkum*

Na otázku č. 16 odpovědělo správně 24 (30 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání základní; 28 (35 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední bez maturity; 53 (54 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání střední s maturitou nebo VOŠ a 68 (67 %) respondentů, kteří mají nejvyšší dosažené vzdělání vysokoškolské.

# Ionizující záření z přírodních zdrojů



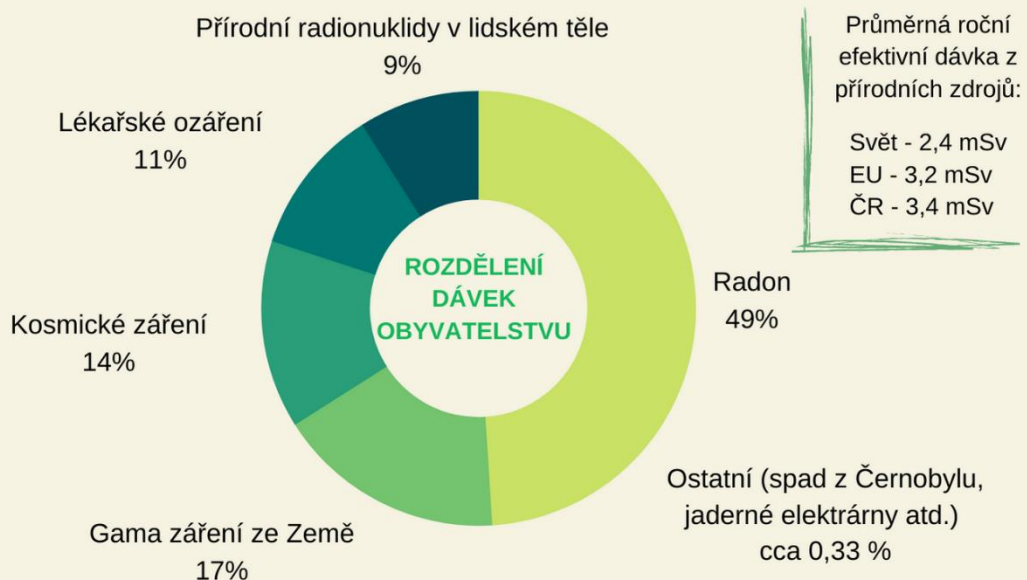
## Jaké jsou zdroje ionizujícího záření?

- **Umělé zdroje** - lékařské ozáření, spadá ze zkoušek jaderných zbraní a jaderných havárií, jaderné reaktory, průmyslové využití
- **Přírodní zdroje** - kosmické záření, přírodní radionuklidy (kosmogenní a terestrální)

## Přírodní ozáření

Lidé jsou ionizujícímu záření z přírodních zdrojů vystaveni neustále. Je tomu tak odjakživa a je prakticky nemožné se mu vyhnout.

Jsme mu vystaveni z kosmického záření, z přírodních radionuklidů ve vzduchu, v půdě, v potravě, ve stavebních materiálech, v horninách i v našich tělech.





**RADON** je radioaktivní přírodní plyn, který je bez chuti a zápachu.

Z přírodních zdrojů je to právě radon a jeho produkty, kdo přispívá k ozáření nejvíce. Vzniká přeměnou uranu, který je v různých množstvích přítomen ve všech materiálech zemské kůry.

Rozpadové produkty radonu se usazují na prachových částicích, které jsou vdechovány člověkem a mohou se ukládat ve výstelce dýchacích cest a plicích.



Jedná se o **karcinogen**, který je považován za druhou hlavní příčinu vzniku rakoviny plic.

#### Koncentrace radonu v budovách:

Průměrná hodnota v ČR - 118 Bq/m<sup>3</sup>

ČR patří mezi státy s největší koncentrací radonu v budovách.

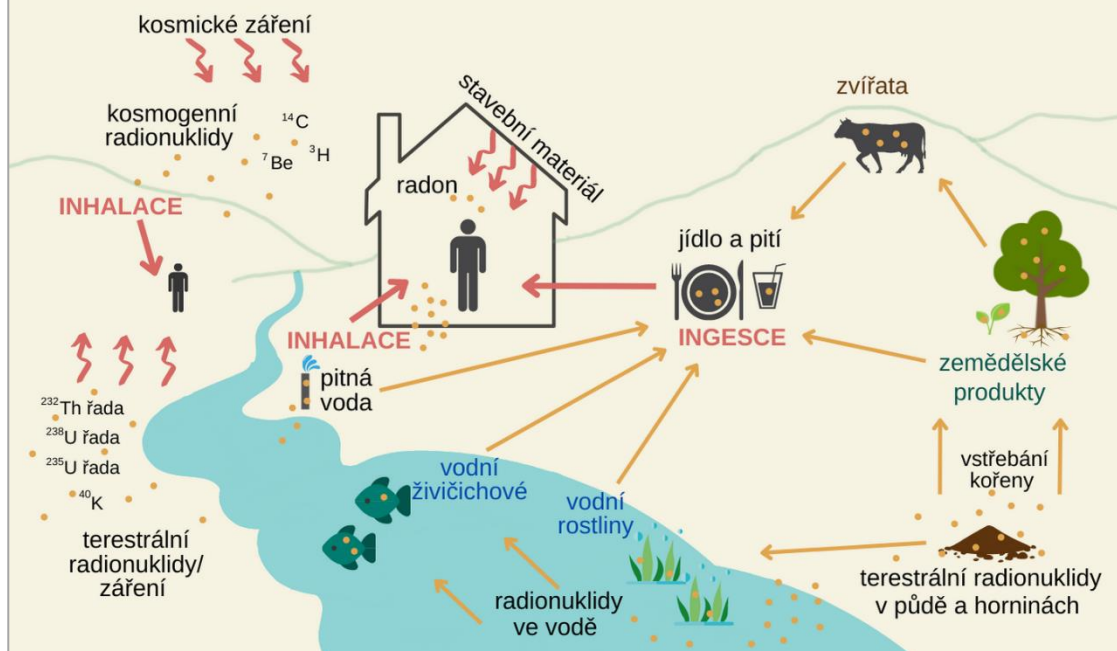
Maximální hodnota pro byty doporučená v legislativě - 300 Bq/m<sup>3</sup>

Do uzavřených prostorů i ovzduší se radon může dostat z:

- geologického podloží,
- stavebního materiálu,
- podzemní vody.

Pro více informací můžete navštívit stránky [www.sujp.cz](http://www.sujp.cz), [www.suro.cz](http://www.suro.cz) nebo [www.radonovyprogram.cz](http://www.radonovyprogram.cz).

## Cesty přírodního ozáření



### 4.3 Regulace radonu

Kvůli možným zdravotním následkům ozáření z radonu je u nás i v řadě dalších zemích snaha ozáření z radonu nějak regulovat.

První rozsáhlejší měření radonu v České republice proběhlo v osmdesátých letech. Z výsledků se dospělo k závěru, že bude nutno se radonovou problematikou zabývat více. Proto byla v roce 1991 vydána první vyhláška č. 76/1991 Sb. o požadavcích na omezování ozáření z radonu a z dalších přírodních radionuklidů. Tato vyhláška u nás odstartovala český radonový program. Dále následovala usnesení č. 150/1990 a č. 709/1993 přímo k problematice radonu, která umožnila poskytnutí státních dotací na protiradonová opatření. Problematika radonu byla upravena v roce 1997 atomovým zákonem. Mezi nově zavedené povinnosti patřilo: změření radonového indexu pozemku, kde se bude stavět nová budova; povinnost výrobců měřit radioaktivitu stavebních materiálů a dodavatelům vody radioaktivitu vody. V roce 1999 byl dle usnesení vlády zahájen desetiletý Radonový program. Cílem tohoto programu bylo vyhledávání budov s vyšší koncentrací radonu, následné uplatnění protiradonových opatření, vytváření preventivních opatření, příprava radonových map, výzkum nebo informování obyvatelstva. V roce 2009 byl spuštěn nový Radonový program ČR 2009–2019 – Akční plán. Ten kladl důraz na všestrannou osvětu i zájem občanů o snížení radonu v budovách. Dále bylo cílem snížení rizika rakoviny plic z radonu, preventivní a protiradonová opatření obydlí. Dne 1.1. 2020 nahradil Radonový program 2010–2019 Národní akční plán pro regulaci ozáření obyvatel z radonu – RANAP. RANAP se zaměřuje na regulaci ozáření obyvatel z radonu v budovách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, školských zařízeních, budovách sloužících k zajištění sociálních nebo zdravotních služeb a na pracovištích se zvýšeným ozářením z radonu. Mezi dlouhodobé cíle plánu patří: informovaná a komunikující státní správa, zapojená veřejnost a vzdělání profesionálové; účinná prevence při výstavbě a rekonstrukci budov a efektivní regulace stávajícího ozáření (RADON bulletin, 2004; Hampl, 2010; Radonový program České republiky, 2016; Mucha, 2022).

V současnosti platí atomový zákon č. 263/2016 Sb., který je rozšířen vyhláškou č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně. Ve vyhlášce je například uvedena referenční úroveň obsahu radonu v pitné vodě pro veřejnou potřebu a pro dodávání balené vody na trh, je to 100 Bq/l. Nejvyšší přípustnou hodnotu objemové aktivity radonu je pak hodnota 300 Bq/l. V této vyhlášce je také uvedena únosná mez zamoření objektu radonem a jeho

dceřinými produkty – 300 Bq/m<sup>3</sup>. Dále je zde uvedeno, že při překročení ročního průměru OAR ve vzduchu 3 000 Bq/m<sup>3</sup>, je vlastník budovy povinen provést opatření, která míru ozáření sníží. Určitá pracoviště, školy a školská zařízení mají povinnost měření objemové aktivity radonu, např. když jsou umístěna v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budovy v určité obci. Pokud v budově dojde k překročení referenční úrovně 300 Bq/m<sup>3</sup>, musí vlastník budovy posoudit účelnost opatření spočívajících zejména v úpravě způsobu užívání budovy (včetně úpravy ventilace) nebo provedení stavebních nebo technologických ozdravných opatření. Protiradonová ozdravná opatření se používají v dostavěných budovách, kde pobývají lidé. Ale mohou být využita i při stavební úpravě, která může zvýšit koncentraci radonu. Při malé koncentraci radonu stačí realizovat jen svépomocná opatření, jako je utěsnění vstupních cest radonu do budovy a intenzivnější větrání. Pro podstatnější snížení koncentrace radonu je třeba se zaměřit na profesionální technologie, zaměřené hlavně na rekonstrukci podlah včetně položení nové protiradonové izolace (asfaltové izolační pásy, fóliové systémy atd.), vytvoření systému odvětrávání podloží a aplikaci systému nucené ventilace v domě. Tyto ozdravná opatření jsou založena na postupech norem ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží a ČSN 73 0602 Ochrana staveb proti radonu a záření gama ze stavebních materiálů. Stavby postavené před rokem 1991 mohou mít nedostatečnou ochranu, a proto je v nich vyšší koncentrace radonu a jsou považovány za tzv. starou zátěž. V určitých případech může stát u těchto staveb poskytnout dotaci na realizaci protiradonových ozdravných opatření.

Před samotnou výstavbou domu se musí měřit koncentrace v půdě, tzv. určení radonového indexu pozemku. U stavby na pozemku s nízkým indexem není potřeba žádných speciálních protiradonových opatření. Stavba na pozemku se středním nebo vysokým radonovým indexem musí mít preventivní protiradonová opatření v souladu s ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží (Neznal et al., 2009; Radonový program České republiky, 2016; Mucha, 2022).

Jelikož je riziko radonu a jeho dceřiných produktů významné, problematika radonu vzbuzuje zvýšený zájem i u zahraničních vědců, expertů i politiků z oblasti veřejného zdraví, a i mnoho ostatních zemí se snaží zmírnit dopady radonu na zdraví. Přístupy k řešení radonové problematiky se mohou v jednotlivých státech lišit. Je to dáno hlavně rozdílnou závažností výskytu radonu v daném státě.

Některé evropské země prováděly nebo provádí měření radonu v půdním vzduchu, který je hlavním zdrojem radonu v budovách. V České republice bylo od osmdesátých let provedeno na statisíce měření. Na celostátní úrovni proběhlo měření radonu v půdním vzduchu také v Německu, ve Švédsku nebo ve Velké Británii. V těchto zemích se měřilo na několika tisících místech. Většina ostatních evropských zemí prováděla toto měření spíše na lokální nebo regionální úrovni (UNSCEAR, 2017; Pantelić et al., 2019).

Měření radonu v budovách jsou nebo byla organizována téměř ve všech zemích Evropy, z čehož 22 na celostátní úrovni. Nejvíce míst, kde se měřil radon v budovách, měla Velká Británie, Česká republika, Švýcarsko, Finsko a Norsko. Počty měření radonu v budovách se u těchto zemí pohybují v desítkách až stovkách tisíc (Pantelić et al., 2019).

Pro země EU v současné době platí směrnice Rady 2013/59/EUROATOM, což je evropská směrnice o základních bezpečnostních standardech ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření. Jedná se o první právně závazné požadavky na ochranu před ozáření radonem pro země EU, díky kterým došlo k určitému sjednocení na poli regulace radonu. Podle této směrnice mají členské státy například povinnost vypracovat národní akční radonový plán; určit národní referenční úrovně pro OAR uvnitř budov, které však nesmí být větší než  $300 \text{ Bq/m}^3$ ; zajistit informovanost obyvatelstva o radonu a jeho rizicích; identifikovat místa, kde je předpoklad vyšší koncentrace radonu ve více budovách a také se zabývá podmínkami spojenými s radonem na pracovištích. Členské státy EU musí mít tuto směrnici implementovanou do svých vnitrostátních právních předpisů. A i některé nečlenské státy přijaly alespoň část této směrnice za svou.

Česká republika měla již dříve ve své legislativě regulaci ozáření z přírodních zdrojů zavedenou relativně dobře, proto nebylo velkým problémem směrnici implementovat. Řada evropských států však takovéto regulace zaváděly do svých legislativ poprvé (RADON bulletin, 2016; UNSCEAR, 2017).

Tabulka 2 – Referenční úrovně vybraných států Evropy

Stát	Referenční úroveň uvnitř budovy ( $\text{Bq/m}^3$ )	Referenční úroveň na pracovišti ( $\text{Bq/m}^3$ )
Česká republika	300	300
Slovensko	300	300
Německo	300	300
Rakousko	300	300

Polsko	300	300
Švédsko	200	200
Finsko	300	300
Dánsko	100	100
Velká Británie	200	300

Ty státy, které mají nějakou referenční úroveň danou či doporučenou, se většinou pohybují v hodnotách 100–400 Bq/m<sup>3</sup>. Když se podíváme mimo Evropu, např. v USA není v současné době žádný federální předpis, ve kterém by byla uvedena maximální možná koncentrace radonu v budovách. Agentura pro ochranu životního prostředí (EPA), která je federální vládní agenturou USA, doporučuje hodnoty koncentrace radonu v budovách udržovat pod hranicí 148 Bq/m<sup>3</sup>. Toto doporučení převzala také Jižní Korea. Mexiko, které má poměrně vysoké koncentrace radonu, nemá žádné právně ukotvené regulace radonu. Žádné regulace radonu nemá také například Japonsko (Gordon, 2018; Kim et al., 2020; WHO, 2021).

## 5 Diskuze

Ve své diplomové práci jsem se zabývala informovaností obyvatelstva o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů. K zjištění potřebných informací jsem využila dotazníkové šetření. Dotazník obsahoval celkem 16 otázek a vyplnilo jej 362 respondentů. Měla jsem stanovené dvě výzkumné otázky. První výzkumná otázka byla, zda je obyvatelstvo dostatečně informováno o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů. V druhé jsem se ptala, jaká skupina, podle nejvyššího dosaženého vzdělání, má nejmenší povědomí o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů. K těmto výzkumným otázkám se vztahovaly otázky č. 3–16, které se týkaly informovanosti respondentů.

První dvě otázky mého dotazníku byly informativní, ptala jsem se na pohlaví a nejvyšší dosažené vzdělání dotazované osoby.

V otázce č. 3 jsem se ptala z jakých zdrojů ionizujícího záření má člověk průměrně za rok největší radiační zátěž. Že se jedná o zdroje přírodní vědělo jen 41 % dotázaných. Že na tuto otázku neodpověděla ani polovina respondentů správně, mě úplně nepřekvapilo. Když se řekne ionizující záření, tak si myslím, že většina lidí si představí jen záření z umělých zdrojů, jako je lékařské ozáření, jaderné zbraně nebo ozáření z jaderné energetiky. Co si však mnoho lidí neuvědomuje je to, že ozáření z přírodních zdrojů tvoří největší část z celkového kolektivního ozáření obyvatel. Na tuto otázku odpovídali nejhůře respondenti, kteří uvedli jako nejvyšší dosažené vzdělání základní; jen 20 % respondentů v této skupině odpovědělo správně.

U otázky č. 4 vybralo správně, že druhy ionizujícího záření jsou alfa, beta, gama, rentgenové a neutronové, 48 % respondentů. Nejhůře na tuto otázku odpovídali respondenti s nejvyšším dosaženým vzděláním základním. Z této skupiny odpovědělo správně jen 22 % respondentů. Tato otázka se netýká jen přímo ionizujícího záření z přírodních zdrojů, ale zajímalo mě, jestli lidé vědí, jaké vlastně existují druhy ionizujícího záření. Velká část správnou odpověď nevěděla a někteří vybrali jako odpověď i zcela vymyšlená záření. 16 % respondentů vybralo odpověď, kde bylo uvedeno záření laserové místo neutronového. Avšak laserové záření je neionizující.

Z otázky č. 5 jsem chtěla zjistit, jestli lidé vědí, že i člověk na zemi je vystaven kosmickému záření. To vědělo přes polovinu respondentů, přesně 52 % z nich. Přes dvacet procent dotázaných si myslelo, že člověk musí být několik desítek nebo stovek kilometrů nad zemí, aby byl vystaven kosmickému záření. Je sice pravda, že úroveň

expozice stoupá s nadmořskou výškou, ale i člověk žijící na úrovni hladiny moře je vystaven určité dávce kosmického záření. U této otázky byli nejméně informováni lidé, kteří mají jen základní vzdělání, odpovědělo jich správně jen 28 %.

V otázce č. 6 jsem se ptala, zda obdrží člověk větší dávku záření za rok z kosmického záření, z jaderných elektráren nebo z radioaktivního spadu z Černobyli. Správně, že z kosmického záření, odpovědělo 49 % respondentů. U této otázky byli nejméně informováni respondenti s nejnižším dosaženým vzděláním základním, a to se správnými odpověďmi od 27 % z nich. Skoro patnáct procent dotazovaných se chybně domnívalo, že člověk průměrně za rok obdrží větší dávku záření z jaderné elektrárny, která ovšem tvoří velice malou až zanedbatelnou část průměrné expozice obyvatel. Je zde vidět, že u části obyvatel je vnímání možného ozáření spojeného s jadernou energetikou mylné. Špatně byla také odpověď s radioaktivním spadem z Černobyli, který také přispívá pouze velmi málo na průměrné roční ozáření člověka.

Že hlavním zdrojem přírodních radionuklidů je zemská kůra vědělo jen 37 % respondentů. Překvapilo mě, že přes dvacet procent respondentů se domnívalo, že hlavním zdrojem přírodních radionuklidů je ozonová vrstva. Nejmenší povědomí u této otázky měla skupina se základním vzděláním, kdy z ní správně odpovědělo jen 20 % respondentů.

Že může z konzumace některých potravin dojít k vnitřnímu ozáření člověka, vědělo v otázce č. 8 41 % respondentů. Nejhůře na tuto otázku odpovídali respondenti, kteří dosáhli jen základního vzdělání. Správně z nich odpovědělo jen 17 % respondentů, ostatní skupiny respondentů odpovídaly lépe. K vnitřnímu ozáření v důsledku konzumace potravin může dojít jak díky přírodním, tak i umělým radionuklidům.

Neznalost týkající se přírodních zdrojů se projevila i v otázce č. 9. Správně, že přírodní radionuklid je  $^{40}\text{K}$  (draslík), odpovědělo jen 17 % respondentů. Dvanáct procent respondentů odpovědělo, že přírodní radionuklid je  $^{137}\text{Cs}$  (cesium) nebo  $^{90}\text{Sr}$  (stroncium). Oba jsou však radionuklidy umělé. Tyto radionuklidy se sice mohou v přírodě vyskytovat, ale nejsou přírodního původu. Do přírody se mohly dostat například ze spadu po jaderných haváriích nebo ze zkoušek jaderných zbraní. Skoro jedna čtvrtina respondentů se také domnívala, že všechny tři zmíněné radionuklidy jsou přírodního původu. Na otázku nejhůře odpověděli respondenti s nejvyšším dosaženým vzděláním základním, kdy správně odpovědělo jen 10 % respondentů.

Další otázky položené v dotazníku byly zaměřeny na problematiku radonu. Že radon je přírodní radioaktivní plyn bez zápachu vědělo 61 % respondentů. Nejhůře na tuto otázku odpovídali respondenti, kteří dosáhli jen základního vzdělání. Správně z nich odpovědělo jen 44 %, ostatní skupiny respondentů odpovídaly lépe. Tato otázka patřila v počtu správných odpovědí mezi ty úspěšnější, avšak stejně jsem si myslela, že na ní odpoví správně více lidí. Radon je jeden z nejznámějších, a i největších zdrojů přírodního ozáření, proto jsem se domnívala, že otázky, které se ho týkají budou mít větší procento správných odpovědí. Tato moje domněnka byla ale mylná.

V otázce č. 11 jsem se ptala na zdravotní riziko spojené s radonem. Správně, že radon může zvyšovat riziko vzniku karcinomu plic, odpovědělo 36 % respondentů. V této otázce byli nejméně informováni respondenti, kteří uvedli jako své nejvyšší dosažené vzdělání základní. Z této skupiny odpovědělo správně jen 14 % respondentů. Přibližně jedna třetina respondentů se domnívala, že radon může zvyšovat riziko vzniku karcinomu plic, ale i vzniku alergií. Toto tvrzení je však nepravdivé, neboť podle dostupných informací jediným zdravotním rizikem, které má s koncentrací radonu prokázanou souvislost je karcinom plic. Radon by tedy neměl způsobovat vznik alergií.

U otázky č. 12 bylo správné tvrzení, že Česká republika patří mezi státy s největší koncentrací radonu v budovách. Na tuto otázku odpovídali respondenti nejhůře, pouhých 16 % dotazovaných odpovědělo správně. Překvapilo mě, jak malé procento lidí je obeznámeno s faktem, že Česko patří mezi státy s největší koncentrací radonu v budovách. Myslím si, že zrovna tato informace je důležitá i pro člověka, který se jinak o IZ z přírodních zdrojů vůbec nezajímá. Kdyby ČR patřilo mezi státy s nízkou koncentrací radonu v budovách, tak by tato nevědomost neměla na dotazovaného žádný dopad, avšak to že je u nás vysoká koncentrace, je podle mě důležité vědět, a to z toho důvodu, že radon je karcinogen. U této otázky dopadli nejhůře respondenti, kteří dosáhli jen základního vzdělání. Správně jich odpovědělo jen 7 %.

Mezi méně úspěšné otázky patřila také otázka č. 13. Že se radon může dostávat do ovzduší jak z geologického podloží a stavebního materiálu, tak z vody, vědělo jen 25 % respondentů. Na tuto otázku nejhůře odpovídali lidé, jejichž nejvyšší dosažené vzdělání je základní. Správně odpovědělo jen 11 % z nich. Skoro polovina dotazovaných se domnívala, že radon se do ovzduší dostává z geologického podloží a stavebního materiálu. To je sice pravda, ale radon se do ovzduší může dostat i z podzemní vody,



kteřá je radonem nasycena, a ze které se uvolní. Proto existují i regulace radonu spojené s vodou.

Že v České republice existují právní předpisy, které nějak regulují koncentraci radonu vědělo 63 % respondentů. Tato otázka měla největší procento správných odpovědí. Nejčůre odpovídali respondenti, kteří uvedli jako své nejvyšší dosažené vzdělání základní. Z této skupiny odpovědělo správně 41 % respondentů. I podle toho, jak respondenti odpovídali na ostatní otázky, si však myslím, že část respondentů, kteří odpověděli na tuto otázku správně, se domnívají, že nějaké předpisy okolo regulace existují, ale nemají žádné povědomí o tom, jaké nebo čeho všeho by se vlastně mohly týkat.

49 % respondentů vědělo, že hlavním způsobem vstupu radonu do těla je inhalace. Na tuto otázku nejčůre odpovídali lidé, kteří mají jen základní vzdělání; správně odpovědělo jen 31 % těchto respondentů.

U poslední otázky vybralo 48 % respondentů správnou odpověď, že častějším větráním lze částečně snížit koncentraci radonu v budově. U této otázky byli nejméně informováni lidé s nejvyšším dosaženým vzděláním základním. Z nich odpovědělo správně 30 %.

První výzkumná otázka zněla, zda je obyvatelstvo dostatečně informováno o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů. Pouze na tři otázky, které se týkaly informovanosti, odpovědělo správně přes polovinu respondentů. U žádné otázky však neodpovědělo správně více než 64 % respondentů. Na tři otázky dokonce neodpovědělo správně ani 30 % respondentů. Z těchto výsledků usuzuji, že informovanost obyvatelstva o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů není dostatečná. Ani povědomí o radonu není dobré, přestože je to nejvíce známý a diskutovaný zdroj přírodního ozáření.

Důvodem nízké informovanosti obyvatelstva o přírodním záření může být např. vlastní nezájem lidí o dané téma. Dáno je to možná také tím, že při zmínce ionizujícího záření, je většinou pozornost zaměřena jen na umělé zdroje. Takže pokud se k člověku dostanou nějaké informace o IZ, jedná se většinou o záření z umělých zdrojů; oproti kterým mi přijde téma přírodního ozáření upozaděno. Ve veřejném prostoru se myslím více objevují témata okolo lékařského ozáření, jaderných elektráren nebo jaderných zbraní. Nejvíce známým zdrojem přírodního ozáření, který je občas

ve veřejném prostoru zmíněn, je radon. Avšak i o něm byla informovanost obyvatelstva neuspokojivá.

V druhé výzkumné otázce jsem se ptala, jaká skupina, podle nejvyššího dosaženého vzdělání, má nejmenší povědomí o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů. Na všech čtrnáct otázek, které byly zaměřeny na informovanost, odpověděli nejhůře respondenti, kteří uvedli, že jejich nejvyšší dosažené vzdělání je základní. Z toho jasně vyplývá, že nejmenší povědomí o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů má skupina, která má pouze základní vzdělání. Nejlépe naopak odpovídali respondenti, kteří uvedli, že mají vysokoškolské vzdělání. Z toho je možno usoudit, že povědomí o tomto tématu má nějakou souvislost s nejvyšším dosaženým vzděláním obyvatel.

V rámci praktické části diplomové práce jsem také vytvořila informační leták o ionizujícím záření z přírodních zdrojů. Leták jsem se snažila vytvořit tak, aby člověka zaujal, proto jsem nechtěla vytvořit materiál, který by byl jen plný textu. Místo podrobných informací jsem se snažila přednést jen nějaká základní fakta k dané problematice. Na přední straně jsem uvedla, jaké jsou zdroje ionizujícího záření a stručný text k přírodnímu ozáření. Také jsem zde dala graf, pro představu toho, jak jsou průměrně rozděleny dávky ionizujícího záření obyvatelstvu.

Na zadní straně letáku se stručně vyjadřuji k radonu. Tento přírodní radioaktivní plyn přispívá k přírodnímu ozáření nejvíce, proto se o něm v letáku zmiňuji samostatně. Dalším důvodem je i to, že se jedná o prokázaný karcinogen, což také v letáku zdůrazňuji. Pro lepší představu, z čeho všeho na člověka může působit přírodní IZ, jsem v letáku vytvořila infografiku možných cest vstupu přírodního ozáření.

I z výsledů plynoucích z dotazníkového šetření, které se zaměřovalo na informovanost o ionizujícím záření z přírodních zdrojů, se domnívám, že nějaká forma informačního materiálu pro laickou veřejnost by byla vhodná. Ať už se jedná o tento můj informační leták nebo jiný materiál, myslím, že by bylo vhodné nějakým způsobem zvýšit povědomí o této problematice. Informační materiál by bylo vhodné umístit na veřejně dostupná místa, jako jsou například různé úřady nebo do škol.

V diplomové práci jsem také zjišťovala, jak některé státy přistupují k regulaci radonu. Zaměřila jsem se hlavně na Českou republiku, která patří mezi státy s nejvyšší průměrnou koncentrací radonu v bytech. Česká republika se také vyznačuje bohatou historií měření koncentrace radonu jak v půdě, tak v budovách.

Pro státy, které jsou v Evropské unii, je vydána směrnice Rady 2013/59/EUROATOM, což je evropská směrnice o základních bezpečnostních standardech ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření. Díky této směrnici došlo k určitému sjednocení na poli regulace radonu v rámci EU. V České republice byla v různé formě regulace ozáření z radonu v legislativě zavedena již od roku 1991. Nebylo tak velkým problémem směrnici do národní legislativy implementovat, avšak řada evropských států takovéto regulace zaváděla poprvé. Zavedla se tak např. referenční úroveň pro OAR uvnitř budov, která nesmí být větší než  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Některé státy si tuto úroveň však zvolily ještě nižší. Například Dánsko si zvolilo pro referenční úroveň radonu v budovách hodnotu  $100 \text{ Bq/m}^3$  a Švédsko  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Všechny naše sousední státy mají stejné referenční úrovně jako Česká republika, a to  $300 \text{ Bq/m}^3$ .

## 6 Závěr

Prvním cílem této diplomové práce bylo zjistit, jaká je informovanost obyvatelstva o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů. Cílem jsem se zabývala v praktické části práce, a to za pomoci dat získaných z dotazníkového šetření. Z dat, které jsem získala, jsem usoudila, že informovanost o ionizujícím záření z přírodních zdrojů není na dobré úrovni. Jak už jsem zmínila v diskuzi, myslím, že by bylo dobré obyvatelstvo lépe informovat o věcech týkajících se ionizujícího záření z přírodních zdrojů. K tomu mohou posloužit například různé informační materiály.

Druhým cílem práce bylo takovýto informační materiál o ionizujícím záření z přírodních zdrojů vytvořit. Zpracovala jsem ho ve formě oboustranného letáku velikosti A5.

Třetím cílem práce bylo porovnat, jak vybrané státy přistupují k problematice regulování radonu. Tímto cílem jsem se zabývala v praktické části, kdy jsem čerpala informace z českých i zahraničních zdrojů. U států EU je regulace radonu na podobné úrovni, a to díky směrnici EU z roku 2013.

První výzkumná otázka mé diplomové práce zněla: Je obyvatelstvo dostatečně informováno o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů? Z dotazníkového šetření vyplynulo, že obyvatelstvo není dostatečně informováno, neboť u většiny otázek neodpovědělo správně ani 50 % respondentů.

Druhá výzkumná otázka zněla: Jaká skupina, podle nejvyššího dosaženého vzdělání, má nejmenší povědomí o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů? Z dotazníku vyplynulo, že nejmenší povědomí má skupina, která má nejvyšší dosažené vzdělání pouze základní, neboť měla nejmenší procentuální zastoupení správných odpovědí u všech otázek.

Tato diplomová práce, a to zejména její teoretická část, může být využita jako učební zdroj pro studenty, a to například pro obory ochrana obyvatelstva nebo radiologická asistence. Informační leták z praktické části práce může být využit pro zvýšení povědomí obyvatelstva o problematice ionizujícího záření z přírodních zdrojů.

## 7 Seznam použité literatury

1. AIREY, Peter, Thomas HINTON a John TWINING, 2012. The Scientific Basis. *Tropical Radioecology* [online]. Elsevier, s. 1-57 [cit. 2022-01-19]. Radioactivity in the Environment. ISBN 9780080450162. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-045016-2.00001-1
2. AL JASSIM, M. a R. ISAIFAN, 2018. A Review on the Sources and Impacts of Radon Indoor Air Pollution. *Journal of Environmental and Toxicological Studies* [online]. 2(1) [cit. 2022-02-07]. ISSN 25766430. Dostupné z: doi:10.16966/2576-6430.112
3. ALOMARI, Ahmad, Muneer SALEH, Suhairul HASHIM, Amal ALSAYAHEEN a Ismael ABDELDIN, 2019. Activity concentrations of <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>222</sup>Rn and their health impact in the groundwater of Jordan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* [online]. 322(2), 305-318 [cit. 2022-01-17]. ISSN 0236-5731. Dostupné z: doi:10.1007/s10967-019-06686-4
4. AZEEM, Kateřina, H. KOLLÁROVÁ, R. REIF, H. TOMÁŠKOVÁ, D. HORÁKOVÁ a V. JANOUT, 2012. Ionizující záření a karcinom ledviny. *Urol. praxi* [online]. 13(1), 34-38 [cit. 2021-12-25]. Dostupné z: <https://www.solen.cz/pdfs/uro/2012/01/07.pdf>
5. BEER, Jürg, Ken MCCRACKEN a Rudolf VON STEIGER, 2012. *Cosmogenic Radionuclides* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg [cit. 2022-01-10]. Physics of Earth and Space Environments. ISBN 978-3-642-14650-3. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-14651-0
6. BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK, 2015. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. 1. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4712-5.
7. BLAŽKOVÁ, Irena, 2008. *Jaderné elektrárny, jejich perspektivy a nové koncepce*. Brno. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně.
8. CINELLI, G., M. DE CORT a T. TOLLEFSEN, ed., 2020. *European atlas of natural radiation* [online]. Publications Office of the European Union [cit. 2022-01-09]. ISBN 978-92-76-08258-3. Dostupné z: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC116795>

9. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2022. Mapa radonového indexu podloží 1:500 000. In: *Česká geologická služba* [online]. Česká geologická služba [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: [http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show\\_map.php?mapa=radon500&y=670000&x=1070000&r=250000&s=0](http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=radon500&y=670000&x=1070000&r=250000&s=0)
10. DANIHELKA, Pavel, 2009. *Radon, neviditelné nebezpečí našich domácností*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU. ISBN 978-80-248-2128-3.
11. ELÍO, Javier, Giorgia CINELLI, Peter BOSSEW, José GUTIÉRREZ-VILLANUEVA, Tore TOLLEFSEN, Marc DE CORT, Alessio NOGAROTTO a Roberto BRAGA, 2019. The first version of the Pan-European Indoor Radon Map. *Natural Hazards and Earth System Sciences* [online]. **19**(11), 2451-2464 [cit. 2022-02-03]. ISSN 1684-9981. Dostupné z: doi:10.5194/nhess-19-2451-2019
12. GRUPEN, Claus a Mark RODGERS, 2016. *Radioactivity and Radiation*. 1. vydání. Springer International Publishing AG. ISBN 978-3-319-42330-2.
13. GORDON, Kelsey, Paul TERRY, Xingxing LIU, Tiffany HARRIS, Don VOWELL, Bud YARD a Jiangang CHEN, 2018. Radon in Schools: A Brief Review of State Laws and Regulations in the United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. **15**(10) [cit. 2022-02-09]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph15102149
14. HÁLA, Jiří, 1998. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. 1. vyd. Brno: Konvoj. ISBN 8085615568.
15. HAMPL, Ladislav, 2010. *Radon a životní prostředí*. Brno. Diplomová práce. PDF MU. Vedoucí práce Vladislav Navrátil.
16. HAVRÁNKOVÁ, Renata, 2018. *Základy radiobiologie*. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7394-696-8.
17. HAVRÁNKOVÁ, Renata, ed., 2020. *Klinická radiobiologie*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4098-0.
18. IAEA, © 1998–2022. Cosmic Radiation: Why We Should not be Worried. In: *International Atomic Energy Agency* [online]. Vídeň: IAEA [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/newscenter/news/cosmic-radiation-why-we-should-not-be-worried>

19. JIRÁNEK, Martin, 2001. *Dům bez radonu*. 1. vyd. Brno: ERA. Stavíme. ISBN 80-86517-12-8.
20. KHANDAKER, Mayeen, Panakal JOJO a Hasan KASSIM, 2012. Determination of Primordial Radionuclides in Natural Samples Using HPGe Gamma-Ray Spectrometry. *APCBEE Procedia* [online]. **1**, 187-192 [cit. 2022-01-12]. ISSN 22126708. Dostupné z: doi:10.1016/j.apcbee.2012.03.030
21. KIM, S. a J. YOO, 2020. Rational Establishment Of Radon Exposure Standards For Dwellings And Workplaces. *International Journal of Radiation Research* [online]. **18**(2), 359-368 [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: doi:10.18869/acadpub.ijrr.18.2.359
22. KOMÁREK, Lumír, Kamil PROVAZNÍK a Miroslav CIKRT, ed., 1997. *Radon*. Praha: Fortuna. Radiation. ISBN 80-7071-066-7.
23. KRÁLOVÁ, Magda, 2007. Přirozená radioaktivita. In: *EDUPORTÁL* [online]. Plzeň: Techmania Science Center o.p.s. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/prirozena-radioaktivita>
24. KUNA, Pavel a Leoš NAVRÁTIL, 2005. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus. ISBN 80-86571-09-2.
25. L'ANNUNZIATA, Michael F., ed., 2012. *Handbook of radioactivity analysis*. 3rd ed. Oxford: Elsevier. ISBN 978-0-12-384873-4.
26. LEVÝ, Leoš, 2008. *Radionuklidy v životním prostředí*. České Budějovice. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
27. MANOVÁ, M. a M. MATOLÍN, 1995. RADIOMETRICKÁ MAPA ČESKÉ REPUBLIKY. In: *Atlas map České republiky* [online]. Praha: Český geologický ústav [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: [http://www.geology.cz/demo/cd\\_geocr500/stranky/p\\_radiometricka.html](http://www.geology.cz/demo/cd_geocr500/stranky/p_radiometricka.html)
28. MU, Hongxiang, Jing SUN, Linwei LI, Jie YIN, Nan HU, Weichao ZHAO, Dexin DING a Lan YI, 2018. Ionizing radiation exposure: hazards, prevention, and biomarker screening. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. **25**(16), 15294-15306 [cit. 202-12-28]. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-018-2097-9
29. MUCHA, Josef, 2022. *RDM servis* [online]. In: . Praha [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.radon-servis.cz/>

30. NAVRÁTIL, L., Z. FREITINGER SKALICKÁ, J. HALAŠKA, R. HAVRÁTKOVÁ, J. KUBEŠ, V. NAVRÁTIL, L. SIROVÝ a F. ZÖLZER, 2021a. Radionuklidy pocházející ze spadu po jaderné havárii v Černobyli a zkouškách jaderných zbraní. In: *Radiobiologie* [online]. [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/431.html>
31. NAVRÁTIL, L., Z. FREITINGER SKALICKÁ, J. HALAŠKA, R. HAVRÁTKOVÁ, J. KUBEŠ, V. NAVRÁTIL, L. SIROVÝ a F. ZÖLZER, 2021b. Radioaktivita. In: *Radiobiologie* [online]. [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/13/132.html>
32. NAVRÁTIL, L., Z. FREITINGER SKALICKÁ, J. HALAŠKA, R. HAVRÁTKOVÁ, J. KUBEŠ, V. NAVRÁTIL, L. SIROVÝ a F. ZÖLZER, 2021c. Biologické účinky. In: *Radiobiologie* [online]. [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/7-kapitola/75.html>
33. NAVRÁTIL, L., Z. FREITINGER SKALICKÁ, J. HALAŠKA, R. HAVRÁTKOVÁ, J. KUBEŠ, V. NAVRÁTIL, L. SIROVÝ a F. ZÖLZER, 2022. Přírodní zdroje záření. In: *Radiobiologie* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/42.html>
34. NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, 2005. *Medicínská biofyzika*. Vyd. 1. Praha: Grada. ISBN 80-247-1152-4.
35. NEZNAL, Matěj a Martin NEZNAL, 2009. *Ochrana staveb proti radonu*. 1. vyd. Praha: Grada. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-3065-3.
36. NORBURY, John, Walter SCHIMMERLING, Tony SLABA et al., 2016. Galactic cosmic ray simulation at the NASA Space Radiation Laboratory. *Life Sciences in Space Research* [online]. **8**, 38-51 [cit. 2022-01-09]. ISSN 22145524. Dostupné z: doi:10.1016/j.lssr.2016.02.001
37. OLINTO, Angela, 2014. Solving the mystery of COSMIC RAYS. *Astronomy* [online]. **42**(4), 30-35 [cit. 2022-01-10]. ISSN 00916358.
38. PANTELIĆ, Gordana, Igor ČELIKOVIĆ, Miloš ŽIVANOVIĆ, Ivana VUKANAC, Jelena NIKOLIĆ, Giorgia CINELLI a Valeria GRUBER, 2019. Qualitative overview of indoor radon surveys in Europe. *Journal of Environmental Radioactivity* [online]. **204**, 163-174 [cit. 2022-02-09]. ISSN 0265931X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvrad.2019.04.010



39. PEPOWSKI, Patrick, Jack WILSON, Morgan BURKS, Andrew BECK, Insoo JUN, David LAWRENCE a Zachary YOKLEY, 2019. Cosmogenic radionuclide production modeling with Geant4: Experimental benchmarking and application to nuclear spectroscopy of asteroid (16) Psyche. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* [online]. **446**, 43-57 [cit. 2022-01-10]. ISSN 0168583X. Dostupné z: doi:10.1016/j.nimb.2019.03.023
40. PODZIMEK, František, 2013. *Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05319-5.
41. *RADON bulletin* [online], 2004. Praha: Státní úřad radaiční ochrany [cit. 2022-01-22].
42. *RADON bulletin* [online], 2016. Praha: Státní úřad radaiční ochrany [cit. 2022-02-8].
43. *Radonový program České republiky* [online], 2016. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/uvodni-strana/>
44. REISZ, Julie, Nidhi BANSAL, Jiang QIAN, Weiling ZHAO a Cristina FURDUI, 2014. Effects of Ionizing Radiation on Biological Molecules—Mechanisms of Damage and Emerging Methods of Detection. *Antioxidants & Redox Signaling* [online]. **21**(2), 260-292 [cit. 2021-12-28]. ISSN 1523-0864. Dostupné z: doi:10.1089/ars.2013.5489
45. SÚKUPOVÁ, Lucie, 2011 - 2022 ©. Rentgenka: Její stavba a funkce. In: *Lucie Sůkupová* [online]. Praha: Sůkupová [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/rentgenka-a-produkce-rentgenoveho-zareni/>
46. STEINHAUSER, Georg, Alexander BRANDL a Thomas JOHNSON, 2014. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of The Total Environment* [online]. **470-471**, 800-817 [cit. 2021-22-12]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2013.10.029
47. SÚJB, 2022a. Ozáření z přírodních zdrojů záření. In: *SÚJB* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2022-01-09]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje-ionizujiciho-zareni/ozareni-z-prirodnich-zdroju-zareni>

48. SÚJB, 2022b. Monitorování radiační situace. In: *SÚJB* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/monitorovani-radiacni-situace>
49. SÚRO, 2021. Biologické účinky ionizujícího záření. In: *Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.* [online]. Praha [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni>
50. SÚRO, 2022a. Radon a přírodní ozáření. In: *Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.* [online]. Praha [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz>
51. SÚRO, 2022b. Přírodní zdroje. In: *Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.* [online]. Praha [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje>
52. ŠLAMPA, Pavel a Jiří PETERA, 2007. *Radiační onkologie*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-469-0.
53. TIWARI, Ramesh Chandra, 2020. *Radon: Detection, Exposure and Control*. New York: Nova Science Publishers. ISBN 978-1-53616-791-7.
54. ULLMANN, Vojtěch, 2021a. Jaderná a radiační fyzika: Jaderné reakce a jaderná energie. In: *AstroNuklFyzika* [online]. Ostrava: Ullmann [cit. 2021-12-31]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika3.htm>
55. ULLMANN, Vojtěch, 2021b. Aplikace ionizujícího záření. In: *AstroNuklFyzika* [online]. Ostrava: Ullmann [cit. 2021-12-31]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm#4>
56. UNEP, 2016. *Ionizující záření: Účinky a zdroje*. Program OSN pro ochranu životního prostředí. ISBN 978-92-807-3600-7.
57. UNSCEAR, 2017. *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) Reports* [online]. New York: United Nations [cit. 2022-01-10]. Official Records of the General Assembly. ISBN 978-92-1-362680-1. Dostupné z: [https://www.unscear.org/docs/publications/2017/UNSCEAR\\_2017\\_Report.pdf](https://www.unscear.org/docs/publications/2017/UNSCEAR_2017_Report.pdf)
58. WHO, 2021. National radon reference levels. In: *World Health Organization* [online]. Geneva: WHO [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: <https://apps.who.int/gho/data/node.main.RADON03?lang=en>
59. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, 2016. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 102, s. 3938-4060. ISSN 1211-1244

## **8 Přílohy**

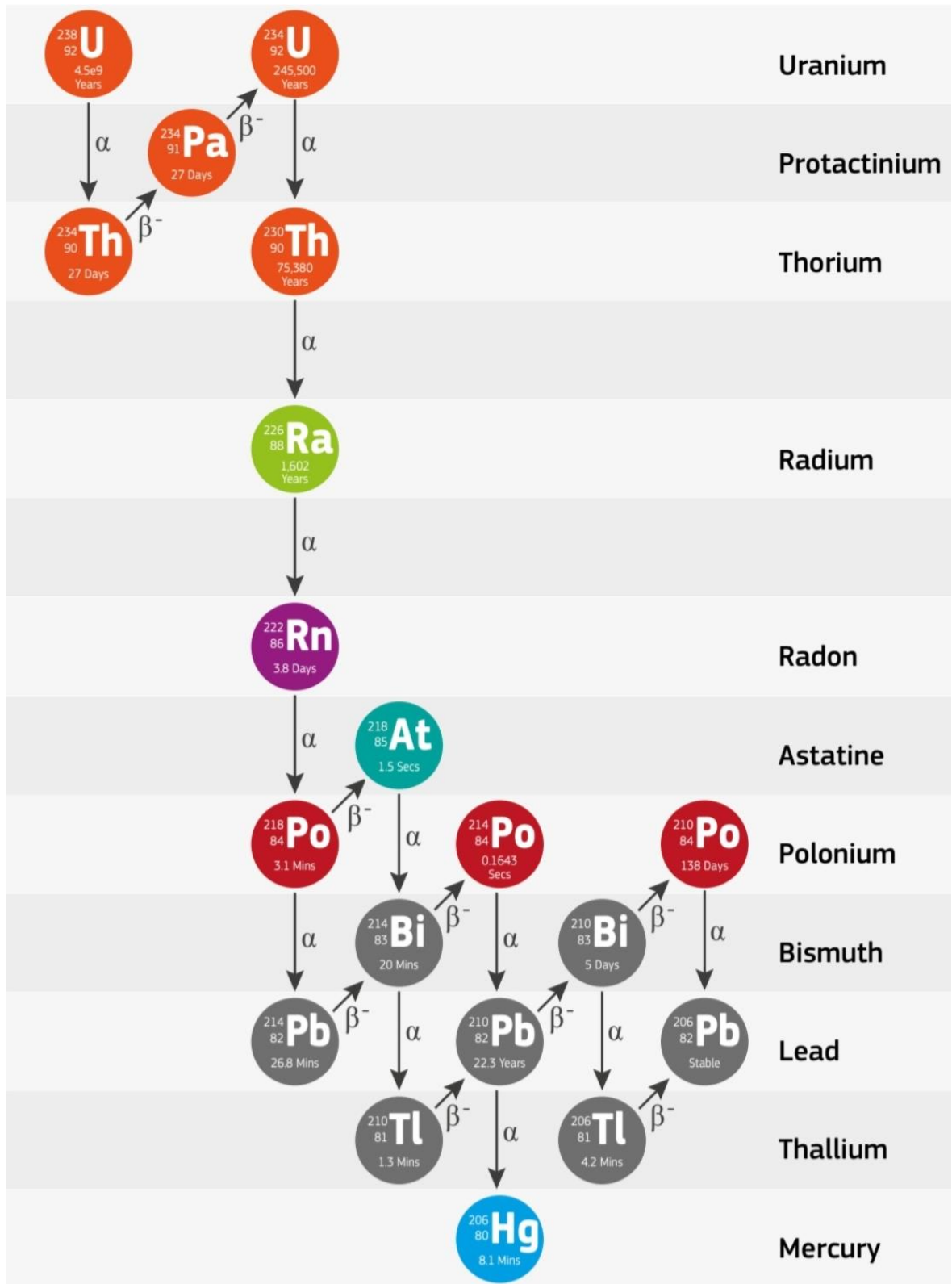
Příloha 1 – Rozpadové řady

Příloha 2 – Dotazník

Příloha 3 – Tabulka procentuálního zastoupení správných odpovědí podle nejvyššího dosaženého vzdělání

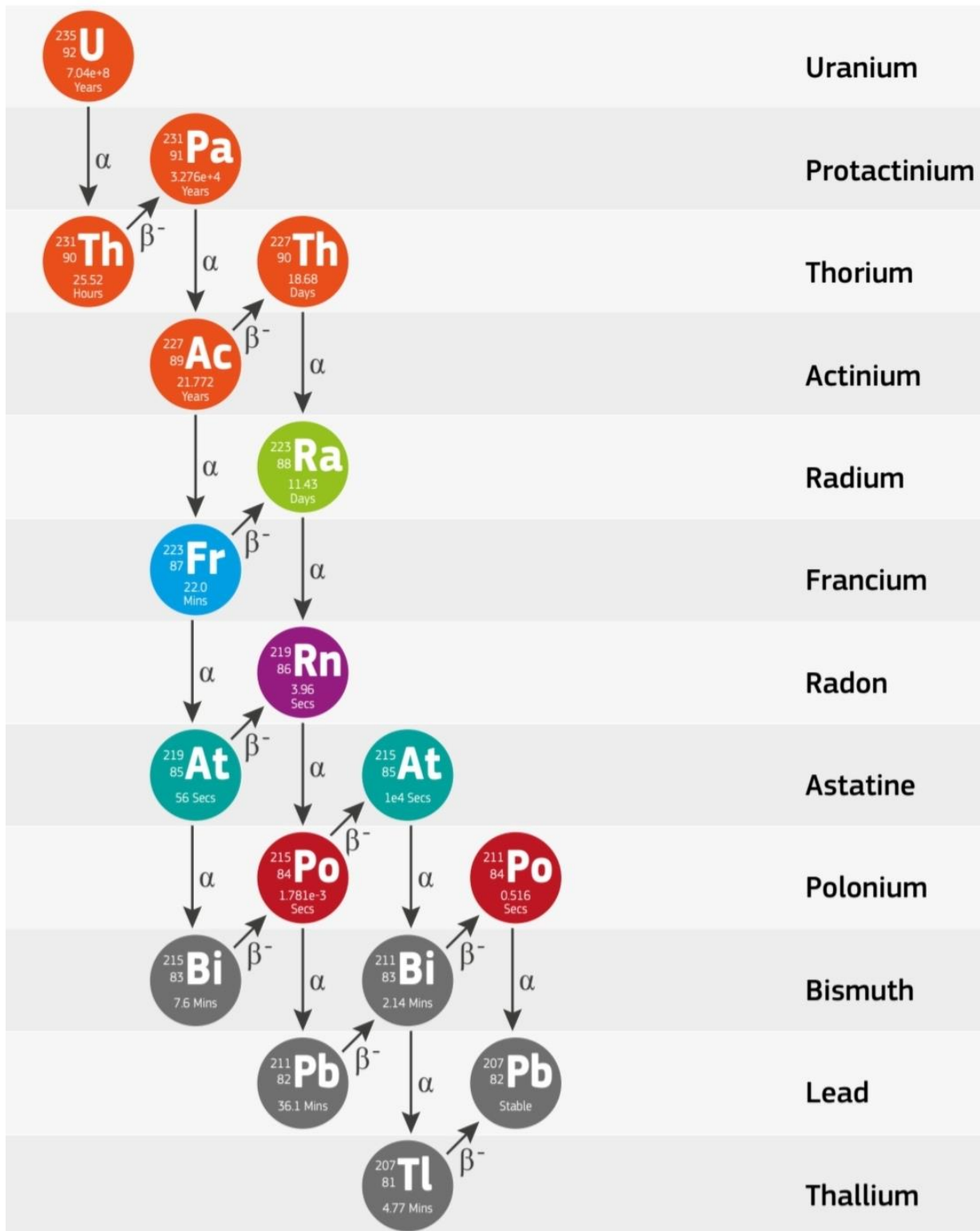
## Příloha 1

### Uran-radiová rozpadová řada



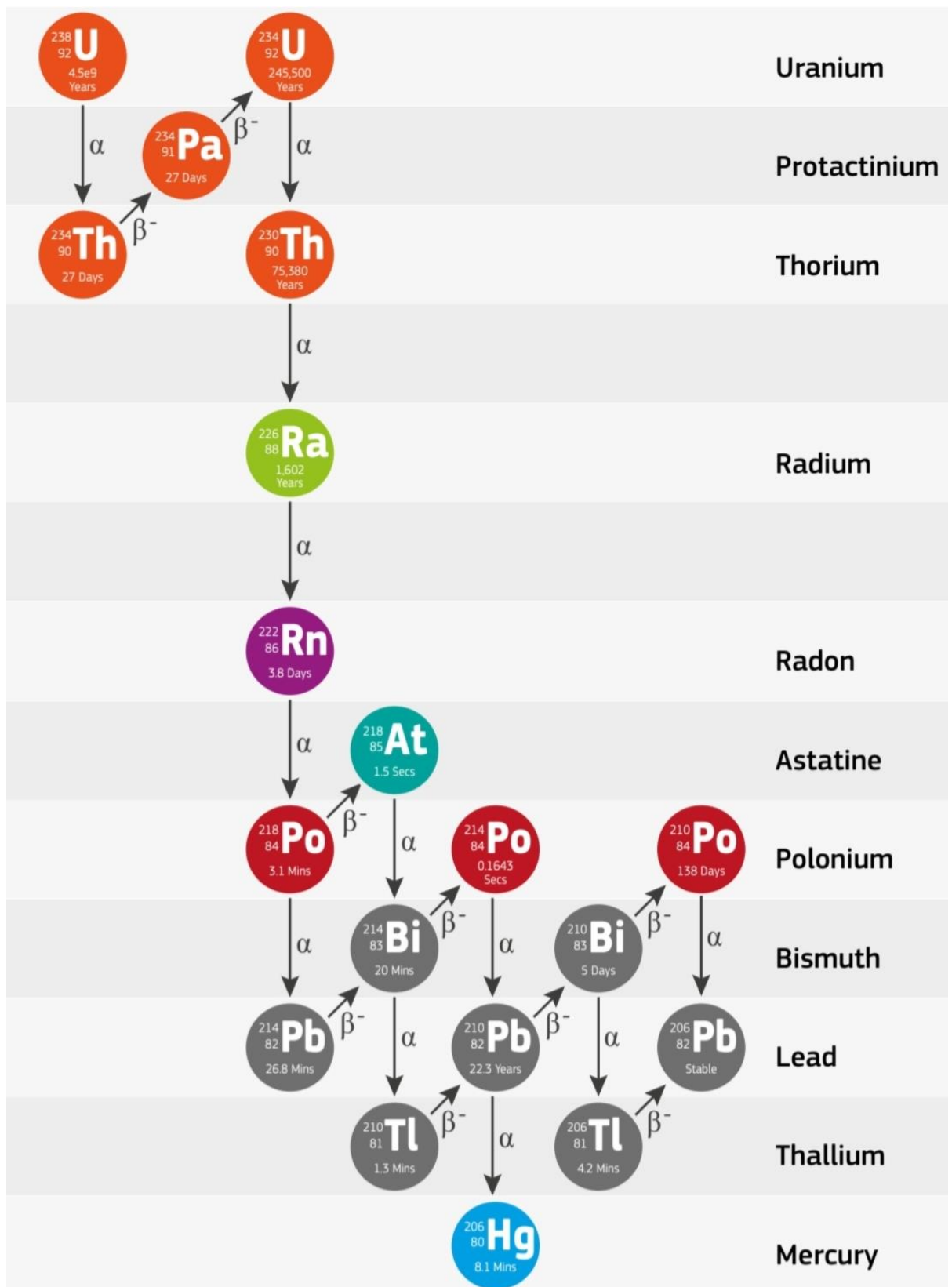
Zdroj: UNSCEAR, 2017

## Uran-aktiniová rozpadová řada



Zdroj: UNSCEAR, 2017

## Thoriová rozpadová řada



Zdroj: UNSCEAR, 2017

## Příloha 2

Dobrý den,

jmenuji se Jana Hrbková a jsem studentkou Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

Chtěla bych Vás požádat o vyplnění dotazníku, který se zabývá problematikou informovanosti obyvatelstva o ionizujícím záření z přírodních zdrojů. Dotazník je zcela anonymní a poslouží k vypracování mé diplomové práce.

Předem děkuji za Vaši ochotu a čas, který věnujete vyplňování tohoto dotazníku.

1. Vaše pohlaví:
  - a) Muž
  - b) Žena
  
2. Jaké je Vaše nejvyšší dosažené vzdělání:
  - a) Základní
  - b) Střední bez maturity
  - c) Střední s maturitou + VOŠ
  - d) Vysokoškolské
  
3. Z jakých zdrojů ionizujícího záření má člověk (průměrně za rok) největší radiační zátěž?
  - a) Z umělých zdrojů
  - b) Z přírodních zdrojů
  - c) Nevím
  
4. Jaké existují druhy ionizujícího záření?
  - a) Alfa, beta, gama, rentgenové, laserové
  - b) Alfa, beta, gama, rentgenové, neutronové
  - c) Záření O, P, Q, R
  - d) Nevím

5. Je člověk na zemi vystaven kosmickému záření?
- a) Ano
  - b) Ne, člověk by musel být alespoň ve výšce 20 km nad zemí
  - c) Ne, člověk by musel být alespoň ve výšce 250 km nad zemí
  - d) Nevím
6. Z čeho člověk obdrží větší dávku záření za rok?
- a) Z jaderných elektráren
  - b) Z kosmického záření
  - c) Z radioaktivního spadu z Černobylu
  - d) Nevím
7. Co je hlavním zdrojem přírodních radionuklidů?
- a) Oblast jaderné energetiky
  - b) Zemská kůra
  - c) Ozonová vrstva
  - d) Nevím
8. Může z konzumace některých potravin dojít k vnitřnímu ozáření člověka?
- a) Ano
  - b) Ne
  - c) Nevím
9. Který z těchto radionuklidů je přírodní radionuklid?
- a)  $^{40}\text{K}$  (draslík)
  - b)  $^{137}\text{Cs}$  (cesium)
  - c)  $^{90}\text{Sr}$  (stroncium)
  - d) Všechny tři radionuklidy jsou přírodního původu
  - e) Nevím



10. Co je to radon?
- a) Přírodní radioaktivní pevná látka
  - b) Přírodní radioaktivní plyn bez zápachu
  - c) Přírodní radioaktivní plyn zapáchající po ozonu
  - d) Nevím
11. Jaké zdravotní riziko představuje radon pro člověka?
- a) Může zvyšovat riziko vzniku karcinomu plic
  - b) Může zvyšovat riziko vzniku alergií
  - c) Může zvyšovat riziko vzniku karcinomu plic a alergií
  - d) Nepředstavuje žádné zdravotní riziko
  - e) Nevím
12. Jaká je v ČR koncentrace radonu v budovách, v porovnání se světem?
- a) Patříme mezi státy s nejmenší koncentrací radonu
  - b) Patříme mezi státy s průměrnou koncentrací radonu
  - c) Patříme mezi státy s největší koncentrací radonu
  - d) Nevím
13. Z čeho se radon může dostávat do ovzduší?
- a) Z geologického podloží a stavebního materiálu
  - b) Z vody
  - c) Obě odpovědi jsou správně
  - d) Nevím
14. Existují v České republice právní předpisy, které nějak regulují koncentraci radonu?
- a) Ano
  - b) Ne
  - c) Nevím

15. Jaký je hlavní způsob vstupu radonu do těla?

- a) Ingecí (potravou)
- b) Absorpcí přes kůži
- c) Inhalací
- d) Nevím

16. Jak lze částečně snížit koncentraci radonu v budově?

- a) Omezit větrání
- b) Častěji větrat
- c) Nelze ho vůbec snížit
- d) Nevím

### Příloha č. 3

**Tabulka procentuálního zastoupení správných odpovědí podle nejvyššího dosaženého vzdělání:**

Otázka č.	Základní		Střední bez maturity		Střední s mat.+VOŠ		Vysokoškolské	
	počet	procenta	počet	procenta	počet	procenta	počet	procenta
3.	16	19,75	31	38,27	49	49,49	54	53,47
4.	18	22,22	40	49,38	49	49,49	66	65,35
5.	23	28,40	37	45,68	59	59,60	69	68,32
6.	22	27,16	31	38,27	57	57,58	68	67,33
7.	16	19,75	17	20,99	40	40,40	60	59,41
8.	14	17,28	22	27,16	54	54,55	59	58,42
9.	8	9,88	19	23,46	16	16,16	19	18,81
10.	36	44,44	43	53,09	64	64,65	78	77,23
11.	11	13,58	26	32,10	46	46,46	47	46,53
12.	6	7,41	10	12,35	13	13,13	29	28,71
13.	9	11,11	14	17,28	32	32,32	34	33,66
14.	33	40,74	52	64,20	65	65,66	78	77,23
15.	25	30,86	36	44,44	55	55,56	61	60,40
16.	24	29,63	28	34,57	53	53,54	68	67,33

## 9 Seznam obrázků a tabulek

- Obrázek 1 – Rozdělení dávek obyvatelstvu
- Obrázek 2 – Expozice ionizujícího záření
- Obrázek 3 – Ozáření z přírodních zdrojů
- Obrázek 4 – Roční dávky z kosmického záření
- Obrázek 5 – Roční příjem kosmogenních radionuklidů
- Obrázek 6 – Průměrná koncentrace radonu ve světě
- Obrázek 7 – Radonová mapa ČR
- Obrázek 8 – Geometrický průměr OAR v obcích ČR
- Obrázek 9 – Pohlaví
- Obrázek 10 – Nejvyšší dosažené vzdělání
- Obrázek 11 – Zdroje ionizujícího záření
- Obrázek 12 – Správné odpovědi na otázku č. 3
- Obrázek 13 – Druhy ionizujícího záření
- Obrázek 14 – Správné odpovědi na otázku č. 4
- Obrázek 15 – Kosmické záření
- Obrázek 16 – Správné odpovědi na otázku č. 5
- Obrázek 17 – Větší dávka záření
- Obrázek 18 – Správné odpovědi na otázku č. 6
- Obrázek 19 – Zdroj přírodních radionuklidů
- Obrázek 20 – Správné odpovědi na otázku č. 7
- Obrázek 21 – Vnitřní ozáření
- Obrázek 22 – Správné odpovědi na otázku č. 8
- Obrázek 23 – Přírodní radionuklid
- Obrázek 24 – Správné odpovědi na otázku č. 9
- Obrázek 25 – Radon
- Obrázek 26 – Správné odpovědi na otázku č. 10
- Obrázek 27 – Zdravotní riziko z radonu
- Obrázek 28 – Správné odpovědi na otázku č. 11
- Obrázek 29 – Koncentrace radonu v budovách
- Obrázek 30 – Správné odpovědi na otázku č. 12
- Obrázek 31 – Radon do ovzduší
- Obrázek 32 – Správné odpovědi na otázku č. 13

Obrázek 33 – Regulace radonu v ČR

Obrázek 34 – Správné odpovědi na otázku č. 14

Obrázek 35 – Vstup radonu do těla

Obrázek 36 – Správné odpovědi na otázku č. 15

Obrázek 37 – Snížení koncentrace radonu

Obrázek 38 – Správné odpovědi na otázku č. 16

Tabulka 1 – Roční příjem kosmogenních radionuklidů

Tabulka 2 – Referenční úrovně vybraných států Evropy

## 10 Seznam použitých zkratk

CT	výpočetní tomografie
ČR	Česká republika
DNA	deoxyribonukleová kyselina
EU	Evropská unie
Hz	hertz
IZ	ionizující záření
keV	kiloelektronvolt
MeV	megaelektronvolt
mSv	milisievert
nm	nanometr
OAR	objemová aktivita radonu
OSN	Organizace spojených národů
PET	pozitronová emisní tomografie
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
UNSCEAR	Vědecký výbor zřízený při OSN pro zkoumání účinků ionizujícího záření
USA	Spojené státy americké
WHO	Světová zdravotnická organizace