



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Informovanost obyvatelstva v Plzeňském kraji o radonové problematice

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program:

OCHRANA OBYVATELSTVA

Autor: Monika Judlová

Vedoucí práce: Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

České Budějovice 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem *„Informovanost obyvatelstva v Plzeňském kraji o radonové problematice“* 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 bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích 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 bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 3. 5. 2017

.....

Monika Judlová

Poděkování

Děkuji paní Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D. za vstřícnost, odborné vedení, pomoc a rady, které mně v průběhu zpracování této bakalářské práce věnovala.

Informovanost obyvatelstva v Plzeňském kraji o radonové problematice

Abstrakt

Radon pronikající z geologického podloží patří k nevýznamnějším zdrojům ozáření obyvatelstva a jako prokázaný lidský karcinogen zvyšuje pravděpodobnost vzniku rakoviny plic. Dnes již existuje mnoho způsobů, jak se před jeho účinky a zvýšené koncentraci v budovách chránit. Veřejnost však není o této problematice dostatečně informována. Zvýšení informovanosti obyvatelstva o radonu je proto také jeden z cílů Radonového programu ČR.

V teoretické části bakalářské práce jsou shrnuty základní poznatky o radioaktivitě, ionizujícím záření a jeho zdrojích a uveden přehled základních veličin, které se v této oblasti používají. Tato část samozřejmě shrnuje i problematiku radonu, jeho výskytu v budovách, vlivu na lidské zdraví a protiradonových opatřeních.

Praktická část se zabývá kvantitativním výzkumem, který měl za cíl zjistit, a posoudit informovanost obyvatelstva Plzeňského kraje o radonové problematice. Výzkum probíhal formou dotazníkového šetření. Ke zpracování jeho výsledků byly použity metody deskriptivní a matematické statistiky. Pomocí dvojvýběrového t-testu byla potvrzena stanovená hypotéza: *„Občané Plzeňského kraje žijící v rodinných domech mají statisticky významně vyšší znalosti o radonové problematice než občané žijící v bytech.“* Obyvatelé rodinných domů ve většině otázek dosahovali lepších výsledků než obyvatelé bytů. Nejlépe zodpovězené byly především otázky věnující se problematice, s níž se mohou občané prakticky setkat například během stavby domu. Nejhorší výsledky měly naopak odbornější otázky týkající se srovnání radiační zátěže radonu a jaderných elektráren nebo koncentrace radonu v ČR.

Přínosem práce je získaný přehled o informovanosti obyvatelstva Plzeňského kraje o radonové problematice. Dále by mohla práce posloužit jako námět budoucích bakalářských či diplomových prací s možností rozšíření výzkumné části.

Klíčová slova

radon; radonová problematika; protiradonová opatření; informovanost; obyvatelstvo; Plzeňský kraj

Population awareness of the radon issue in the Pilsen Region

Abstract

Radon leaking out of the geological subsoil belongs to the most significant sources of population irradiation and as a proven human carcinogen it raises the probability of lung cancer occurrence. Nowadays many ways exist, how to protect yourself from the impacts of radon and from its higher concentration in buildings. However, the population isn't sufficiently informed about this issue. Raising the population awareness of the radon issue is therefore one of the aims of Czech radon programme.

In the theoretical part of this bachelor thesis, the basic knowledge about radioactivity, ionizing radiation and its sources are summarized. The outline of quantities used in these matters was listed as well. This part by all means summarizes the radon issue, the occurrence of radon in buildings and its impacts on human health, as well as anti-radon measures.

The practical part deals with the quantitative research, which task was to find out and evaluate the population awareness of the radon issue in the Pilsen Region. The research was carried out on the basis of questionnaire survey. To process the results, the methods of descriptive and mathematical statistics were used. With the help of two-choice t-test the stated hypothesis was confirmed: *“The part of population of Pilsen Region which lives in family detached houses has statistically more relevant knowledge of radon issue than the part which lives in apartments.”* The residents of family houses gave most of the time better answers to questions than residents of apartments. The best answered questions were those dealing with the problematics which citizen face when building a house. On the other hand, the worst answered questions were the professional ones, dealing with comparing radiation burden of radon to nuclear power plants or the concentration of radon in the Czech Republic.

The benefit of this thesis is a retrieved overview of the awareness of the radon issue among the residents of Pilsen Region. Moreover, the thesis could serve as a subject of future bachelor or master theses, with the option of extending the research part.

Key words

radon; radon issue; anti-radon measures; awareness; population; Pilsen Region

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod..... | 8 |
| 1 Teoretická část | 9 |
| 1.1 Radioaktivita | 9 |
| 1.2 Ionizující záření..... | 9 |
| 1.3 Veličiny související s ionizujícím zářením | 11 |
| 1.4 Přírodní zdroje ionizujícího záření..... | 12 |
| 1.4.1 Kosmické záření | 12 |
| 1.4.2 Přírodní radionuklidy | 12 |
| 1.5 Radon | 14 |
| 1.5.1 Rozpadové produkty radonu | 15 |
| 1.5.2 Účinky na lidský organismus..... | 16 |
| 1.5.3 Vstup radonu do objektu..... | 17 |
| 1.5.4 Stanovení objemové aktivity radonu | 20 |
| 1.5.5 Protiradonová opatření u staveb | 21 |
| 1.5.6 Radonový program | 23 |
| 2 Cíl práce a hypotézy | 24 |
| 3 Metodika | 25 |
| 3.1 Statistické metody | 25 |
| 3.1.1 Základní metody deskriptivní statistiky..... | 25 |
| 3.1.2 Základní metody matematické statistiky | 27 |
| 4 Výsledky | 29 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | Výsledky dotazníkového šetření | 29 |
| 4.2 | Statistické šetření u obyvatel bytů..... | 40 |
| 4.2.1 | Formulace statistického šetření..... | 40 |
| 4.2.2 | Elementární statistické zpracování | 40 |
| 4.2.3 | Neparametrické testování | 42 |
| 4.3 | Statistické šetření u obyvatel rodinných domů | 45 |
| 4.3.1 | Formulace statistického šetření..... | 45 |
| 4.3.2 | Elementární statistické zpracování | 45 |
| 4.3.3 | Neparametrické testování | 47 |
| 4.4 | Parametrické testování – aplikace dvojvýběrového t-testu..... | 50 |
| 5 | Diskuze | 51 |
| 5.1 | Diskuze k jednotlivým otázkám..... | 51 |
| 5.2 | Diskuze ke statistickému šetření | 54 |
| 5.3 | Shrnutí..... | 55 |
| 6 | Závěr | 56 |
| 7 | Seznam použitých zdrojů..... | 57 |
| 8 | Seznam zkratk | 62 |
| 9 | Seznam obrázků a tabulek | 63 |
| 10 | Seznam příloh | 65 |
| 11 | Přílohy..... | 66 |

Úvod

Světová zdravotnická organizace (World Health Organization, dále „WHO“) považuje od roku 2009 radon za druhou nejvýznamnější příčinu vzniku rakoviny plic hned po kouření a vydala doporučení, aby státy riziko vyplývající z radonu nepodceňovaly. Zároveň se informace o potřebě snížit koncentrace radonu v obytných budovách pravidelně objevují v různých informačních publikacích, které WHO vydává.

V České republice (dále „ČR“) problematika radonu spadá do kompetencí Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (dále „SÚJB“) nebo spíše Státního ústavu radiální ochrany (dále „SÚRO“). Ty uvedenou problematiku shrnuly v Radonovém programu ČR. Jedním z jeho cílů je zvýšit informovanost veřejnosti, to v současné době probíhá především prostřednictvím webových stránek SÚRO a radonového programu. SÚRO také pravidelně vydává Radon bulletin, který obsahuje nejdůležitější informace a novinky z této oblasti.

Bakalářskou práci zaměřenou na informovanost obyvatelstva o radonové problematice jsem si vybrala nejenom proto, že je mi téma radonu blízké a provází mě v podstatě celé studium, ale také proto, že mě zajímalo, jaké informace o této problematice budou mít běžní občané.

Práce je členěna na teoretickou a výzkumnou část. Teoretická část shrnuje základní poznatky v oblasti radioaktivity, ionizujícího záření, veličin s ním souvisejících a také zdrojů ionizujícího záření, zejména přírodních, ke kterým patří i radon. Výzkumná část je zaměřena především na kvantitativní výzkum, který probíhal pomocí dotazníkového šetření u obyvatelstva Plzeňského kraje s cílem zjistit a posoudit jeho informovanost o radonu, jeho výskytu v budovách, jeho vlivu na zdraví a protiradonových opatřeních.

1 Teoretická část

Teoretická část bakalářské práce seznamuje s problematikou radioaktivity, ionizujícího záření a veličin s ním souvisejících. Také se zabývá zdroji ionizujícího záření a to především přírodními, mezi které patří i radon.

1.1 Radioaktivita

Radioaktivita nebo též radioaktivní přeměna je schopnost některých prvků s nestabilními jádry měnit se na jádra jiných stabilních prvků a při tom do svého okolí vysílat záření (Reichl a Všeticka, 2006-2016). Této přeměně podléhají především tzv. radioaktivní atomy, což jsou atomy, které mají nestabilní jádra a samovolně se mění na jiná jádra s cílem dosáhnout stability atomu (Navrátil et al., 2011).

Radioaktivní přeměna se vyznačuje tím, že se při ní mění složení jádra atomu a tím chemická podstata látky. Dochází při ní k uvolňování záření, které působí na okolní prostředí. Probíhá nezávisle na vnějších podmínkách (např. teplota, tlak) a její rychlost nelze nijak ovlivnit. Pro popsání rychlosti radioaktivní přeměny jádra se používá pojem poločas přeměny, někdy také poločas rozpadu. (Navrátil et al., 2011)

Radioaktivitu můžeme rozdělit na přirozenou, kdy se všechna nestabilní jádra rozpadají samovolně na jádra, která jsou stabilní nebo ke stabilní konfiguraci vedou, a umělou, kdy je nestabilita jádra uměle vyvolána. (Navrátil et al., 2011)

1.2 Ionizující záření

V § 2 zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona se pojmem ionizující záření rozumí „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.“ Toto záření vzniká během procesů v atomech, kdy se jádro, případně obal, dostane do excitovaného stavu, tzn., že je mu dodána energie, díky které se posune do vyšší energetické hladiny a stane se tím nestabilní. Zpět do stabilního stavu se dostane vyzářením energie v podobě částic nebo fotonů elektromagnetického záření. (Navrátil et al., 2011)

Ionizující záření lze rozdělit na dva druhy. Korpuskulární ionizující záření je charakterizováno určitou klidovou hmotností, elektrickým nábojem a kinetickou energií. Fotonové ionizující záření má duální charakter, což znamená, že má vlastnosti elektromagnetického vlnění a zároveň i částic. U fotonového záření rozlišujeme jeho další dva druhy. Fotonové záření gama (γ), které vzniká v atomovém jádře, a rentgenové záření, vznikající interakcemi elektronů v atomovém obalu. Podle charakteru, jakým probíhá samotná ionizace, lze rozlišit ještě přímo ionizující záření, které je tvořeno nabitými částicemi (elektrony, pozitrony, protony, částicemi α a β) s kinetickou energií dostatečnou k vyvolání ionizace, a nepřímo ionizující záření tvořené nenabitými částicemi (fotony, neutrony), které samy své okolí neionizují, ale při interakcích s prostředím přímo ionizující částice uvolňují. (Navrátil et al., 2011)

Záření alfa (α) se skládá z rychle letících jader helia ${}^4_2\text{He}$, kdy původní jádro ztratí dva protony a dva neutrony a tím vznikne jádro nového prvku. Toto záření má velmi malou pronikavost, odstínit ho dokáže i papír, ale silné ionizační účinky na plyny. (Kusala, 2013)

Proud elektronů nebo pozitronů, což jsou elektrony s kladným nábojem, tvoří záření beta (β). Emitované elektrony vznikají v jádře při přeměně neutronu na proton, elektron a antineutrino. β záření má větší pronikavost než záření α , ale menší ionizační účinky, k jeho odstínění je potřeba tenká vrstva kovu. (Navrátil et al., 2011; Kusala, 2013)

Záření gama (γ) je elektromagnetické záření s vlnovou délkou v intervalu 10^{-11} až 10^{-13} m. Vzniká jako přebytečná energie, které se zbavuje jádro při přechodu z vyššího do nižšího energetického stavu. Ve většině případů doprovází záření α nebo β . Je velmi pronikavé a pro jeho odstínění musíme mít velmi silnou vrstvu kovu nebo betonu. (Navrátil et al., 2011; Kusala, 2013)

Mezi elektromagnetické záření patří také rentgenové záření. To má vlnovou délku v rozmezí 10^{-9} až 10^{-13} m. Vzniká v rentgence zabrzděním rychle letících elektronů v těžkých kovech. Rozeznáváme jeho dva druhy – brzdné a charakteristické. Náhlým zabrzděním letícího elektronu vzniká brzdné rentgenové záření. Tímto zabrzděním se část, nebo i celá kinetická energie elektronu přemění na brzdné rentgenové záření, které má spojité spektrum. Přechody elektronů v atomovém obalu vzniká charakteristické rentgenové záření. Elektron, který dopadne na anodu, může vyrazit elektron z nižší energetické vrstvy, volné místo poté zaplní elektron z vyšší energetické vrstvy, který

přebytek své energie vyzáří ve formě charakteristického rentgenového záření. Tento typ záření je závislý na druhu materiálu anody a má čárové spektrum. (Navrátil et al., 2011)

Neutronové záření tvoří nenabitě elementární částice – neutrony. Toto záření vzniká během reakcí v jádře atomu a spontánním štěpením atomu. Jeho chování určuje energie. (Navrátil et al., 2011)

1.3 Veličiny související s ionizujícím zářením

Pro popis zdroje ionizujícího záření používáme aktivitu (A). Tato veličina vyjadřuje počet radioaktivních přeměn v látce za jednotku času. Její jednotkou je becquerel (Bq), která znamená jednu přeměnu jádra za sekundu. Běžně se využívají její násobky, např. 1 kBq, 1 MBq. Aktivita nezůstává konstantní, ale klesá exponenciálně s časem. Pro lepší popis zdrojů ionizujícího záření často aktivitu vztahujeme k některé z měrných jednotek. Poté se můžeme setkat s hmotnostní aktivitou (Bq.kg^{-1}), objemovou aktivitou (Bq.m^{-3}) nebo plošnou aktivitou (Bq.m^{-2}). (Navrátil et al., 2011)

Dávku (D), někdy označovanou jako absorbovaná dávka, můžeme popsat jako střední hodnotu energie ionizujícího záření absorbované v jednom kilogramu látky. Její jednotkou je 1 Gray (Gy), který můžeme vyjádřit i jako J.kg^{-1} . Dávka se používá pro popis přímo ionizujícího záření. (Reichl a Všetická, 2006-2016)

Pro nepřímo ionizující záření se používá veličina kerma (Kinetic Energy Released in Material), popisující vliv sekundárních částic na látku. Přírůstek dávky za čas popisuje dávkový příkon, stejně tak přírůstek kerry za čas popisuje kermový příkon. Obě tyto veličiny se vyjadřují v Gy.s^{-1} . (Reichl a Všetická, 2006-2016)

Protože účinky ionizujícího záření se různí podle druhu záření, byla zavedena veličina ekvivalentní dávka (H_T). Ta je definována jako součin absorbované dávky daného typu záření v orgánu nebo tkáni a radiačního váhového faktoru. Radiační váhový faktor (W_R) vyjadřuje poměr potřebných dávek dvou druhů záření k vyvolání stejného biologického účinku na tkáň. (Reichl a Všetická, 2006-2016)

Efektivní dávkou (E) rozumíme součet ekvivalentních dávek v jednotlivých orgánech lidského těla vynásobených tkáňovými váhovými faktory, které vyjadřují radiosenzitivitu dané tkáně. Jednotkou ekvivalentní i efektivní dávky je 1 Sievert (Sv). (Reichl a Všetická, 2006-2016)

1.4 Přírodní zdroje ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření rozdělujeme na přírodní a umělé. Mezi umělé zdroje ionizujícího záření můžeme například zařadit radiodiagnostické i radioterapeutické přístroje užívané ve zdravotnictví, spotřební předměty s obsahem radioaktivních látek, jaderné elektrárny nebo spad po jaderných haváriích. (UNEP, 2016)

Vzhledem k charakteru práce budou dále rozebírány pouze přírodní zdroje, mezi které řadíme kosmické záření a přírodní radionuklidy.

1.4.1 Kosmické záření

Kosmické záření tvoří jeden z významných zdrojů přírodního ozáření. Na osoby má vliv především při letech letadlem, případně kosmickými loděmi. Rozlišujeme tři druhy kosmického záření: galaktické záření, sluneční záření a radiační (van Allenovy) pásy. Galaktické záření má svůj původ v hlubokých oblastech vesmíru. Skládá se především z protonů, jader helia, elektronů a těžších jader ostatních prvků. Sluneční kosmické záření je z velké části tvořeno protony a pochází ze slunečních erupcí. Radiační (van Allenovy) pásy tvoří protony a elektrony, které zachytilo magnetické pole Země v určitých vzdálenostech od jejího povrchu. Existuje vnější pás se středem kolem 20 000 km nad zemským povrchem a vnitřní se středem ve vzdálenosti od povrchu Země asi 3 000 km. Vnější radiační pás je z hlediska možnosti ozáření spíše nevýznamný. Vnitřní radiační pás je významný především pro lety okolo Země. (Kuna a Navrátil, 2005)

Když částice kosmického záření vstoupí do atmosféry, interagují s přítomnými atomy a molekulami. Částice, které vznikají interakcemi především primárních fotonů, pronikají až k zemskému povrchu a tvoří tzv. sekundární složku kosmického záření. (Kuna a Navrátil, 2005)

1.4.2 Přírodní radionuklidy

Přírodní radionuklidy můžeme podle svého původu a vzniku rozdělit na kosmogenní a terestrální radionuklidy. Terestrální dále dělíme na primordiální radionuklidy a radionuklidy, které vznikají v rozpadových řadách. (Ullmann, 2002)

Kosmogenní radionuklidy

Kosmogenní radionuklidy vznikají během jaderných reakcí v atmosféře. Ze stabilních prvků se při průchodu kosmického záření stávají radionuklidy. Do této skupiny patří zejména uhlík ^{14}C , tritium ^3H a berylium ^7Be . (Ullmann, 2002)

Nejdůležitější z této skupiny, vzhledem k ozáření obyvatelstva, je uhlík ^{14}C . Ten vzniká působením neutronů, vzniklých díky kosmickému záření, na dusík. Uhlík ^{14}C v atmosféře oxiduje na oxid uhličitý a vstupuje tak do biologických cyklů a organismů. Obsah radioaktivního izotopu uhlíku v předmětech biologického původu je využíván v radiouhlíkové datovací metodě, tzv. uhlíkové chronometrii, díky které můžeme zhruba stanovit stáří těchto předmětů. (Ullmann, 2002)

Dalším významným prvkem v této skupině je radioaktivní izotop vodíku – tritium ^3H . Ten je zabudován do molekul vody, která se dostává do potravního řetězce, a tritium se tak stává součástí živých organismů. (Navrátil et al., 2011)

Terestrální radionuklidy

Terestrální radionuklidy jsou takové, které obsahuje zemská kůra. Jejich rozložení není ve světě rovnoměrné, rozdíly jsou způsobeny geologickými procesy. (Navrátil et al., 2011)

Primordiální radionuklidy jsou součástí naší zemské kůry již od jejího vzniku. Do dnešní doby se zachovaly ovšem pouze ty, které mají poločas přeměny delší než 10^8 let. K těm nejvíce zastoupeným patří izotopy uranu ^{238}U a ^{235}U , které dále tvoří uran – radiovou a aktiniovou rozpadovou řadu. Další jsou draslík ^{40}K a thorium ^{232}Th , které se také dále rozpadá na radionuklidy, tzv. thoriové rozpadové řady. Ve velmi malých množstvích se v přírodě můžeme setkat i s chlórem ^{36}Cl , beryliem ^{10}Be nebo rubidiem ^{87}Rb . Další radionuklidy, které byly původně součástí zemské kůry, kvůli kratšímu poločasu přeměny již vymřely (Ullmann, 2002; Navrátil et al., 2011).

Radionuklidy vznikající jako rozpadové produkty přeměn primordiálních radionuklidů tvoří další významnou část zdrojů ionizujícího záření. Radionuklidy ^{232}Th , ^{238}U a ^{235}U tvoří rozpadové řady, kdy se alfa a později i beta rozpadem přeměňují na jednotlivé dceřiné produkty. V přírodě máme již zmiňované tři radioaktivní rozpadové řady, od thoria ^{232}Th (thoriová), uranu ^{238}U (uran-radiová) a uranu ^{235}U (aktiniová), všechny

končí stabilními izotopy olova. Uměle lze vytvořit ještě neptuniovou rozpadovou řadu, která vychází od neptunia ^{237}Np a končí bismutem ^{209}Bi . (Navrátil et al., 2011)

1.5 Radon

Mezi nejvýznamnější zdroje ozáření obyvatelstva (Obrázek 1) patří přírodní radioaktivní plyn radon, který se z horninového podloží dostává do budov, kde se může hromadit. (SÚRO, 2016a)



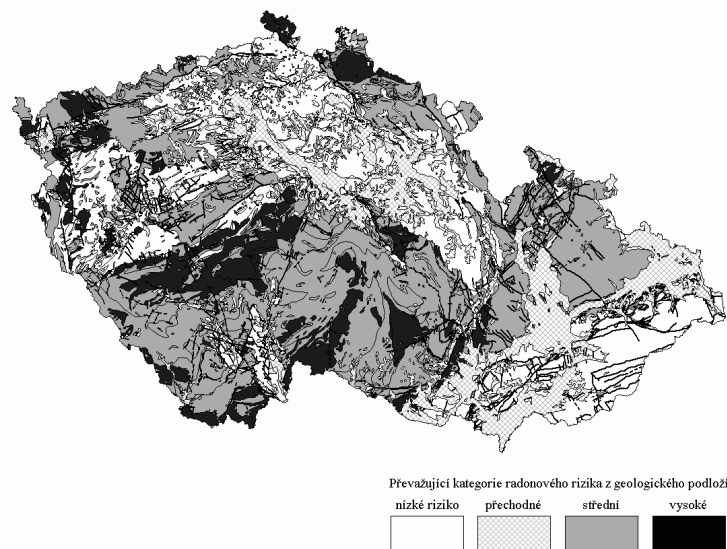
Obrázek 1 – Rozdělení dávek obyvatelstvu (zdroj: SÚRO, 2016b)

Radon je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Patří mezi tzv. vzácné neboli inertní plyny, což znamená, že chemicky není příliš reaktivní. Je velmi dobře rozpustný ve vodě. Jeho protonové číslo je 86, jeho izotopy mají nukleonová čísla v rozmezí 204 až 224. V současné době jsou známy tři přírodní izotopy a asi sedmnáct umělých, přičemž všechny jsou radioaktivní a jsou zdrojem záření alfa. (Spradley, 2016)

Z hlediska ozáření obyvatelstva je nejdůležitější izotop ^{222}Rn s poločasem přeměny 3,82 dne. Objevil ho německý chemik Friedrich E. Dorn v roce 1900. Původně ho nazýval radiovou emanací a až později byl přejmenován na radon. Již předtím v roce 1899 objevili britští fyzici Owens a Rutherford radioaktivní plyn vznikající z thoria, který nazvali thoron. V roce 1904 Friedrich Giesel a André-Louis Debierne objevili další radioaktivní plyn vycházející od actinia a nazvali ho actinon. Až v roce 1912 bylo zjištěno, že se jedná o izotopy radonu – ^{220}Rn thoron a ^{219}Rn actinon. (Spradley, 2016)

Radon ^{222}Rn vzniká v horninovém podloží radioaktivním rozpadem radia ^{226}Ra v uran-radiové rozpadové řadě. Thoron ^{220}Rn je s poločasem přeměny 55,6 sekund součástí thoriové rozpadové řady a actinon ^{219}Rn je s poločasem přeměny 3,92 sekund člen aktiniové rozpadové řady. (Navrátil et al., 2011)

Důležitým faktorem pro uvolňování radonu z podloží je koncentrace uranu v horninách, které podloží obsahuje. Koncentrace uranu v jednotlivých typech hornin je velmi rozdílná. Nejvyšší obsah uranu mají obvykle vyvěřelé, magmatické horniny (např. žuly). Geologické podloží ČR je tvořeno z více než dvou třetin metamorfovanými a magmatickými horninami, z čehož vyplývají velmi vysoké hodnoty objemové aktivity radonu, které jsou v budovách v ČR měřeny. S průměrnou hodnotou $118 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ patří ČR k zemím s nejvyšší koncentrací radonu v budovách na světě. Tím, že se liší vlastnosti geologického podloží v různých částech republiky, liší se i riziko vyplývající ze zvýšené koncentrace radonu. Česká geologická služba proto sestavila geologickou prognózní mapu radonového indexu (Obrázek 2), rozdělující území republiky z hlediska nebezpečí výskytu radonu na oblasti s nízkým, přechodným, středním a vysokým radonovým indexem. (Barnet, 2005; SÚRO, 2017a)



Obrázek 2 – Geologická prognózní mapa radonového indexu (zdroj: SÚRO, 2017b)

1.5.1 Rozpadové produkty radonu

Radon ^{222}Rn se dále rozpadá na dceřiné produkty, které mají krátký poločas přeměny a někdy bývají nazývány krátkodobé. Všechny řadíme mezi těžké kovy.

Nejvýznamnějšími jsou izotopy: polonium ^{218}Po s poločasem přeměny 3,1 minuty, olovo ^{214}Pb s poločasem přeměny 27 minut, bismut ^{214}Bi s poločasem 20 minut a polonium ^{214}Po s nejkratším poločasem přeměny a to 164 μs . Izotop polonia ^{214}Po se dále přeměňuje na olovo ^{210}Pb , které má poločas 22 let. (Navrátil et al., 2011)

1.5.2 Účinky na lidský organismus

Samotný radon ^{222}Rn je pro lidský organismus téměř neškodný. Po vdechnutí je opět vydechnut. Ostatní radonové izotopy se svými krátkými poločasy přeměny a ne tak častým výskytem také nepředstavují pro člověka velké nebezpečí. Možnou výjimkou v oblastech, kde se vyskytuje při vyšších koncentracích, může být thoron. Z hlediska ozáření jsou tedy nebezpečné hlavně rozpadové produkty radonu ^{222}Rn . Jedná se o pevné částice, které se zachytávají na prachových částech v atmosféře, se kterými jsou pak snadno vdechovány. V dýchacích cestách a plicích se poté zachytávají a ozařují je. (Spradley, 2016)

Nejvýznamnější jsou dva izotopy polonia – ^{218}Po a ^{214}Po , které emitují hustě ionizující částice α , ty poté vedou k poškození buněk a genetických informací. I jediná částice α dokáže způsobit poškození genetické informace buňky, je tedy nebezpečné vdechovat jakékoliv množství radonu. Dokonce i nízké koncentrace radonu mohou mít za následek mírné zvýšení rizika porušení genetické informace a vznik mutací, které mohou vést až k nádorovému bujení a vzniku rakoviny. (WHO, 2009)

Účinky radonu na lidský organismus byly poprvé pozorovány u horníků a na koncentrace radonu v jejich pracovním prostředí se zaměřovaly i první výzkumy. V druhé polovině 20. století se vědci zaměřili i na koncentrace radonu v domech a budovách. Na základě těchto výzkumů dospěli k názoru, že radon může být jednou z hlavních příčin vzniku karcinomu plic nejen u horníků. (WHO, 2009)

Podle epidemiologických studií Světové zdravotnické organizace je vdechování radonu druhou nejčastější příčinou rakoviny plic hned po kouření. Podíl na počtu všech karcinomů plic má asi 3 až 14 %, v závislosti na průměrné koncentraci radonu v zemi a na způsobu výpočtu. Radon zvyšuje pravděpodobnost rakoviny plic hlavně u lidí, kteří kouří nebo kouřili v minulosti. Ovšem je i hlavní příčinou rakoviny plic mezi lidmi, kteří nikdy nekouřili. Prokázání jednoznačné souvislosti mezi zvýšenými expozicemi

radonu a vznikem rakoviny plic vedlo v roce 1988 k jeho zařazení Cancer Research agentury (dále „IARC“) mezi prokázané lidské karcinogeny. (WHO, 2009)

Pokud je člověk vystaven zvýšené expozici radonu, nemá tento plyn a zvláště jeho rozpadové produkty účinky pouze na dýchací systém. Ačkoli na plíce působí nejvíce, určité dávky obdrží i ostatní orgány. Na téma, zda má radon souvislost i se zvýšeným výskytem dalších druhů rakoviny, probíhají výzkumy. (WHO, 2009)

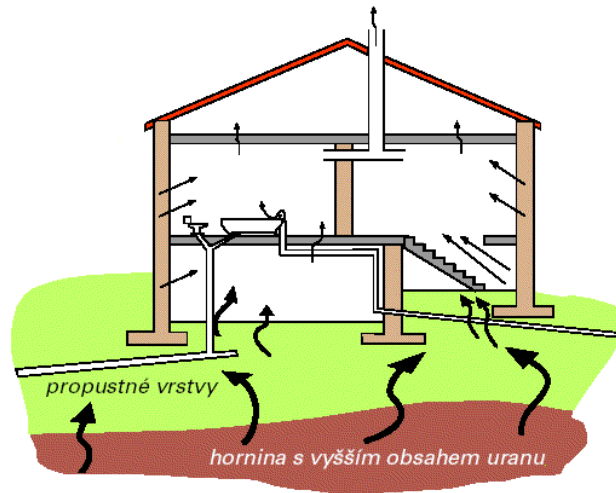
V České republice byl prokázán vztah mezi zvýšenými expozicemi radonem a leukemií u uranových horníků (Řeřicha et al, 2006). Studie, která se zabývala vlivem vysoké koncentrace radonu ve vodě na vznik rakoviny žaludku, naopak žádné zvýšené riziko neprokázala (Auvinen et al., 2005). Další studie zabývající se souvislostí mezi zvýšenými expozicemi radonem a vznikem nádorů centrálního nervového systému nedošly k jasným závěrům (Ruano-Ravina et al., 2017). Zkoumán byl také vliv radonu na výskyt kardiovaskulárních onemocnění u horníků, ale bez výsledku (WHO, 2009).

1.5.3 Vstup radonu do objektu

Radon je ve volné atmosféře ředěn vzdušnými proudy, proto je jeho koncentrace velice nízká. Ovšem v uzavřených prostorech (např. budovy) se může kumulovat a jeho koncentrace může dosahovat vysokých hodnot. V průběhu roku se tyto koncentrace v závislosti na ročním období mění. Nejvyšší hodnoty jsou pozorovány během zimy, převážně díky nedostatečnému větrání. (Zölzer a Havránková, 2016; Sivakumar, 2017)

Radon se do objektů (Obrázek 3) dostává z (Klener, 2000):

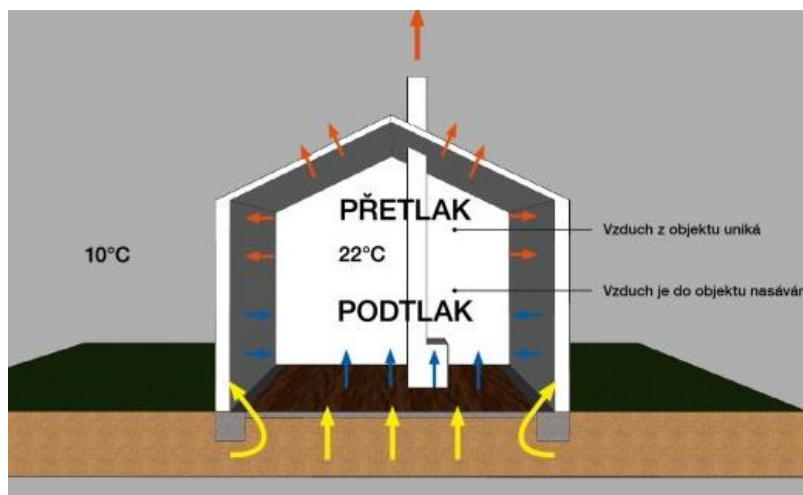
- geologického podloží,
- dodávané vody,
- stavebního materiálu,
- okolního vzduchu,
- zemního plynu dodávaného do objektu.



Obrázek 3 – Vstupní cesty radonu do objektu (zdroj: Rössler, 2012)

Největší množství radonu se do objektů dostává z geologického podloží. Radon se přeměnou z uranu dostává do mezivrstevních prostor a mikrotrhlin v horninách. Odtud radon postupuje dále do rozvětralých částí horniny směrem k povrchu. Tento proces uvolňování radonu je závislý na propustnosti půd a zemin i na tlakových a teplotních rozdílech v půdě. Pokud je půda dobře propustná (např. šterkovitá nebo písčítá), může radon snadno pronikat k povrchu a odtud do objektů. Pokud je půda naopak hlinitá až jílovitá, je radon zadržován v blízkosti svého vzniku v hlubších vrstvách půdy. Půdní profil se obvykle skládá z více vrstev s rozdílnou propustností. Pokud je svrchní část půdy nepropustná a hlubší vrstvy jsou propustnější, radon se pod ní může hromadit a migrovat směrem do stran a uvolňovat se až v místech s vyšší propustností svrchní vrstvy. Pokud základy budovy proniknou svrchní nepropustnou vrstvou a základová deska je založena v dobře propustné vrstvě hornin, může celý objekt působit jako ventil, kterým radon uniká z hlubšího podloží. (Barnet, 2005)

Do budov se radon z podloží dostává netěsnostmi ve spodních částech stavby, kdy je aktivně nasáván vytvořením komínového efektu. Díky rozdílným teplotám vně a uvnitř domu se u podlahy nejnižšího podlaží vytvoří podtlak. Vzduch z podloží je nasáván do objektu a horní částí z něj odchází (Obrázek 4). Netěsnostmi se rozumí hlavně trhliny, nedostatečně utěsněné prostupy inženýrských sítí, neutěsněné šachty a vsakovací jímky. Pro radon jsou snadno propustné prkenné podlahy na škvárovém podsypu nebo popraskané a drolící se betonové podlahy. V některých oblastech mohou být zdrojem radonu v domě také sklepy vytesané do skály. (Jiránek a Rovenská, 2010)



Obrázek 4 – Vstup radonu do objektu z geologického podloží (zdroj: Jiránek a Rovenská, 2010)

Použitý stavební materiál jako zdroj radonu je již spíše historickým problémem a týká se hlavně starších domů. V dnešní době podléhají všechny stavební materiály používané v ČR kontrole SÚJB. Dříve byly rizikem stavební materiály s vysokým obsahem radia. Ty se používaly například v Jáchymově, protože jako odpad z těžby uranových rud to byl snadno dostupný materiál. Dalšími rizikovými materiály mohou být ty, které obsahují produkty spalování uhlí (popílek a škvára), jelikož přírodní radionuklidy obsažené v uhlí zůstávají po jeho spálení právě v popílku a škváře. Příkladem použití tohoto materiálu jsou domy typu START, které se v sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století stavěly z rynchleckého škvárobetonu, nebo plynosilikátové tvárnice vyráběné z elektrárenského popílku v Poříčí u Trutnova. (Neznanal a Neznanal, 2009)

Méně významný zdroj radonu je voda přiváděná do objektu. Při používání vody dochází k uvolňování radonu do ovzduší, jeho koncentrace se tak zvyšuje většinou jen v koupelnách a kuchyních. Zdroje podzemní vody pro hromadné zásobování jsou z hlediska koncentrace radonu kontrolovány a případně upravovány. Obsah radonu si mohou nechat změřit i majitelé studen. (Jiránek a Rovenská, 2010)

Koncentrace radonu v atmosféře přímo závisí na jeho uvolňování z půdy. V místech s vyšším obsahem uranových rud v horninách bude i vyšší koncentrace radonu v ovzduší. Tato koncentrace je ale postupně snižována díky vzdušným proudům. Vzduch dodávaný do objektu je tedy zcela zanedbatelný zdroj radonu, stejně jako zemní plyn. (Navrátil et al., 2011)

1.5.4 Stanovení objemové aktivity radonu

Stanovením objemové aktivity radonu se rozumí měření koncentrace radonu. Výsledky se udávají v jednotkách $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ nebo jejích násobcích. Máme několik základních typů radonového měření – stanovení radonového indexu pozemku, měření obsahu radonu v ovzduší budov, radonová diagnostika budov a také měření obsahu radonu ve vodě a stavebních materiálech. Všechna tato měření mohou provádět pouze firmy s platným povolením SÚJB a s měřicími přístroji, které mají platné ověření od Českého metrologického úřadu. (SÚRO, 2016a)

Radonový index pozemku je základním ukazatelem míry rizika pronikání radonu z geologického podloží do stavby. Jeho stanovení je hlavním podkladem pro rozhodování o protiradonových opatřeních u nové stavby v souladu s ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží. Povinnost stanovit radonový index pozemku má podle atomového zákona každý, kdo navrhuje umístění stavby s obytnými nebo pobytovými místnostmi, nebo žádá o stavební povolení takové stavby. Radonový index pozemku se stanovuje na základě měření a posouzení dvou parametrů základových zemin – objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a plynopropustnosti zemin. Podle hodnot těchto parametrů je pak stanoven nízký, střední nebo vysoký radonový index pozemku (Tabulka 1). (SÚJB, 2013) Podrobný popis postupů při měření stanovuje doporučení SÚJB „Stanovení radonového indexu pozemku přímým měřením“ z roku 2013.

Tabulka 1 - Stanovení radonového indexu pozemku

| Radonový index pozemku | Objemová aktivita radonu v půdním vzduchu ($\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$) | | |
|-------------------------------|--|--------------------|--------------------|
| <i>Nízký</i> | $c_A < 30$ | $c_A < 20$ | $c_A < 10$ |
| <i>Střední</i> | $30 \leq c_A < 100$ | $20 \leq c_A < 70$ | $10 \leq c_A < 30$ |
| <i>Vysoký</i> | $c_A \geq 100$ | $c_A \geq 70$ | $c_A \geq 30$ |
| | <i>nízká</i> | <i>střední</i> | <i>vysoká</i> |
| | Plynopropustnost zemin | | |

(zdroj: SÚJB, 2013)

Měření obsahu radonu v ovzduší budov se provádí především v přízemních patrech nově postavených domů, aby se vyhodnotila funkčnost použitých protiradonových

opatření. Dále při koupi domu, nebo pokud je dům postaven v oblasti se zvýšeným obsahem radonu v podloží. Na základě výsledků těchto měření se mohou obyvatelé rozhodnout, v jakém prostředí chtějí žít a bydlet. (SÚJB, 2012a) Přesné postupy měření jsou popsány v doporučení SÚJB „Měření a hodnocení ozáření z přírodních zdrojů ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi“.

Radonová diagnostika budov umožňuje za použití speciálních detekčních přístrojů a zařízení detailně prozkoumat a určit zdroje radonu v domě a jejich cesty šíření. Provádí se jako podklad pro návrh protiradonových opatření, pokud je v budově zjištěna zvýšená koncentrace radonu. (SÚRO, 2016a)

Měření obsahu radonu a přírodních radionuklidů ve vodě se podrobně zabývá doporučení SÚJB „Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě dodávané k veřejnému zásobování pitnou vodou“ z roku 2012. Toto doporučení stanovuje postupy k provádění soustavného měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě dodávané k veřejnému zásobování pitnou vodou a také základní zásady postupování pro případ, že dojde k překročení směrných a mezních hodnot obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě. (SÚJB, 2012b)

Měření obsahu radonu a dalších přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech se také řídí doporučením vydaným SÚJB v roce 2009 – „Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech“. Zabývá se především postupy provádění měření a jeho vyhodnocení. Obsahuje rovněž zásady postupování při překročení směrných a mezních hodnot obsahu přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech. (SÚJB, 2009a)

1.5.5 Protiradonová opatření u staveb

Protiradonová opatření se řídí již zmíněnou ČSN 73 0601. Jejich provedení se liší u nových a stávajících staveb. Cílem těchto opatření je zajistit to, aby koncentrace radonu v budovách nepřesáhla hodnoty stanovené vyhláškou SÚJB č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Ta stanovuje směrnou hodnotu objemové aktivity radonu na $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ve vnitřním ovzduší obytné nebo pobytové místnosti.

Nové stavby

Zvolení správných protiradonových opatření závisí především na hodnotách radonového indexu pozemku a radonového indexu stavby. Dále také na umístění obytných místností, tzn., zda jsou v kontaktu s podložím nebo jsou umístěny ve vyšších patrech, na způsobu ventilace objektu a na výskytu dalších rizikových faktorů, kterými jsou uměle vytvořená vrstva o vysoké plynopropustnosti pod domem či podlahové vytápění v kontaktní konstrukci. (Jiránek, 2012)

Radonový index stavby se stanovuje na základě radonového indexu pozemku, výškové polohy základové spáry, plynopropustnosti zemin a koncentrace radonu v zeminách na úrovni základové spáry, úprav podloží majících vliv na plynopropustnost (např. hutnění, zřizování propustných šterkopískových vrstev) a přítomnosti podzemní vody. Radonový index stavby může nabývat hodnot nízký, střední a vysoký. Podle těchto hodnot se poté doporučuje provedení protiradonových opatření. (Jiránek, 2012)

Pokud má stavba nízký radonový index, nemusí mít žádná speciální protiradonová opatření, jako ochrana postačí běžná hydroizolace. U staveb se středním či vysokým radonovým indexem stavby již musí být navržena speciální protiradonová izolace provedená podle ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží. Tato izolace musí být u staveb s vysokým radonovým indexem navíc ještě doplněna dalším ochranným opatřením, zpravidla odvětráním. (Neznal a Neznal, 2009)

Stávající stavby

Cílem protiradonových opatření u stávajících staveb je snížení objemové aktivity radonu ve vnitřním ovzduší budov. Podkladem pro výběr účinných opatření jsou výsledky radiodiagnostiky budov, na jejímž základě se provádějí buď aktivní, nebo pasivní ochranná opatření, případně jejich kombinace. Pokud jsou dané směrné hodnoty objemové aktivity radonu překročeny jen mírně, lze použít jednoduchá opatření, které můžeme realizovat i svépomocí. Při vyšším překročení směrných hodnot musí být realizována složitější ochranná opatření podle norem ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží a ČSN 73 0602 Ochrana staveb proti radonu a záření gama ze stavebních materiálů. (Neznal a Neznal, 2009)

1.5.6 Radonový program

V České republice v současné době platí Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán (dále „Akční plán“) schválený usnesením vlády ČR č. 594 ze dne 4. května 2009. Tento dokument navazuje na předchozí Radonový program z období 2000 až 2009. Jeho hlavním cílem je prostřednictvím promyšlených a koordinovaných kroků přispět ke snížení počtu úmrtí na rakovinu plic v důsledku zvýšeného ozáření radonem a jeho dceřinými produkty. Cílovou skupinou Akčního plánu jsou všichni občané, především však osoby zabývající se výstavbou nových bytů na místech se zvýšeným radonovým rizikem, a obyvatelé stávajících domů, ve kterých byla naměřena zvýšená objemová aktivita radonu. (SÚJB, 2009b)

Akční plán si rovněž stanovuje strategie k dosažení hlavního cíle a zadává úkoly subjektům, kterých se radonová problematika týká. Strategie informovanosti by měla vést k zajištění základní informovanosti veřejnosti o zdravotních rizicích plynoucích z přírodního ozáření a také by měla vést k zvýšení informovanosti občanů a subjektů, kterých se Akční plán přímo týká. Strategie protiradonové prevence se zaměřuje hlavně na protiradonová opatření u nových staveb s obytnými a pobytovými místnostmi. Měla by zajistit dodržování směrných hodnot objemové aktivity radonu, aby úroveň přírodního ozáření byla tak nízká, jak jen lze rozumně s ohledem na ekonomická a společenská hlediska dosáhnout. Smyslem strategie usměrňování stávajícího ozáření z radonu je postupné snižování počtu bytů a domů, ve kterých je překročena směrná hodnota objemové aktivity radonu daná vyhláškou SÚJB č. 422/2016 Sb. Tyto objekty se pomocí vyhledávacích měření najdou a poté se zvažují možnosti provedení ozdravných protiradonových opatření. Poslední strategie se týká odborné vědecko-technické podpory realizace úkolů Akčního plánu. Na jejím základě se řeší některá odborná témata, např. vývoj nových měřících a diagnostických metod pro hodnocení úrovně přírodního ozáření, vývoj nových stavebních technologií protiradonových opatření nebo vývoj a inovace postupů a technologií pro snižování obsahu radioaktivních látek ve vodě. Tato témata pak mohou přispívat k naplňování Akčního plánu a také mohou zlepšovat úroveň poznání v daném oboru. (SÚJB, 2009b)

Plnění Akčního plánu je financováno ze státního rozpočtu. Případné dotace na ozdravná protiradonová opatření jsou poskytovány v souladu s § 103 atomového zákona a podle vyhlášky SÚJB č. 362/2016 Sb., o podmínkách poskytnutí dotace ze státního rozpočtu v některých existujících expozičních situacích. (SÚJB, 2009b)

2 Cíl práce a hypotézy

Cíl práce

Cílem předložené bakalářské práce je zjistit a posoudit informovanost obyvatelstva Plzeňského kraje o radonu, jeho výskytu v budovách, jeho vlivu na zdraví a protiradonových opatřeních.

Hypotéza

Občané Plzeňského kraje žijící v rodinných domech mají statisticky významně vyšší znalosti o radonové problematice než občané žijící v bytech.

3 Metodika

V teoretické části bakalářské práce byly po prostudování dostupné odborné literatury, legislativních norem a internetových zdrojů týkající se radonové problematiky shrnuty nejdůležitější informace k zadanému tématu.

Předmětem praktické části je kvantitativní výzkum. Informace byly získávány pomocí dotazníkového šetření. Dotazník, který je uveden v Příloze A, se skládal ze 3 otázek informativního charakteru a 11 otázek týkajících se radonové problematiky. Na otázky zaměřené na radonovou problematiku byly předloženy vždy 4 možné odpovědi, z nichž pouze jedna byla správná. Sběr dotazníků probíhal v elektronické podobě. Většina respondentů pocházela ze sociálního okolí autorky a byli vybráni tak, aby bylo pokud možno pokryto celé území Plzeňského kraje. Celkový počet respondentů byl 158. Z toho 86 obyvatel rodinných domů a 72 obyvatel bytů.

Získaná data byla zpracována pomocí programu Microsoft Office Excel do podoby grafů a tabulek. Stanovená hypotéza byla testována prostřednictvím níže uvedených metod deskriptivní a matematické statistiky.

3.1 Statistické metody

Statistika je vědní disciplína, která má široké uplatnění a je důležitá pro téměř každý druh vědeckého zkoumání. Využívá se zejména jako nástroj pro získávání informací a také pro řešení různých odborných problémů. Můžeme ji charakterizovat algoritmem jednotlivých kroků statistického šetření, které odrážejí základní metody deskriptivní a matematické statistiky. (Diggle a Chetwynd, 2011; Záškodný et al., 2016)

3.1.1 Základní metody deskriptivní statistiky

Deskriptivní (popisná) statistika popisuje a shrnuje pomocí základních matematických operací velké množství dat pomocí tabulek, grafů, funkcionálních a číselných charakteristik. Základními metodami deskriptivní statistiky jsou formulace statistického šetření, škálování, měření v deskriptivní statistice a elementární statistické zpracování. (Budíková et al., 2010)

Formulace statistického šetření

Formulace statistického šetření vymezuje základní statistické pojmy: hromadný náhodný jev, statistická jednotka, statistický znak, hodnota statistického znaku, základní statistický soubor, náhodný výběr a výběrový statistický soubor. (Záškodný, 2013)

Hromadný náhodný jev (HNJ) je provedení činností nebo procesů, jejichž výsledek nelze s jistotou předpovědět a odehrávají se v rozsáhlé množině prvků. Statistická jednotka (SJ) je nositelem stejných vlastností prvků zkoumané množiny. Statistický znak (SZ) je vymezen některou z odlišných vlastností prvků. Hodnota statistického znaku (HSZ) je způsob, jakým popisujeme zkoumaný statistický znak. Základní statistický soubor (ZSS) je tvořen všemi statistickými jednotkami. Náhodným výběrem (NV) se omezuje počet zkoumaných statistických jednotek tak, aby bylo možné získané výsledky vztáhnout na celý základní statistický soubor. Výběrový statistický soubor (VSS) je dán statistickými jednotkami, které byly vybrány ze základního statistického souboru. (Záškodný, 2013)

Škálování

Škálování je vyjádření hodnot statistického znaku prostřednictvím prvků škály. Souhrn prvků škály nazýváme škála. Podle charakteru statistického znaku rozeznáváme škály nominální, ordinální, kvantitativní metrické a absolutní metrické. (Záškodný, 2013)

Měření

Měření je proces, při kterém je každé statistické jednotce výběrového statistického souboru přiřazován jeden z k prvků škály x_1, x_2, \dots, x_k . Tímto procesem zjistíme, že prvek škály x_i byl naměřen n_i krát. Hodnoty označené jako n_i jsou absolutní četnosti, součet těchto hodnot se rovná rozsahu n výběrového statistického souboru. Možné výsledky x_i je možné hodnotit také podle toho, jak velkou mají pravděpodobnost, že při měření nastanou. Pravděpodobnost $p(x_i)$ výsledku x_i je dána relativní četností n_i/n . Součet všech relativních četností musí být roven 1. Výsledek měření je také kumulativní četnost $\sum n_i/n$, která udává pravděpodobnost, že bude výsledek měření menší nebo rovný výsledku x_i . (Záškodný et al., 2016)

Elementární statistické zpracování

Elementárním statistickým zpracováním jsou výsledky měření graficky uspořádány a parametrizovány vhodnými empirickými parametry. Výsledkem je empirický obraz

zkoumaného výběrového statistického souboru. Závěrem elementárního statistického zpracování je tabulka, empirické rozdělení (polygony) a empirické parametry. (Záškodný et al., 2016)

Tabulka je formou uspořádání výsledků měření a obsahuje osm sloupců. První čtyři sloupce slouží pro zpřehlednění výsledků měření a pro znázornění empirického rozdělení. Další čtyři sloupce jsou pomocné a slouží k snadnému a rychlému výpočtu empirických parametrů. Tabulku uzavírají součty údajů v jednotlivých sloupcích. (Záškodný et al., 2016)

Empirická rozdělení četností dělíme na dva základní druhy. První druh přiřazuje prvkům škály x_i odpovídající absolutní n_i nebo relativní četnosti n_i/n . Druhý druh prvkům škály x_i přiřazuje odpovídající kumulativní četnosti $\Sigma n_i/n$. Grafickým vyjádřením empirických četností je polygon, který vznikne použitím souřadnicového systému, kdy na vodorovnou osu jsou nanášeny prvky škály x_i a na svislou osu odpovídající četnosti. (Záškodný et al., 2016)

Empirické parametry vystihují povahu zkoumaného statistického souboru. Rozdělujeme je podle toho, který rys zkoumaného statistického souboru vyjadřují, na parametr polohy, parametr proměnlivosti (variability), parametr šikmosti a parametr špičatosti. Dále můžeme empirické parametry dělit podle způsobu jejich výpočtu na momentové a kvantilové parametry. Momentové parametry se dále rozdělují na obecné momenty, centrální momenty a normované momenty. Obecný moment 1. řádu charakterizuje aritmetický průměr, díky centrálnímu momentu 2. řádu lze popsat empirický rozptyl a normovaný moment 3. a 4. řádu charakterizuje parametry šikmosti a špičatosti. (Záškodný et al., 2016)

3.1.2 Základní metody matematické statistiky

Z metod matematické statistiky bylo v práci využito neparametrické a parametrické testování.

Neparametrické testování

Neparametrické testování nebo také testování neparametrických hypotéz slouží k přiřazení teoretického rozdělení empirickému. Jeho význam spočívá v tom, že je vždy výhodné empirické rozdělení nahradit rozdělením teoretickým, které nám

umožňuje získat díky jednoduchému matematickému aparátu informace jinak nedostupné. Součástí této statistické metody je intervalové rozdělení četností, teoretická rozdělení a aparát neparametrického testování. (Záškodný et al., 2016)

Parametrické testování

Parametrické testování srovnává teoretické a empirické parametry statistického šetření s jinými dosaženými výsledky (Záškodný et al., 2016). Pro srovnání výsledků mezi obyvateli bytů a rodinných domů byl použit dvojitý t-test, neboli testování hypotézy o rovnosti středních hodnot při neznámých rozptylech.

$$t_{exp} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{x1}^2 + (n_2 - 1)S_{x2}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

$$W = (-\infty; -t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2)) \cup (t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2); \infty)$$

4 Výsledky

Výsledky bakalářské práce jsou znázorněny pomocí grafů vytvořených v programu Microsoft Office Excel.

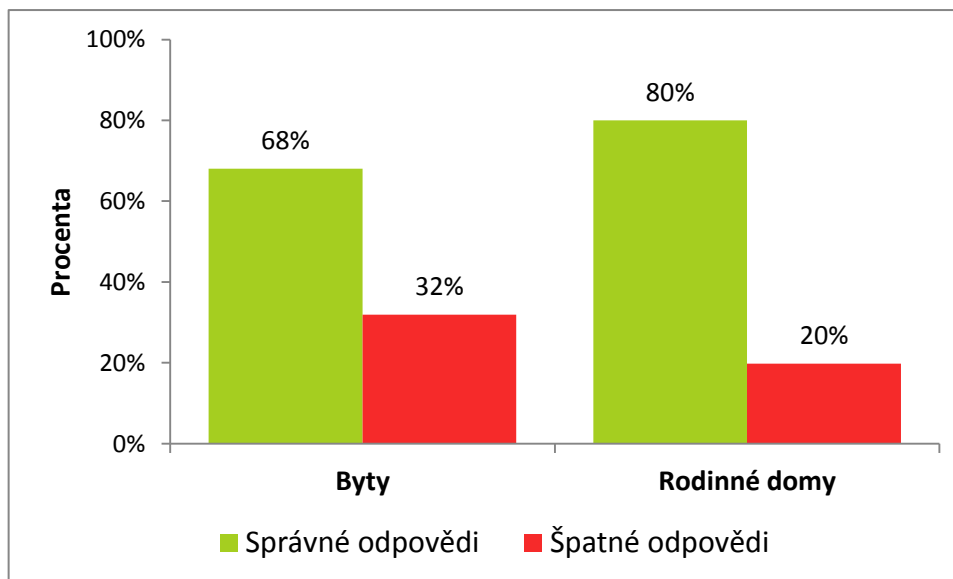
4.1 Výsledky dotazníkového šetření

V této kapitole jsou uvedeny výsledky odpovědí jednotlivých otázek dotazníkového šetření, které jsou znázorněny v grafech na obrázcích 5 až 15.

Otázka číslo 1

Radon je:

- a) nebezpečná průmyslová chemikálie
- b) přírodní radioaktivní plyn**
- c) radioaktivní látka unikající z jaderných elektráren
- d) lék využívající se při ozařování



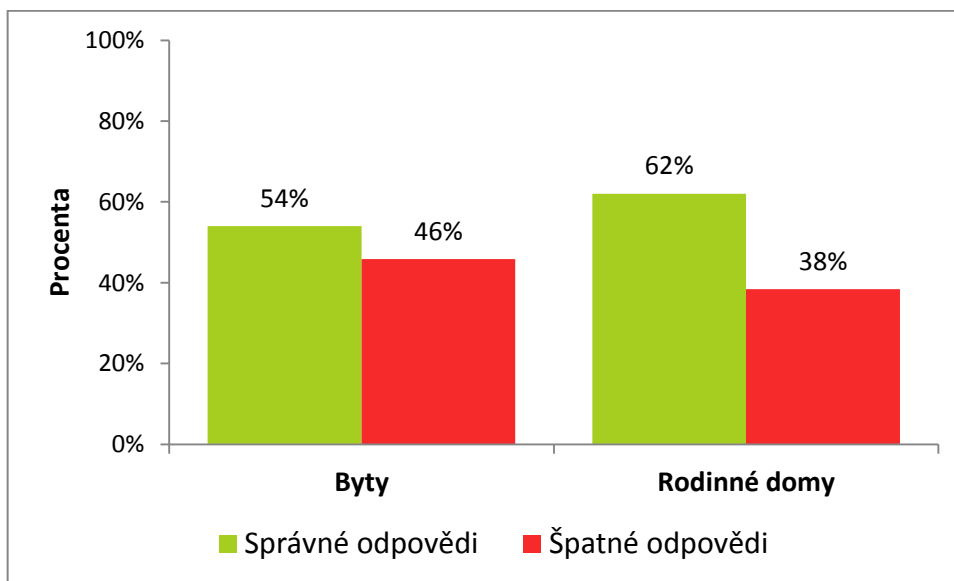
Obrázek 5 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 1 (zdroj: vlastní výzkum)

Na otázku č. 1 odpovědělo správně 68 % respondentů žijících v bytech a 80 % respondentů žijících v rodinných domech. Špatně odpovědělo 32 % respondentů z bytů a 20 % respondentů z rodinných domů.

Otázka číslo 2

Myslíte, že radon je pro člověka nebezpečný?

- a) *ano, je nebezpečný*
- b) je nebezpečný jen v kombinaci s dalšími látkami
- c) je nebezpečný jen ve velmi vysokých koncentracích
- d) není nebezpečný



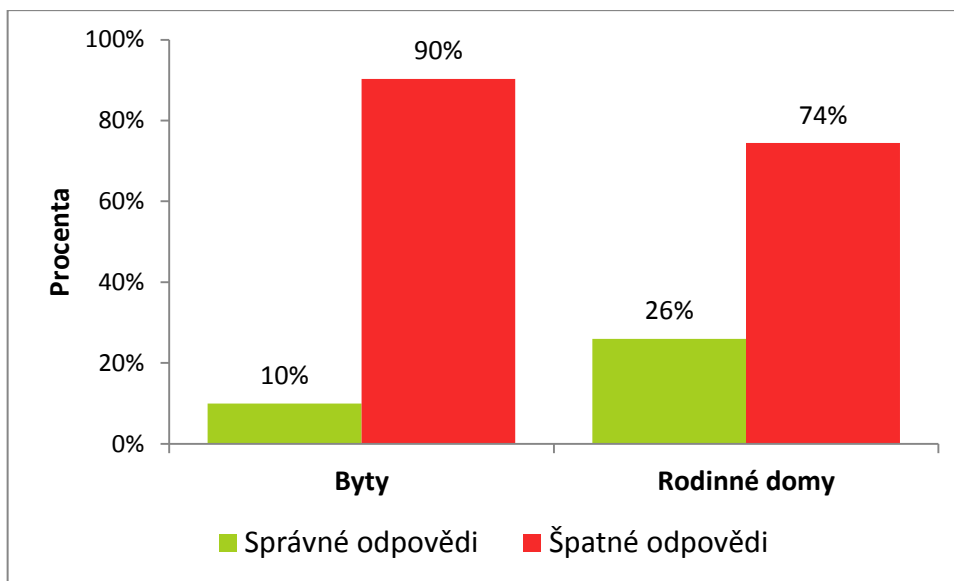
Obrázek 6 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 2 (zdroj: vlastní výzkum)

Na otázku č. 2 týkající se nebezpečnosti radonu správně odpovědělo 54 % respondentů z bytů a 62 % respondentů z rodinných domů. Špatnou odpověď zvolilo 46 % respondentů z bytů a 38 % respondentů z rodinných domů.

Otázka číslo 3

Co si myslíte o radiační zátěži radonu ve srovnání s radiační zátěží jaderné elektrárny?

- a) radiační zátěž z radonu je několikanásobně menší
- b) asi tak stejná
- c) radiační zátěž z radonu je asi o něco větší
- d) radiační zátěž z radonu je několikanásobně větší**



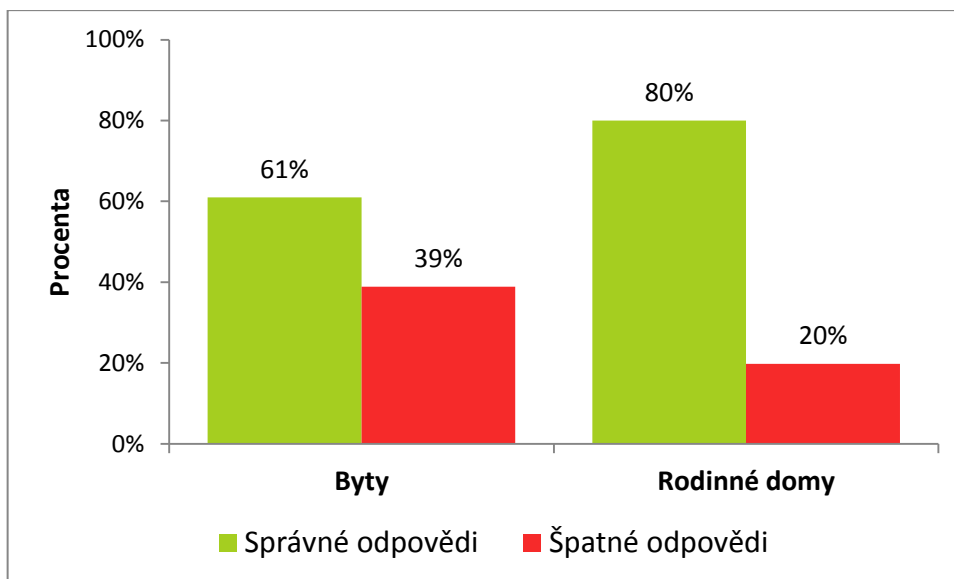
Obrázek 7 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 3 (zdroj: vlastní výzkum)

U otázky č. 3 měli respondenti srovnat radiační zátěž radonu a jaderné elektrárny. Správnou odpověď zvolilo 10 % respondentů žijících v bytech a 26 % respondentů žijících v rodinných domech. Špatně odpovědělo 90 % respondentů z bytů a 74 % respondentů z rodinných domů.

Otázka číslo 4

Jaký největší vliv má radon na lidské zdraví?

- a) způsobuje onemocnění kůže
- b) může zvyšovat pravděpodobnost vzniku rakoviny plic**
- c) nemá žádný velký vliv na lidské zdraví
- d) způsobuje kardiovaskulární onemocnění



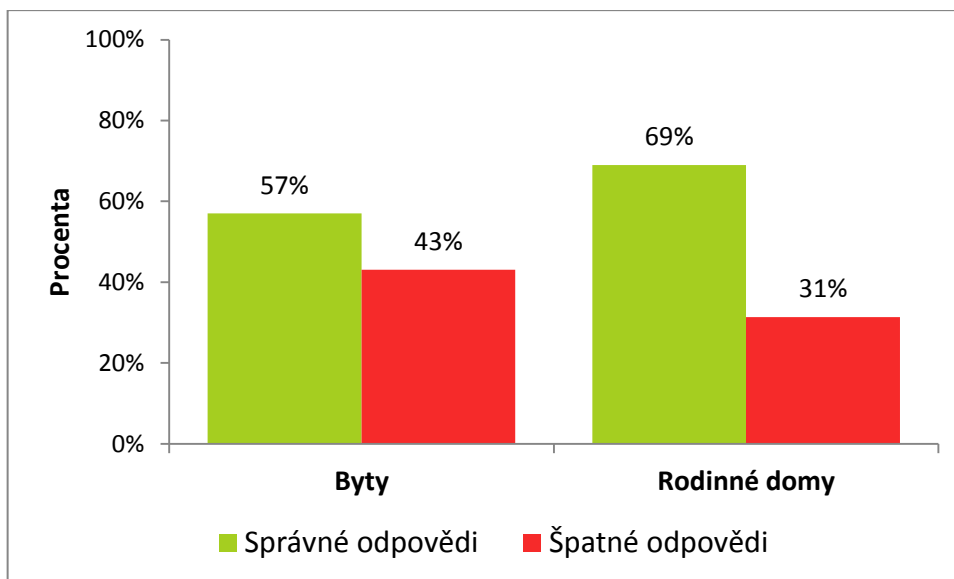
Obrázek 8 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 4 (zdroj: vlastní výzkum)

Otázka č. 4 zkoumala znalosti respondentů v oblasti vlivu radonu na lidské zdraví. Na tuto otázku správně odpovědělo 61 % respondentů žijících v bytech a 80 % respondentů žijících v rodinných domech. 39 % dotazovaných obyvatel bytů a 20 % dotazovaných obyvatel domů odpovědělo špatně.

Otázka číslo 5

Radon se do ovzduší nejvíce uvolňuje:

- a) z *geologického podloží/ ze země*
- b) z vody
- c) z jaderných elektráren
- d) ze staveb



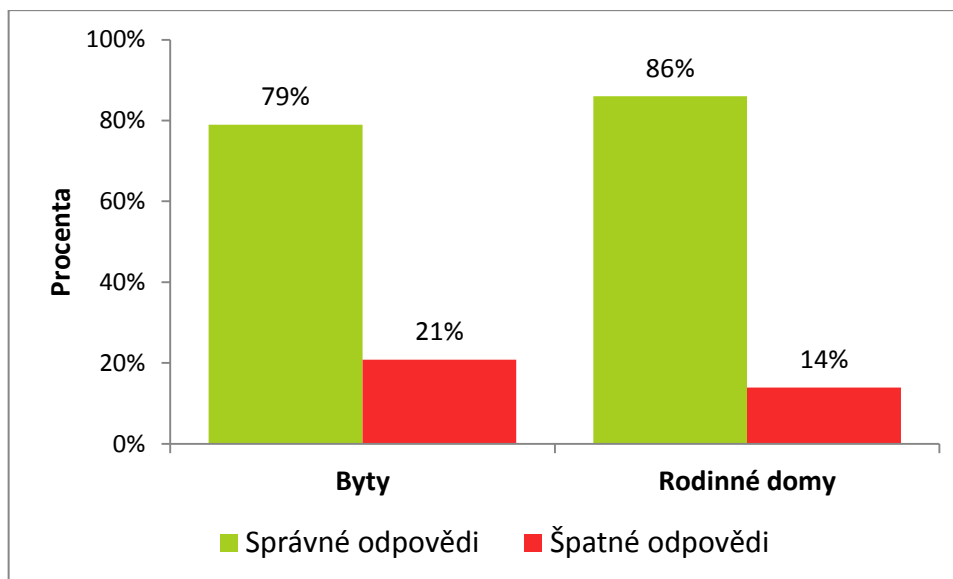
Obrázek 9 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 5 (zdroj: vlastní výzkum)

Na otázku, která se týkala uvolňování radonu do ovzduší, odpovědělo správně 57 % dotazovaných obyvatel bytů a 69 % dotazovaných obyvatel rodinných domů. Špatnou odpověď zvolilo 43 % respondentů z bytů a 31 % respondentů z rodinných domů.

Otázka číslo 6

Ke zvýšené koncentraci radonu v budovách nejvíce přispívají:

- a) netěsnosti v okenních rámech
- b) netěsnosti a trhliny ve spodních částech stavby**
- c) netěsnosti a trhliny v obvodovém zdivu
- d) netěsnosti ve stropních konstrukcích



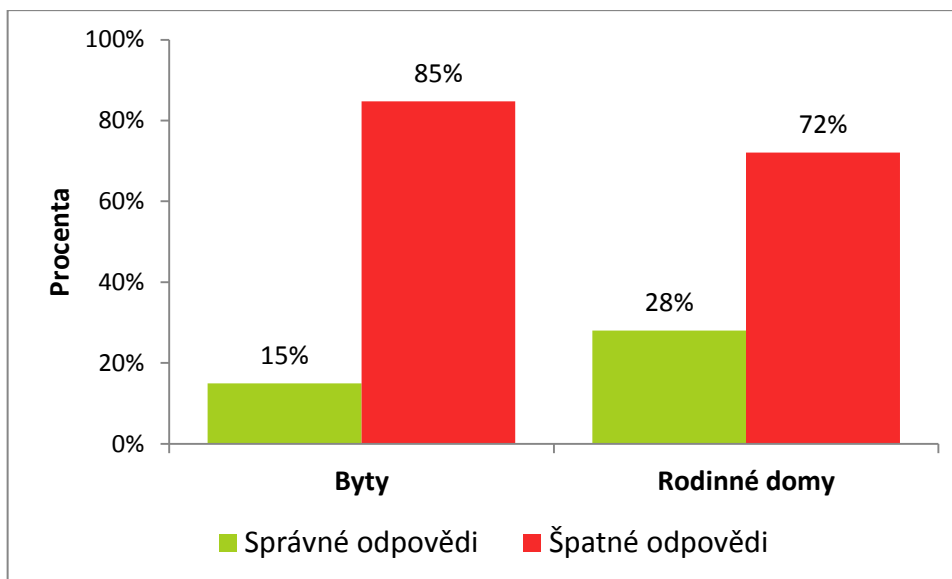
Obrázek 10 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 6 (zdroj: vlastní výzkum)

Správnou odpověď u otázky č. 6 zabývající se pronikáním radonu do budov zvolilo 79 % respondentů žijících v bytech a 86 % respondentů žijících v rodinných domech. Špatnou odpověď zvolilo 21 % respondentů z bytů a 14 % respondentů z rodinných domů.

Otázka číslo 7

Jak je na tom podle Vás ČR s koncentrací radonu?

- a) v ČR se radon vůbec nevyskytuje
- b) v ČR je koncentrace jedna z nejmenších na světě
- c) v ČR je koncentrace jedna z největších na světě**
- d) v ČR se koncentrace radonu neustále zvyšuje



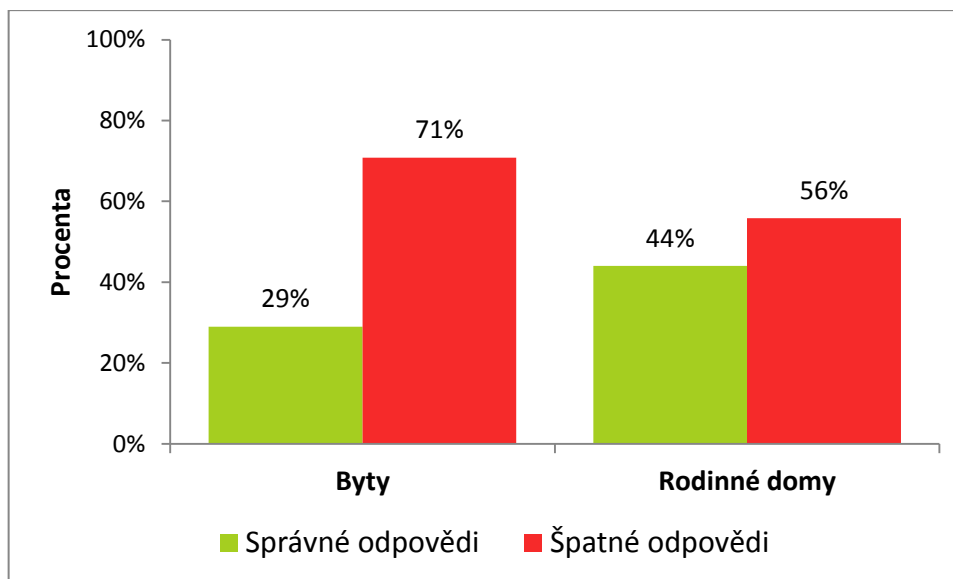
Obrázek 11 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 7 (zdroj: vlastní výzkum)

15 % dotazovaných obyvatel bytů a 28 % dotazovaných obyvatel rodinných domů odpovědělo správně na otázku č. 7 týkající se koncentrace radonu v České republice. Špatně odpovědělo 85 % respondentů z bytů a 72 % respondentů z rodinných domů.

Otázka číslo 8

Měření koncentrace radonu:

- a) provádí se pouze u nově postavených staveb
- b) provádí se pouze u stávajících staveb
- c) provádí se pouze u průmyslových objektů
- d) *provádí pouze firmy se speciálním povolením***



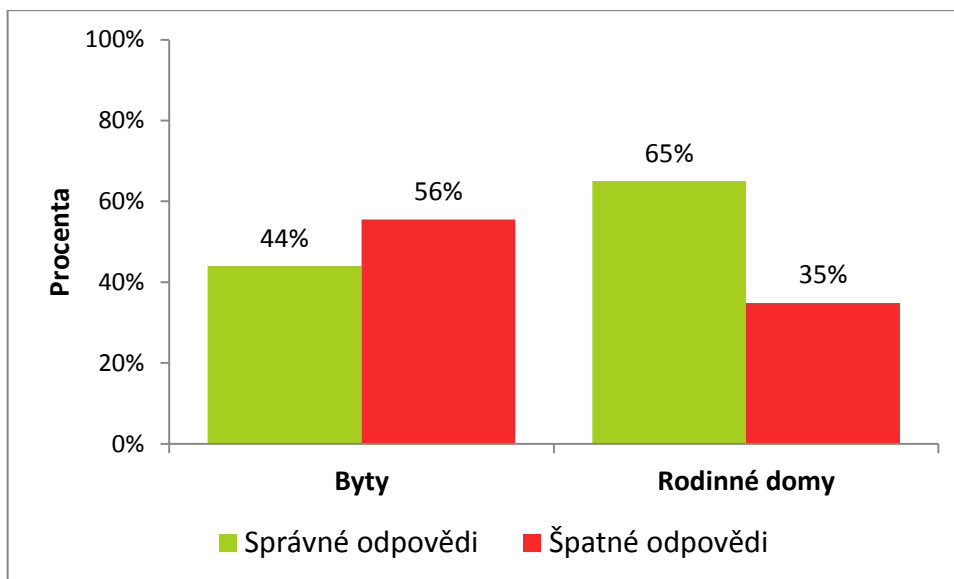
Obrázek 12 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 8 (zdroj: vlastní výzkum)

Otázka č. 8 zjišťovala, zda dotazovaní vědí, kdo může provádět měření koncentrace radonu. Správnou odpověď u této otázky zvolilo 29 % respondentů žijících v bytech a 44 % respondentů žijících v rodinných domech. Naopak špatnou odpověď zvolilo 71 % dotazovaných obyvatel bytů a 56 % dotazovaných obyvatel rodinných domů.

Otázka číslo 9

Protiradonová opatření:

- a) provádí se pouze u nově postavených staveb
- b) provádí se pouze u stávajících staveb
- c) **provádí se u nově postavených i stávajících staveb**
- d) neprovádějí se



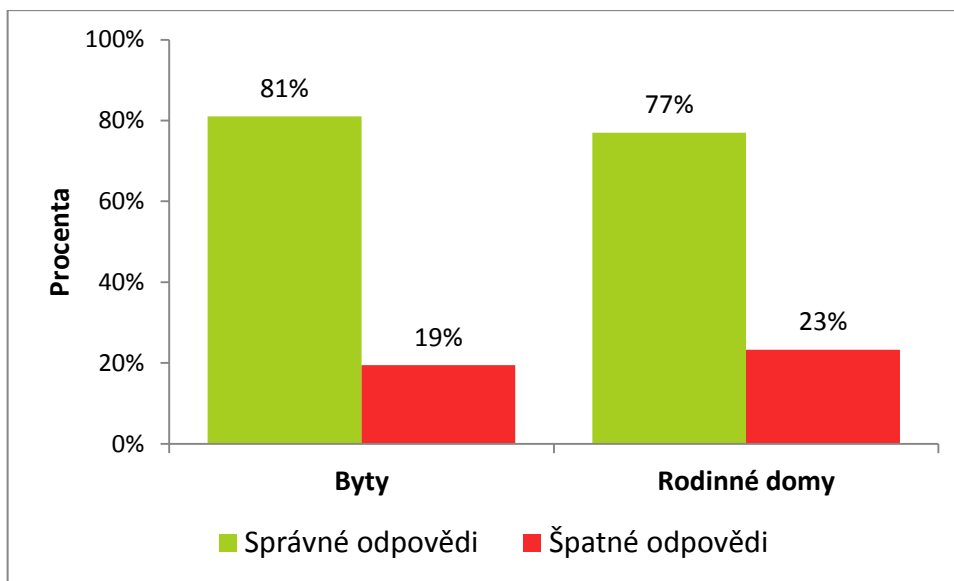
Obrázek 13 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 9 (zdroj: vlastní výzkum)

Na otázku zabývající se protiradonovými opatřeními odpovědělo správně 44 % respondentů z bytů a 65 % respondentů z domů. Špatnou odpověď zvolilo 56 % respondentů z bytů a 35 % respondentů z rodinných domů.

Otázka číslo 10

Je podle Vás nutné zabývat se radonovou problematikou před zahájením stavby domu?

- a) *ano*
- b) ano, ale pouze v některých krajích ČR
- c) ano, ale pouze u dřevostaveb
- d) ne



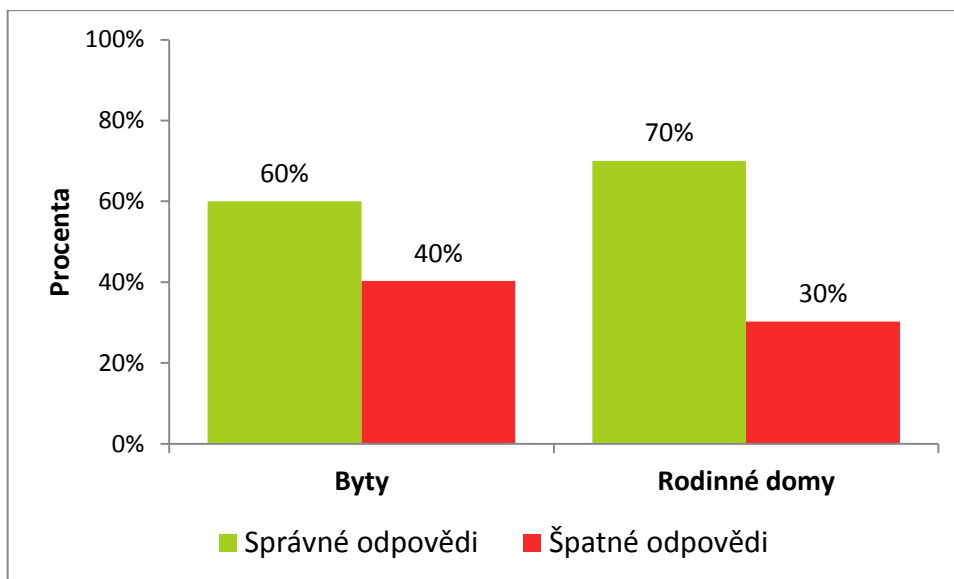
Obrázek 14 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 10 (zdroj: vlastní výzkum)

U otázky týkající se radonové problematiky před stavbou domu zvolilo správnou odpověď 81 % dotazovaných obyvatel bytů a 77 % dotazovaných obyvatel rodinných domů. Špatnou odpověď zvolilo 19 % obyvatel bytů a 23 % obyvatel rodinných domů.

Otázka číslo 11

Kdo se podle Vás zabývá radonovou problematikou?

- a) pouze soukromé firmy
- b) krajské hygienické stanice
- c) *Státní úřad pro jadernou bezpečnost/Státní ústav radiační ochrany*
- d) odbory sociální a zdravotní městských úřadů



Obrázek 15 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 11 (zdroj: vlastní výzkum)

Na otázku, kde měli respondenti odpovědět, kdo se zabývá radonovou problematikou, odpovědělo správně 60 % respondentů žijících v bytech a 70 % respondentů žijících v rodinných domech. Špatně odpovědělo 40 % respondentů z bytů a 30 % respondentů z domů.

4.2 Statistické šetření u obyvatel bytů

V této části jsou uvedeny výsledky statistického šetření u obyvatel bytů.

4.2.1 Formulace statistického šetření

HNJ – informovanost o radonové problematice u obyvatel bytů v Plzeňském kraji.

SJ – obyvatel bytu.

SZ – informovanost o radonové problematice u obyvatel.

HSZ – 0 až 11 správných odpovědí.

ZSS – 72 obyvatel bytů.

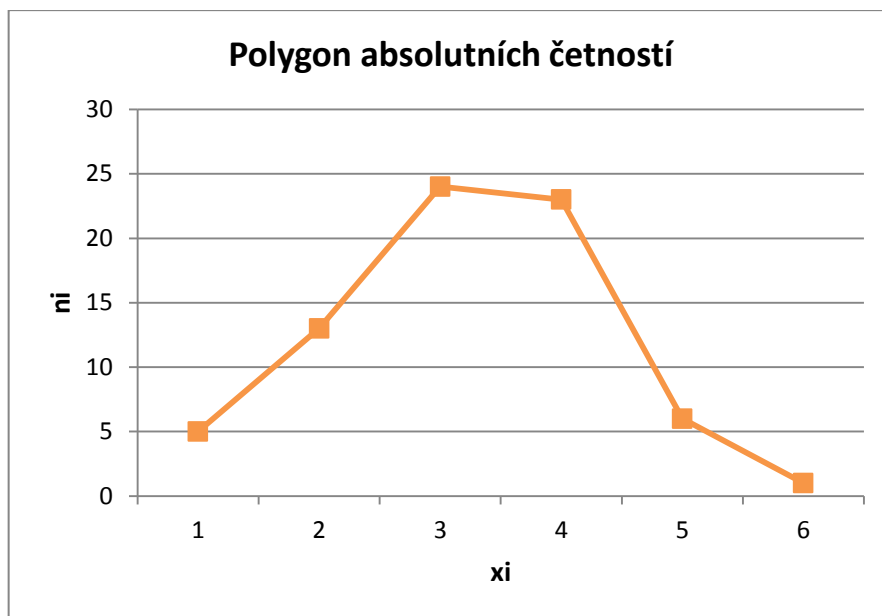
4.2.2 Elementární statistické zpracování

Výsledky jsou prostřednictvím elementárního statistického zpracování uspořádány v tabulce 2 a 3. Graficky jsou znázorněny na grafech na obrázcích 16 a 17.

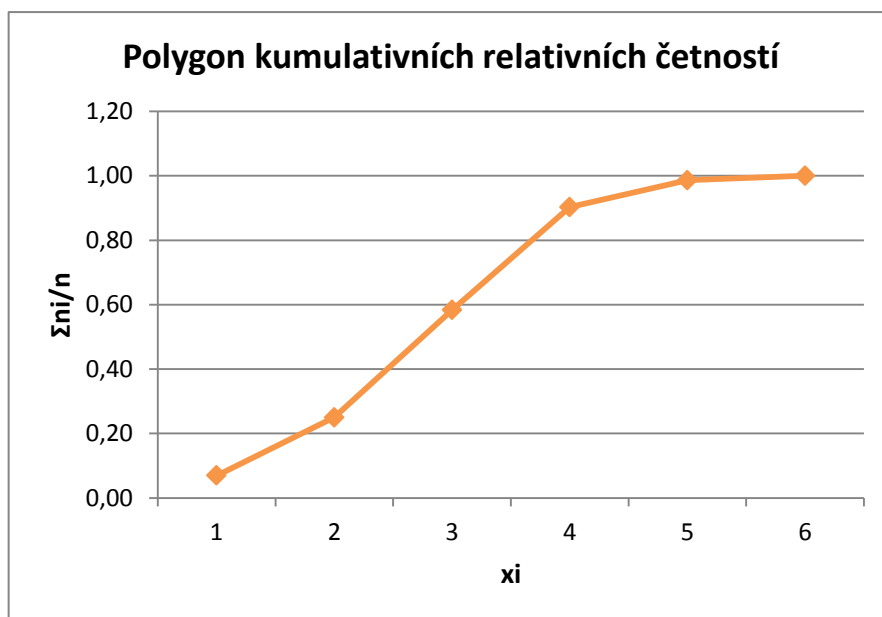
Tabulka 2 – Výsledky měření

| x_i | střed intervalu | n_i | n_i/n | $\Sigma n_i/n$ | x_i/n_i | $n_i x_i^2$ | $n_i x_i^3$ | $n_i x_i^4$ |
|----------------|-----------------|-------|---------|----------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| $(-\infty; 2)$ | 2 | 5 | 0,07 | 0,07 | 10 | 20 | 40 | 80 |
| $(3;4)$ | 3,5 | 13 | 0,18 | 0,25 | 46 | 159 | 557 | 1951 |
| $(5;6)$ | 5,5 | 24 | 0,33 | 0,58 | 132 | 726 | 3993 | 21962 |
| $(7;8)$ | 7,5 | 23 | 0,32 | 0,90 | 173 | 1294 | 9703 | 72773 |
| $(9;10)$ | 9,5 | 6 | 0,08 | 0,99 | 57 | 542 | 5144 | 48870 |
| $(11;+\infty)$ | 11 | 1 | 0,01 | 1,00 | 11 | 121 | 1331 | 14641 |
| Σ | | 72 | 1 | | 428 | 2862 | 20769 | 160277 |

(zdroj: vlastní výzkum)



Obrázek 16 – Empirické rozdělení absolutních četností (zdroj: vlastní výzkum)



Obrázek 17 – Empirické rozdělení kumulativních relativních četností (zdroj: vlastní výzkum)

Tabulka 3 – Empirické parametry

| Empirický parametr | Výsledek |
|--------------------|----------|
| O_1 | 5,94 |
| O_2 | 39,74 |
| O_3 | 288,45 |
| O_4 | 2226,07 |
| C_2 | 4,41 |
| C_3 | -0,19 |
| C_4 | 47,53 |
| N_3 | -0,02 |
| N_4 | 2,45 |
| S_x | 2,10 |
| exces | -0,55 |

(zdroj: vlastní výzkum)

4.2.3 Neparametrické testování

Intervalové rozdělení četností, přechod k normovanému normálnímu rozdělení jsou znázorněny v tabulce 4, hodnoty jednotlivých ploch v tabulce 5 a úprava počtu intervalů v tabulce 6.

Tabulka 4 – Intervalové rozdělení četností výsledků u obyvatel bytů

| x_i | střed intervalu | horní mez intervalu | n_i | n_i/n | $\Sigma n_i/n$ | x_i/n_i | $n_i x_i^2$ | $n_i x_i^3$ | $n_i x_i^4$ |
|----------------|-----------------|---------------------|-------|---------|----------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| $(-\infty; 2)$ | 2 | 2 | 5 | 0,07 | 0,07 | 10 | 20 | 40 | 80 |
| (3;4) | 3,5 | 4 | 13 | 0,18 | 0,25 | 46 | 159 | 557 | 1951 |
| (5;6) | 5,5 | 6 | 24 | 0,33 | 0,58 | 132 | 726 | 3993 | 21962 |
| (7;8) | 7,5 | 8 | 23 | 0,32 | 0,90 | 173 | 1294 | 9703 | 72773 |
| (9;10) | 9,5 | 10 | 6 | 0,08 | 0,99 | 57 | 542 | 5144 | 48870 |
| (11;+∞) | 11 | ∞ | 1 | 0,01 | 1,00 | 11 | 121 | 1331 | 14641 |
| Σ | | | 72 | 1 | | 428 | 2862 | 20769 | 160277 |

(zdroj: vlastní výzkum)

▪ **Výpočet jednotlivých integrálů – jednotlivých ploch**

a) Zavedení proměnné u

$$u_i = \frac{x_i - O_1}{S_x}$$

$$u_1 = -1,88$$

$$u_2 = -0,93$$

$$u_3 = 0,03$$

$$u_4 = 0,98$$

$$u_5 = 1,93$$

$$u_6 = \infty$$

b) Primitivní funkce $F(u_i)$

$$F(u_1 = -1,88) = 0,03$$

$$F(u_2 = -0,93) = 0,18$$

$$F(u_3 = 0,03) = 0,53$$

$$F(u_4 = 0,98) = 0,86$$

$$F(u_5 = 1,93) = 0,98$$

$$F(u_6 = \infty) = 1$$

c) Hodnoty jednotlivých ploch

Tabulka 5 – Plochy jednotlivých integrálů pro testování informovanosti u obyvatel bytů

| x_i | horní mez intervalu | n_i | u_i | $F(u_i)$ | p_i | np_i |
|-----------------|---------------------|-------|-------|----------|-------|--------|
| (-∞; 2) | 2 | 5 | -1,88 | 0,03 | 0,03 | 2,16 |
| (3;4) | 4 | 13 | -0,93 | 0,18 | 0,15 | 10,80 |
| (5;6) | 6 | 24 | 0,03 | 0,53 | 0,35 | 25,20 |
| (7;8) | 8 | 23 | 0,98 | 0,86 | 0,33 | 23,76 |
| (9;10) | 10 | 6 | 1,93 | 0,98 | 0,12 | 8,64 |
| (11;+ ∞) | ∞ | 1 | ∞ | 1,00 | 0,02 | 1,44 |

(zdroj: vlastní výzkum)

▪ **Aplikace Pearsnova χ^2 testu**

Pro použití testu normality musí být v každém intervalu minimálně 5 výsledků měření. Proto budou v následující části sousední intervaly sdruženy tak, aby byla tato podmínka splněna.

Tabulka 6 – Úprava počtu intervalů, výsledky testu dobré shody

| x_i | n_i | np_i | $\frac{n_i - np_i^2}{np_i}$ |
|----------------------------------|-------|--------|-----------------------------|
| $(-\infty; 2)$ | 5 | 2,16 | 3,734 |
| (3;4) | 13 | 10,8 | 0,448 |
| (5;6) | 24 | 25,2 | 0,057 |
| (7;8) | 23 | 23,76 | 0,024 |
| (9; $+\infty$) | 7 | 10,08 | 0,941 |

(zdroj: vlastní výzkum)

a) Výpočet χ_{exp}^2

$$\chi_{\text{exp}}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{n_i - np_i^2}{np_i} = 5,20$$

b) Výpočet χ_{teor}^2 ($\alpha = 0,05$)

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_{v^2} = k - r - 1$$

v = počet stupňů volnosti

k = počet prvků škály

r = počet teoretických parametrů zkoumaného teoretického rozdělení

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_{v^2} = \chi_{k-r-1}^2 = \chi_{5-2-1}^2 = 5,99$$

c) Výsledek aplikace Pearsnova χ^2 testu

$$\chi_{\text{exp}}^2 < \chi_{\text{teor}}^2$$

Z výsledku Pearsnova χ^2 testu vyplývá, že na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ lze empirické rozdělení četností nahradit normálním rozdělením.

4.3 Statistické šetření u obyvatel rodinných domů

V této části jsou uvedeny výsledky statistického šetření u obyvatel rodinných domů.

4.3.1 Formulace statistického šetření

HNJ – informovanost o radonové problematice u obyvatel rodinných domů v Plzeňském kraji.

SJ – obyvatel rodinného domu.

SZ – informovanost o radonové problematice u obyvatel

HSZ – 0 až 11 správných odpovědí.

ZSS – 86 obyvatel rodinných domů.

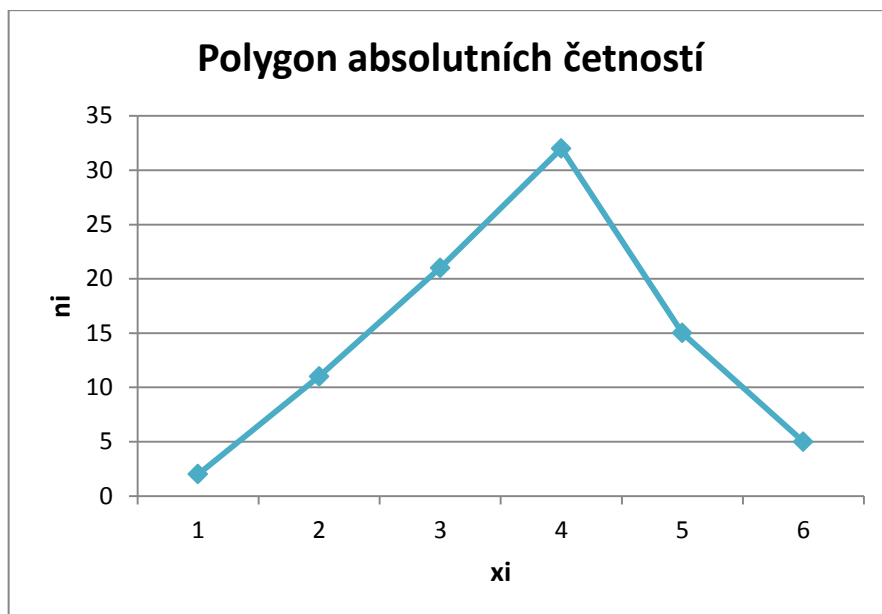
4.3.2 Elementární statistické zpracování

Výsledky jsou prostřednictvím elementárního statistického zpracování uspořádány v tabulce 7 a 8. Graficky jsou znázorněny na grafech na obrázcích 18 a 19.

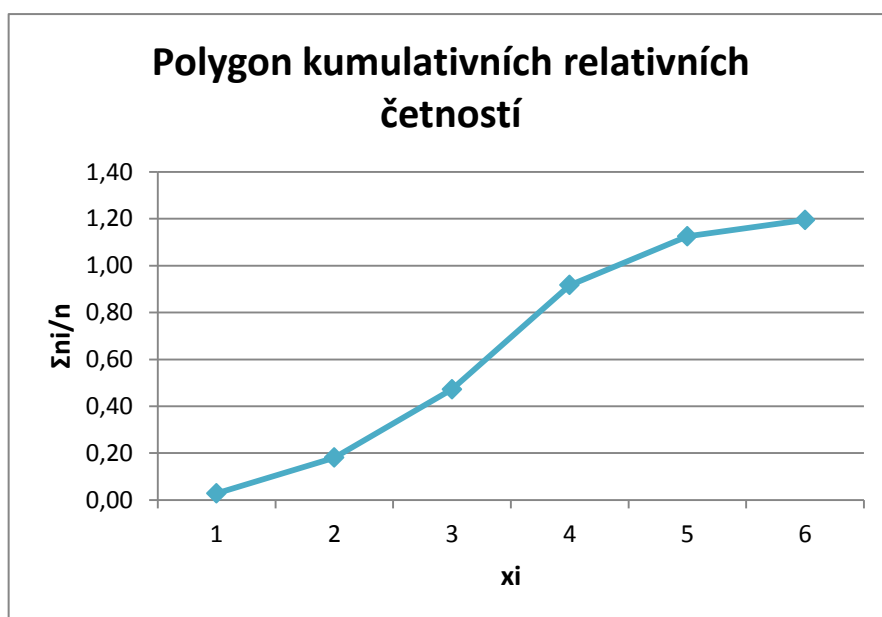
Tabulka 7 – Výsledky měření

| x_i | střed intervalu | n_i | n_i/n | $\Sigma n_i/n$ | x_i/n_i | $n_i x_i^2$ | $n_i x_i^3$ | $n_i x_i^4$ |
|----------------|-----------------|-------|---------|----------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| $(-\infty; 2)$ | 2 | 2 | 0,03 | 0,03 | 4 | 8 | 16 | 32 |
| (3;4) | 3,5 | 11 | 0,15 | 0,18 | 39 | 135 | 472 | 1651 |
| (5;6) | 5,5 | 21 | 0,29 | 0,47 | 116 | 635 | 3494 | 19216 |
| (7;8) | 7,5 | 32 | 0,44 | 0,92 | 240 | 1800 | 13500 | 101250 |
| (9;10) | 9,5 | 15 | 0,21 | 1,13 | 142,5 | 1354 | 12861 | 122176 |
| (11;+∞) | 11 | 5 | 0,07 | 1,19 | 55 | 605 | 6655 | 73205 |
| Σ | | 86 | 1 | | 596 | 4537 | 36997 | 317530 |

(zdroj: vlastní výzkum)



Obrázek 18 – Empirické rozdělení absolutních četností (zdroj: vlastní výzkum)



Obrázek 19 – Empirické rozdělení kumulativních relativních četností (zdroj: vlastní výzkum)

Tabulka 8 – Empirické parametry

| Empirický parametr | Výsledek |
|--------------------|----------|
| O_1 | 6,92 |
| O_2 | 52,75 |
| O_3 | 430,20 |
| O_4 | 3692,21 |
| C_2 | 4,81 |
| C_3 | -1,63 |
| C_4 | 56,03 |
| N_3 | -0,15 |
| N_4 | 2,43 |
| S_x | 2,19 |
| exces | -0,57 |

(zdroj: vlastní výzkum)

4.3.3 Neparametrické testování

Intervalové rozdělení četností, přechod k normovanému normálnímu rozdělení jsou znázorněny v tabulce 9, hodnoty jednotlivých ploch v tabulce 10 a úprava počtu intervalů v tabulce 11.

Tabulka 9 – Intervalové rozdělení četností výsledků u obyvatel rodinných domů

| x_i | střed intervalu | horní mez intervalu | n_i | n_i/n | $\Sigma n_i/n$ | x_i/n_i | $n_i x_i^2$ | $n_i x_i^3$ | $n_i x_i^4$ |
|----------------|-----------------|---------------------|-------|---------|----------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| $(-\infty; 2)$ | 2 | 2 | 2 | 0,03 | 0,03 | 4 | 8 | 16 | 32 |
| (3;4) | 3,5 | 4 | 11 | 0,15 | 0,18 | 39 | 135 | 472 | 1651 |
| (5;6) | 5,5 | 6 | 21 | 0,29 | 0,47 | 116 | 635 | 3494 | 19216 |
| (7;8) | 7,5 | 8 | 32 | 0,44 | 0,92 | 240 | 1800 | 13500 | 101250 |
| (9;10) | 9,5 | 10 | 15 | 0,21 | 1,13 | 142,5 | 1354 | 12861 | 122176 |
| (11;+∞) | 11 | ∞ | 5 | 0,07 | 1,19 | 55 | 605 | 6655 | 73205 |
| Σ | | | 86 | 1 | | 596 | 4537 | 36997 | 317530 |

(zdroj: vlastní výzkum)

▪ **Výpočet jednotlivých integrálů – jednotlivých ploch**

a) Zavedení proměnné u

$$u_i = \frac{x_i - O_1}{S_x}$$

$$u_1 = -2,25$$

$$u_2 = -1,33$$

$$u_3 = -0,42$$

$$u_4 = 0,49$$

$$u_5 = 1,40$$

$$u_6 = \infty$$

b) Primitivní funkce $F(u_i)$

$$F(u_1 = -2,25) = 0,02$$

$$F(u_2 = -1,33) = 0,12$$

$$F(u_3 = -0,42) = 0,38$$

$$F(u_4 = 0,49) = 0,71$$

$$F(u_5 = 1,40) = 0,92$$

$$F(u_6 = \infty) = 1$$

c) Hodnoty jednotlivých ploch

Tabulka 10 – Plochy jednotlivých integrálů pro testování informovanosti u obyvatel rodinných domů

| x_i | horní mez intervalu | n_i | u_i | $F(u_i)$ | p_i | np_i |
|----------------|---------------------|-------|-------|----------|-------|--------|
| (-∞; 2) | 2 | 2 | -2,25 | 0,02 | 0,02 | 1,72 |
| (3;4) | 4 | 11 | -1,33 | 0,12 | 0,10 | 8,60 |
| (5;6) | 6 | 21 | -0,42 | 0,38 | 0,26 | 22,36 |
| (7;8) | 8 | 32 | 0,49 | 0,71 | 0,33 | 28,38 |
| (9;10) | 10 | 15 | 1,40 | 0,92 | 0,21 | 18,06 |
| (11;+∞) | ∞ | 5 | ∞ | 1,00 | 0,08 | 6,88 |

(zdroj: vlastní výzkum)

▪ **Aplikace Pearsnova χ^2 testu**

Pro použití testu normality musí být v každém intervalu minimálně 5 výsledků měření. Proto budou v následující části sousední intervaly sdruženy tak, aby byla tato podmínka splněna.

Tabulka 11 – Úprava počtu intervalů, výsledky testu dobré shody

| x_i | n_i | np_i | $\frac{n_i - np_i^2}{np_i}$ |
|-----------------------------------|-------|--------|-----------------------------|
| $(-\infty; 4)$ | 13 | 10,32 | 0,70 |
| (5;6) | 21 | 22,36 | 0,08 |
| (7;8) | 32 | 28,38 | 0,46 |
| (9;10) | 15 | 18,06 | 0,52 |
| (11; +∞) | 5 | 6,88 | 0,51 |

(zdroj: vlastní výzkum)

a) Výpočet χ_{exp}^2

$$\chi_{\text{exp}}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{n_i - np_i^2}{np_i} = 2,27$$

b) Výpočet χ_{teor}^2 ($\alpha = 0,05$)

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_{v}^2 = k - r - 1$$

v = počet stupňů volnosti

k = počet prvků škály

r = počet teoretických parametrů zkoumaného teoretického rozdělení

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_{v}^2 = \chi_{k-r-1}^2 = \chi_{5-2-1}^2 = 5,99$$

c) Výsledek aplikace Pearsnova χ^2 testu

$$\chi_{\text{exp}}^2 < \chi_{\text{teor}}^2$$

Z výsledku Pearsnova χ^2 testu vyplývá, že na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ lze empirické rozdělení četností nahradit normálním rozdělením.

4.4 Parametrické testování – aplikace dvojvýběrového t-testu

K ověření stanovené hypotézy bude použita nulová a alternativní hypotéza:

H_0 – Mezi znalostmi obyvatel bytů a rodinných domů v oblasti radonové problematiky není statisticky významný rozdíl.

H_a – Mezi znalostmi obyvatel bytů a rodinných domů v oblasti radonové problematiky je statisticky významný rozdíl.

Pro výpočet budou použity empirické parametry. Empirické parametry spojené s obyvateli bytů budou označeny indexem 1, parametry spojené s obyvateli rodinných domů indexem 2.

Pro SS_1 platí:

$$\mu_1 = O_1 = 5,94$$

$$\delta_1 = S_{x1} = 2,10$$

Pro SS_2 platí:

$$\mu_2 = O_2 = 6,92$$

$$\delta_2 = S_{x2} = 2,19$$

$$t_{exp} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{x1}^2 + (n_2 - 1)S_{x2}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} = -2,85$$

$$W = (-\infty; -t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2)) \cup (t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2); \infty) = (-\infty; -1,96) \cup (1,96; \infty)$$

Z výpočtu je možné určit, že t_{exp} náleží do kritického oboru W . Na základě toho je možné přijmout hypotézu H_a – Mezi znalostmi obyvatel bytů a rodinných domů v oblasti radonové problematiky je statisticky významný rozdíl.

5 Diskuze

Radon je dle WHO druhou nejvýznamnější příčinou vzniku rakoviny plic. V České republice na rakovinu plic každý rok zemře přes 5 000 lidí, z toho přibližně 800 až 900 případů je způsobeno právě radonem. Jedním ze způsobů, jak tato čísla snížit, jsou měření koncentrace radonu a následná protiradonová opatření u staveb. Nedílnou součástí by měla být také informovanost občanů o této problematice. (SÚRO, 2016c)

Pro porovnání informovanosti o radonové problematice obyvatel bytů a rodinných domů v Plzeňském kraji a následné potvrzení či vyvrácení stanovené hypotézy bylo provedeno dotazníkové šetření. Dotazník celkem vyplnilo 158 respondentů, z toho 72 obyvatel bytů a 86 obyvatel rodinných domů.

5.1 Diskuze k jednotlivým otázkám

Dotazník obsahoval 3 informativní otázky a 11 otázek o radonové problematice, které měly vždy čtyři možné odpovědi, přičemž jen jedna byla správná.

Informativní otázky rozdělily respondenty na obyvatele rodinných domů a bytů a podle pohlaví. Mužů se dotazníkového šetření celkem zúčastnilo 65, z toho 26 z bytů a 39 z rodinných domů. Žen se zúčastnilo celkem 93, z toho 46 z bytů a 47 z rodinných domů. Rozdílnost odpovědí mužů a žen nebyla zkoumána. Dále byl zjišťován věk respondentů. Průměrný věk respondentů žijících v bytech byl 34 let, respondentů žijících v rodinných domech 31 let. Při vyhodnocování výsledků nebyl na věk brán zřetel.

První otázka zjišťovala, zda respondenti vědí, co je radon. Z nabízených možností odpovědi zvolilo tu správnou 68 % dotazovaných obyvatel bytů a 80 % dotazovaných obyvatel rodinných domů. Přes dvě třetiny dotazovaných obyvatel tedy ví, že radon je přírodní radioaktivní plyn, to je vcelku uspokojujivý výsledek.

U druhé otázky dotazovaní odpovídali na otázku, zda je radon pro člověka nebezpečný. Správnou odpověď, *a) ano, je nebezpečný*, zvolilo jen 54 % respondentů z bytů a 62 % respondentů z rodinných domů. Druhou nejčastější odpovědí byla jak u obyvatel bytů (38 %) tak rodinných domů (34 %) *c) je nebezpečný jen ve velmi vysokých*

koncentracích. Větší část obyvatel ví o škodlivosti radonu, ale asi třetina ho mylně považuje za nebezpečný až ve velkých koncentracích.

Třetí otázka srovnávala názory na radiační zátěž způsobenou radonem a radiační zátěž způsobenou jadernou elektrárnou. Pouze 10 % respondentů z bytů a 26 % respondentů z rodinných domů odpovědělo na tuto otázku správně *d) radiační zátěž z radonu je několikanásobně větší*. Na stejnou otázku pokládanou v rámci Sociologického průzkumu informovanosti obyvatelstva o přírodním plynu radon z roku 1999 odpovědělo správně také pouze 9,6 % dotazovaných (SÚRO, 2017c). Nejčastější špatnou odpovědí byla *a) radiační zátěž radonu je několikanásobně menší*, z toho vyplývá, že obyvatelstvo nemá dostatečné znalosti o jaderných elektrárnách a jejich dopadech na člověka a považuje je z hlediska radiace za nebezpečné. To potvrzuje i výzkum z bakalářské práce R. Dvořákové (2010), kde z 98 respondentů u otázky: „*Jaký zdroj nejvíce přispívá k radiační zátěži obyvatelstva?*“ jich 42 označilo právě jadernou elektrárnu.

Radon je nebezpečný především tím, že zvyšuje pravděpodobnost vzniku rakoviny plic. Čtvrtá otázka hledala odpověď na znalost tohoto nebezpečí. Správně na ni odpovědělo 61 % respondentů z bytů a 80 % respondentů z rodinných domů. Podle mého názoru je to zvláště u obyvatel rodinných domů poměrně uspokojivý výsledek.

U páté otázky týkající se uvolňování radonu do ovzduší správnou odpověď *a) z geologického podloží/ ze země* zvolilo 57 % obyvatel bytů a 69 % obyvatel rodinných domů. Jako špatné odpovědi dotazovaní nejčastěji volili *c) z jaderných elektráren* (18 % u bytů, 16 % u rodinných domů) a *za d) ze staveb* (19 % a 14 %). U možnosti d) respondenty pravděpodobně zmátlo to, že se často mluví o „zvýšené koncentraci radonu v budovách“. U možnosti c) se opět potvrdila mezi lidmi rozšířená obava z jaderných elektráren.

Netěsnostmi a trhlinami ve spodních částech stavby se do budov dostává nejvíce radonu. Správně to v šesté otázce vědělo 79 % respondentů z bytů a 86 % respondentů z rodinných domů. To je velmi dobrý výsledek, tato otázka patřila k těm nejlépe zodpovězeným v rámci celého dotazníkového šetření.

Sedmá otázka byla naopak jedna z nejhůře zodpovězených. Správnou odpověď *c) v ČR je koncentrace radonu jedna z největších na světě* zvolilo pouze 15 % respondentů

z bytů a 28 % respondentů z rodinných domů. Nejčastější špatná odpověď byla *d) v ČR se koncentrace radonu neustále zvyšuje* (47 % u bytů a 44 % u rodinných domů). Na základě odpovědí lze usuzovat na neznalost závislosti koncentrace radonu v ovzduší na obsahu uranových rud v podloží a toho, že v ČR je podloží na tyto rudy bohaté.

U osmé otázky týkající se měření koncentrace radonu byla správná odpověď *d) měření provádí pouze firmy se speciálním povolením*. Tuto možnost zvolilo 29 % respondentů z bytů a 44 % respondentů z rodinných domů. Nejvíce zastoupenou špatnou odpovědí byla *a) měření se provádí pouze u nově postavených staveb* (38 % u bytů a 24 % u rodinných domů). Obyvatele v tomto případě mohl zmást fakt, že u nových domů postavených na pozemku s vyšším než nízkým radonovým indexem se před jejich kolaudací provádí měření za účelem kontroly funkčnosti použitých protiradonových opatření. Celkové výsledky této otázky ukazují na nevelký přehled obyvatel o možnostech měření koncentrace radonu.

Devátá otázka zkoumala znalosti obyvatel v oblasti provádění protiradonových opatření. Správnou odpověď *c) protiradonová opatření se provádí u nově postavených i stávajících staveb* označilo 44 % dotazovaných z bytů a 65 % dotazovaných z rodinných domů. Lepší výsledek u obyvatel žijících v rodinných domech lze přisuzovat osobním zkušenostem s použitím protiradonových opatření při stavbě či rekonstrukci domu, které obyvatelé bytů většinou nemají.

Před zahájením stavby domu je nutné dle atomového zákona stanovit radonový index pozemku, na kterém bude stavba umístěna. Na základě jeho výsledku je doporučeno provedení protiradonových opatření. Dobrou znalost této skutečnosti prokázali dotazovaní v desáté otázce, když správnou odpověď *a) ano, je nutné se před zahájením stavby domu zabývat radonovou problematikou* zvolilo 81 % respondentů z bytů a 77 % respondentů z rodinných domů. Je zajímavé, že v této otázce dosáhli lepšího výsledku obyvatelé bytů. Domnívám se, že to může být způsobeno tím, že obyvatelé bytů častěji řeší svoji bytovou situaci a mnoho z nich uvažuje právě o stavbě vlastního rodinného domu.

U poslední otázky jako subjekt, který se zabývá radonovou problematikou, správně označilo 60 % dotazovaných z bytů a 70 % dotazovaných z rodinných domů *Státní úřad pro jadernou bezpečnost a Státní ústav radiační ochrany*. Z výsledků vyplývá, že

zhruba jedna třetina dotazovaných by se ohledně radonové problematiky obrátila na nesprávný subjekt.

Celková úspěšnost respondentů žijících v bytech byla 51 %, respondentů žijících v rodinných domech 63 %. Informovanost obyvatel o radonové problematice není příliš vysoká. Dobrých výsledků bylo dosahováno především u otázek č. 6 a 10, které se týkaly praktických záležitostí okolo stavby domu a bydlení (např. otázka č. 6 – „*Ke zvýšené koncentraci radonu v budovách nejvíce přispívají?*“). Naopak nejhorších výsledků bylo dosaženo u otázek č. 3, 7 a 8 týkajících se koncentrace radonu v ČR a jeho radiační zátěži pro obyvatelstvo (např. otázka č. 7 – „*Jak je na tom podle Vás ČR s koncentrací radonu?*“). Výsledky jednotlivých otázek lze shrnout tím, že obyvatelé prokázali dobré znalosti a informace v oblastech, které se jich přímo týkají nebo se s nimi prakticky setkávají. Naproti tomu v odbornějších oblastech (např. otázka č. 3 – srovnání radiační zátěže radonu a jaderné elektrárny) měli výsledky podprůměrné.

5.2 Diskuze ke statistickému šetření

Ve statistickém šetření byl u obyvatel bytů zjištěn aritmetický průměr 5,94, to znamená, že průměrný počet správných odpovědí byl z 11 téměř 6. Koeficient šikmosti vyšel záporný. Z toho vyplývá, že prvky škály ležící od aritmetického průměru vpravo jsou četnější. Z neparametrického testování pomocí Pearsnova χ^2 testu lze soudit, že na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ můžeme empirické rozdělení četností nahradit normálním rozdělením.

U obyvatel rodinných domů byl díky statistickému šetření zjištěn aritmetický průměr 6,92. Průměrný počet správných odpovědí byl tedy téměř 7 z 11 možných. Koeficient šikmosti vyšel záporný, to znamená, že prvky škály ležící na pravé straně od aritmetického průměru mají vyšší četnost. Z neparametrického testování pomocí Pearsnova χ^2 testu lze soudit, že na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ můžeme empirické rozdělení četností nahradit normálním rozdělením.

Rozdíl ve výsledcích obyvatel bytů a rodinných domů byl testován pomocí parametrického testování, konkrétně podle dvojvýběrového t-testu. Jeho výsledkem byla ověřena stanovená hypotéza: „*Občané Plzeňského kraje žijící v rodinných domech mají statisticky významně vyšší znalosti o radonové problematice než občané žijící v bytech.*“

5.3 *Shrnutí*

Z výsledků dotazníkového a statistického šetření vyplývá, že informovanost obyvatelstva o radonové problematice není vysoká. U většiny otázek dosahovali výrazně lepších výsledků obyvatelé rodinných domů. Potvrdil se tím předpoklad, že občané žijící v rodinných domech se s touto problematikou setkávají častěji, zejména v souvislosti se stavbou či rekonstrukcí domu.

Radonová problematika se týká každého občana, proto by o ní měli mít alespoň základní povědomí všichni. Bohužel tato oblast není příliš mediálně zajímavá a moc se o ní nemluví. Navíc je radon smysly nepostřehnutelný a obyvatelstvo nějak přímo neobtěžuje (např. zápachem), to snižuje potřebu se tímto rizikem zabývat. Těmto faktům odpovídají i výsledky provedeného průzkumu. Navrhovala bych zvýšit informovanost o radonové problematice například pomocí novinových článků a vhodným umístěním nebo distribucí informačních letáků či brožurek. Inspirací pro jejich tvorbu lze získat v zahraničí, kde například ve Spojených státech amerických (dále „USA“) vyhlašují každoročně soutěž pro studenty. Ti mají za úkol vytvořit originální plakát na téma radon, jeho zdroj, vliv na zdraví, apod. (DEQ, 2017). V Příloze B je vybráno několik vítězných plakátů ze zmiňované soutěže.

6 Závěr

Bakalářská práce „*Informovanost obyvatelstva v Plzeňském kraji o radonové problematice*“ je rozdělena do dvou částí – teoretické a praktické.

Teoretická část seznamuje s problematikou radonu, jeho vlivu na lidské zdraví, jeho výskytu v budovách a protiradonových opatřeních, která se v ČR provádí. Obsahuje také základní poznatky o radioaktivitě, ionizujícím záření, jeho zdrojích a veličinách, která ho popisují.

V praktické části jsou uvedeny výsledky dotazníkového šetření, které bylo provedeno mezi obyvateli bytů a rodinných domů na území Plzeňského kraje s cílem zjistit a posoudit jeho informovanost o dané problematice. Výsledky tohoto šetření byly následně zpracovány pomocí metod deskriptivní a matematické statistiky. Stanovená hypotéza: „*Občané Plzeňského kraje žijící v rodinných domech mají statisticky významně vyšší znalosti o radonové problematice než občané žijící v bytech.*“ byla pomocí dvojvýběrového t-testu potvrzena. Výsledky jednotlivých otázek jsou shrnuty v diskuzi. Lepších výsledků dosahovali respondenti zejména v otázkách věnující se problematice, která se jich přímo týká, nebo se s ní mají možnost prakticky setkat. Horší výsledky měli u otázek odbornějšího charakteru.

Práce by mohla sloužit jako námět pro budoucí bakalářské či diplomové práce s možností rozšíření výzkumné části o další kritéria hodnocení např. dle vzdělání, nebo o porovnání informovanosti obyvatelstva v různých krajích ČR. Zúčastněným respondentům byla poskytnuta zpětná vazba v podobě správných odpovědí na otázky v dotazníku.

7 Seznam použitých zdrojů

1. AUVINEN, A., SALONEN, L., PEKKANEN, J., PUKKALA, E., ILUS, T., KURTTIO, P., 2005. Radon and other natural radionuclides in drinking water and risk of stomach cancer: A case-cohort study in Finland. *Int. J. Cancer*, 114: 109–113. doi:10.1002/ijc.20680
2. BARNET, I., 2005. RADON A GEOLOGIE. In: *Česká geologická služba: Mapy radonového indexu geologického podloží 1:50 000* [online]. Praha [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: http://www.geology.cz/demo/CD_RADON50/index/info.htm
3. BUDÍKOVÁ, M., KRÁLOVÁ, M., MAROŠ, B., 2010. *Průvodce základními statistickými metodami*. 1. vyd. Praha: Grada. ISBN 9788024732435.
4. DEQ: Radon Program Annual Poster Contest, 2017. In: *UTAH DEPARTMENT of ENVIRONMENTAL QUALITY (DEQ)* [online]. Salt Lake City [cit. 2017-04-08]. Dostupné z:
5. DIGGLE, P., CHETWYND, A., 2011. *Statistics and scientific method: an introduction for students and researchers*. New York: Oxford University Press. ISBN 9780199543199.
6. DVOŘÁKOVÁ, R., 2010. *Studie o problematice radioaktivity a záření a jejich chápání laickou veřejností*. České Budějovice. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. Vedoucí práce Jan Ryba.
7. JIRÁNEK, M., 2012. *RADON – STAVEBNÍ SOUVISLOSTI I.: Sešit O - Výběr protiradonových opatření*. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-05023-1. Dostupné také z: http://www.profesis.cz/files//dokumpdf/ruzne/r8_4.pdf
8. JIRÁNEK, M., ROVENSKÁ, K., 2010. ZDROJE RADONU V DOMĚ. In: *NAUČNÁ STEZKA O RADONU* [online]. Vypr. Fakulta stavební ČVUT v Praze ve spol. se Státním ústavem radiační ochrany. [cit. 2016-12-02]. Dostupné z: <http://www.radonovastezka.cz/index.php?lmut=cz&part=route&stop=3>

9. KLENER, V., ed., 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 619 s. ISBN 80-238-3703-6.
10. KUNA, P., NAVRÁTIL, L., ed., 2005. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus. ISBN 80-865-7109-2.
11. KUSALA, J., 2013. *K vysokým energiím: Miniencyklopedie-sešit č.3* [online]. Simopt [cit. 2016-11-20]. ISBN 978-80-87851-13-5. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/miniencyklopedie/3_miniencyklopedie_k_vysokym_energiim/cs/index.html#1d180e4328
12. *National Radon Program Servise - Kansas State University* [online]: 2015 Poster Contest Winners (plakáty v příloze), [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <https://sosradon.org/2015%20poster%20contest%20winners>
13. NAVRÁTIL, L., FREITINGER SKALICKÁ, Z., HALAŠKA, J., HAVRÁNKOVÁ, R., KUBEŠ, J., NAVRÁTIL, V., SABOL, J., SIROVÝ, L., ZÖLZER, F., 2011. RADIOBIOLOGIE. *Radiobiologie* [online]. [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>
14. NEZNAL, M., NEZNAL, M., 2009. *Ochrana staveb proti radonu*. 1. vyd. Praha: Grada. Profi & hobby. ISBN 9788024730653.
15. REICHL, J., VŠETIČKA, M., 2006-2016. Encyklopedie fyziky In: *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
16. RÖSSLER, T., 2012. Fyzika radonu (základy). (Obrázek - Vstupní cesty radonu do objektu) In: *ALFA-RADON* [online]. Olomouc [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://www.alfa-radon.com/page/fyzika/>
17. RUANO-RAVINA, A., DACOSTA-URBIETA, A., BARROS-DIOS, J. M., KELSEY K. T., Radon exposure and tumors of the central nervous system. *Gaceta Sanitaria* [online]. 2017, [cit. 2017-03-31]. DOI: 10.1016/j.gaceta.2017.01.002. ISSN 02139111. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0213911117300602>

18. ŘEŘIČHA, V., KULICH, M., ŘEŘIČHA, R., SHORE, D., SANDLER, D., 2006. Incidence of Leukemia, Lymphoma, and Multiple Myeloma in Czech Uranium Miners: A Case–Cohort Study. *Environ Health Perspect.* 114: 818-822. DOI: 10.1289 / ehp.8476. PMC1480508.
19. SIVAKUMAR, R., 2017. Inhalation dose due to radon, thoron, and progenies in dwellings of a hill station. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 189:6. [cit. 2017-03-31]. DOI: 10,1007 / s10661-017-5767-z.
20. SPRADLEY, J., 2016. Radon Gas. *Salem Press Encyclopedia of Science* [online]. [cit. 2016-11-26].
21. SÚJB (*Státní úřad pro jadernou bezpečnost*), 2009a. Doporučení: Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech. Praha. Dostupné také z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/PZIZ/doporuceni/stavebni_materialy.pdf
22. SÚJB (*Státní úřad pro jadernou bezpečnost*), 2012b. Doporučení: Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě dodávané k veřejnému zásobování pitnou vodou. Praha. Dostupné také z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/PZIZ/doporuceni/2012_Doporuceni_PV_rev_1.pdf
23. SÚJB (*Státní úřad pro jadernou bezpečnost*), 2012a. Doporučení: Měření a hodnocení ozáření z přírodních zdrojů ve stavbách s obytnými nebo pobytovými prostory. Praha. Dostupné také z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/PZIZ/doporuceni/Doporuceni_objekty_2012.pdf
24. SÚJB (*Státní úřad pro jadernou bezpečnost*), 2013. Doporučení: Stanovení radonového indexu pozemku přímým měřením: Stanovení radonového indexu pozemku přímým měřením. Praha. Dostupné také z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/PZIZ/doporuceni/130301_doporuceni_rip.pdf

25. SÚJB (*Státní úřad pro jadernou bezpečnost*): Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán, 2009b. Praha. Dostupné také z:
http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/radonovy_program_akcni_plan.pdf
26. SÚRO: Geologická prognózní mapa radonového indexu, 2017b. (Obrázek) In: *Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.* [online]. Praha [cit. 2017-02-27]. Dostupné z:
<https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/vyskyt-radonu-v-ceske-republice/prognozniv.gif/view>
27. SÚRO: Kde všude měříme radon, 2016a. In: *Státní ústav radiační ochrany v.v.i.* [online]. Praha [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:
<https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/mereni-radonu>
28. SÚRO: Přírodní radioaktivita a problematika radonu, 2016b. (Obrázek - Rozdělení dávek obyvatelstvu) In: *Státní ústav radiační ochrany v.v.i.* [online]. Praha [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/radprirodnioz-radioaktivita-a-problematika-radonu>
29. SÚRO: Sociologický průzkum informovanosti obyvatelstva o přírodním plynu radon aneb Co vědí naši občané o radonu?, 2017c. In: *Státní ústav radiační ochrany v. v. i.* [online]. Praha [cit. 2017-04-04]. Dostupné z:
<https://www.suro.cz/cz/publikace/radonova-problematika/pruzkum-informovanosti/sociologicky-pruzkum-informovanosti-obyvatelstva-o-prirodnim-plynu-radon>
30. SÚRO: Výskyt RADONU v České republice, 2017a. In: *Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.* [online]. Praha [cit. 2017-01-25]. Dostupné z:
<https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/vyskyt-radonu-v-ceske-republice>
31. SÚRO: Zdravotní účinky radonu, 2016c. In: *Radonový program České republiky* [online]. Praha [cit. 2017-04-04]. Dostupné z:
<http://www.radonovyprogram.cz/zdravotni-ucinky-radonu/>
32. ULLMANN, V., 2002. Jaderná a radiační fyzika. In: *AstroNuklFyzika* [online]. Ostrava [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>

33. UNEP: *IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ - Účinky a zdroje* [online], 2016. 1. UNEP (Program OSN pro ochranu životního prostředí) [cit. 2017-01-25]. ISBN 978-92-807-3600-7. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation_Czech_27_Dec_2016_Web.pdf
34. Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: Sběrka zákonů České republiky, částka 172, s. 6618-6903. ISSN 1211-1244.
35. WHO: *Handbook on indoor radon: A public health perspective*, 2009. Geneva, Switzerland: World Health Organization. ISBN 978 92 4 154767 3.
36. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon. In: Sběrka zákonů České republiky, částka 102, s. 3938-4060. ISSN 1211-1244.
37. ZÁŠKODNÝ, P., 2013. *The principles of probability and statistics: (data mining approach): bilingual Czech-English version*. 1., Praha: Curriculum. ISBN 978-80-904948-5-5.
38. ZÁŠKODNÝ, P., HAVRÁNKOVÁ, R., HAVRÁNEK, J., VURM, V., 2016. *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. 3. Praha: CURRICULUM. ISBN 978-80-87 894-12-5.
39. ZÖLZER, F., HAVRÁNKOVÁ, R., ed., 2016. *Vliv provozu úpravny uranových rud MAPE Mydlovary na zdravotní stav jejích zaměstnanců a obyvatel v okolí*. Praha: Lidové noviny, 124 s. ISBN 978-80-7422-468-3.

8 Seznam zkratek

ČR Česká republika

ČSN Česká technická norma

IARC Cancer Research agentury

SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚRO Státní ústav radiační ochrany

USA Spojené státy americké

WHO World Health Organization

9 Seznam obrázků a tabulek

Obrázky

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 – Rozdělení dávek obyvatelstvu..... | 14 |
| Obrázek 2 – Geologická prognózní mapa radonového indexu..... | 15 |
| Obrázek 3 – Vstupní cesty radonu do objektu | 18 |
| Obrázek 4 – Vstup radonu do objektu z geologického podloží..... | 19 |
| Obrázek 5 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 1 | 29 |
| Obrázek 6 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 2 | 30 |
| Obrázek 7 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 3 | 31 |
| Obrázek 8 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 4 | 32 |
| Obrázek 9 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 5 | 33 |
| Obrázek 10 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 6 | 34 |
| Obrázek 11 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 7 | 35 |
| Obrázek 12 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 8 | 36 |
| Obrázek 13 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 9 | 37 |
| Obrázek 14 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 10 | 38 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 15 – Zastoupení správných a špatných odpovědí obyvatel rodinných domů a bytů u otázky č. 11 | 39 |
| Obrázek 16 – Empirické rozdělení absolutních četností | 41 |
| Obrázek 17 – Empirické rozdělení kumulativních relativních četností..... | 41 |
| Obrázek 18 – Empirické rozdělení absolutních četností | 46 |
| Obrázek 19 – Empirické rozdělení kumulativních relativních četností..... | 46 |

Tabulky

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 – Stanovení radonového indexu pozemku..... | 20 |
| Tabulka 2 – Výsledky měření..... | 40 |
| Tabulka 3 – Empirické parametry | 42 |
| Tabulka 4 – Intervalové rozdělení četností výsledků u obyvatel bytů | 42 |
| Tabulka 5 – Plochy jednotlivých integrálů pro testování informovanosti u obyvatel bytů | 43 |
| Tabulka 6 – Úprava počtu intervalů, výsledky testu dobré shody..... | 44 |
| Tabulka 7 – Výsledky měření..... | 45 |
| Tabulka 8 – Empirické parametry | 47 |
| Tabulka 9 – Intervalové rozdělení četností výsledků u obyvatel rod. domů | 47 |
| Tabulka 10 – Plochy jednotlivých integrálů pro testování informovanosti u obyvatel rodinných domů..... | 48 |
| Tabulka 11 – Úprava počtu intervalů, výsledky testu dobré shody..... | 49 |

10 Seznam příloh

Příloha A – Dotazník

Příloha B – Vybrané plakáty o radonu z výtvarné soutěže v USA

11 Přílohy

Příloha A: Dotazník

Dotazník - Informovanost obyvatelstva v Plzeňském kraji o radonové problematice

Dobrý den, jsem studentkou Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity a ráda bych Vás tímto požádala o vyplnění krátkého dotazníku o radonové problematice. Získané údaje použiji pouze v rámci své bakalářské práce. Dotazník je anonymní a vždy je správná jen jedna odpověď, tu prosím zakroužkujte. Předem děkuji za ochotu při jeho vyplňování.

Vaše pohlaví:

- a) muž
- b) žena

Váš věk:

Kde bydlíte?

- a) V rodinném domě
- b) V bytě

-
1. Radon je:
 - a) nebezpečná průmyslová chemikálie
 - b) přírodní radioaktivní plyn
 - c) radioaktivní látka unikající z jaderných elektráren
 - d) lék využívající se při ozařování

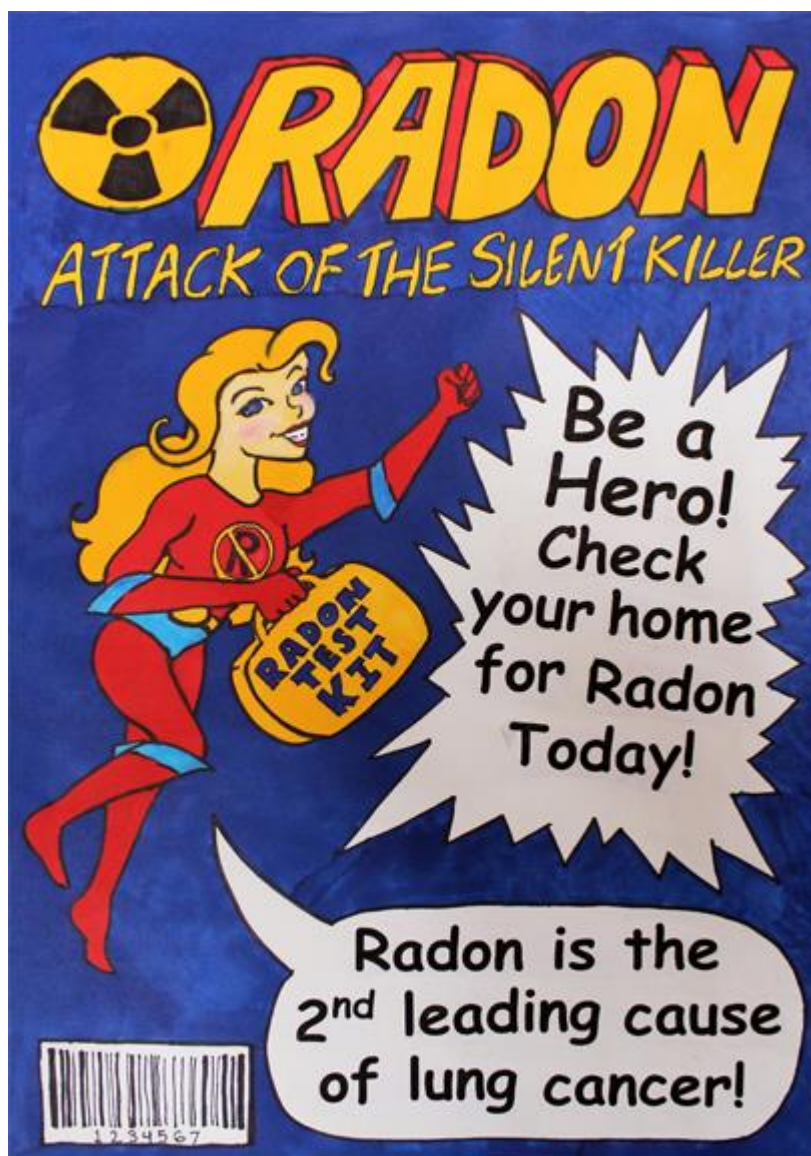
 2. Myslíte, že radon je pro člověka nebezpečný?
 - a) ano, je nebezpečný
 - b) je nebezpečný jen v kombinaci s dalšími látkami
 - c) je nebezpečný jen ve velmi vysokých koncentracích
 - d) není nebezpečný

 3. Co si myslíte o radiační zátěži radonu ve srovnání s radiační zátěží jaderné elektrárny?
 - a) radiační zátěž z radonu je několikanásobně menší
 - b) asi tak stejná
 - c) radiační zátěž z radonu je asi o něco větší
 - d) radiační zátěž z radonu je několikanásobně větší

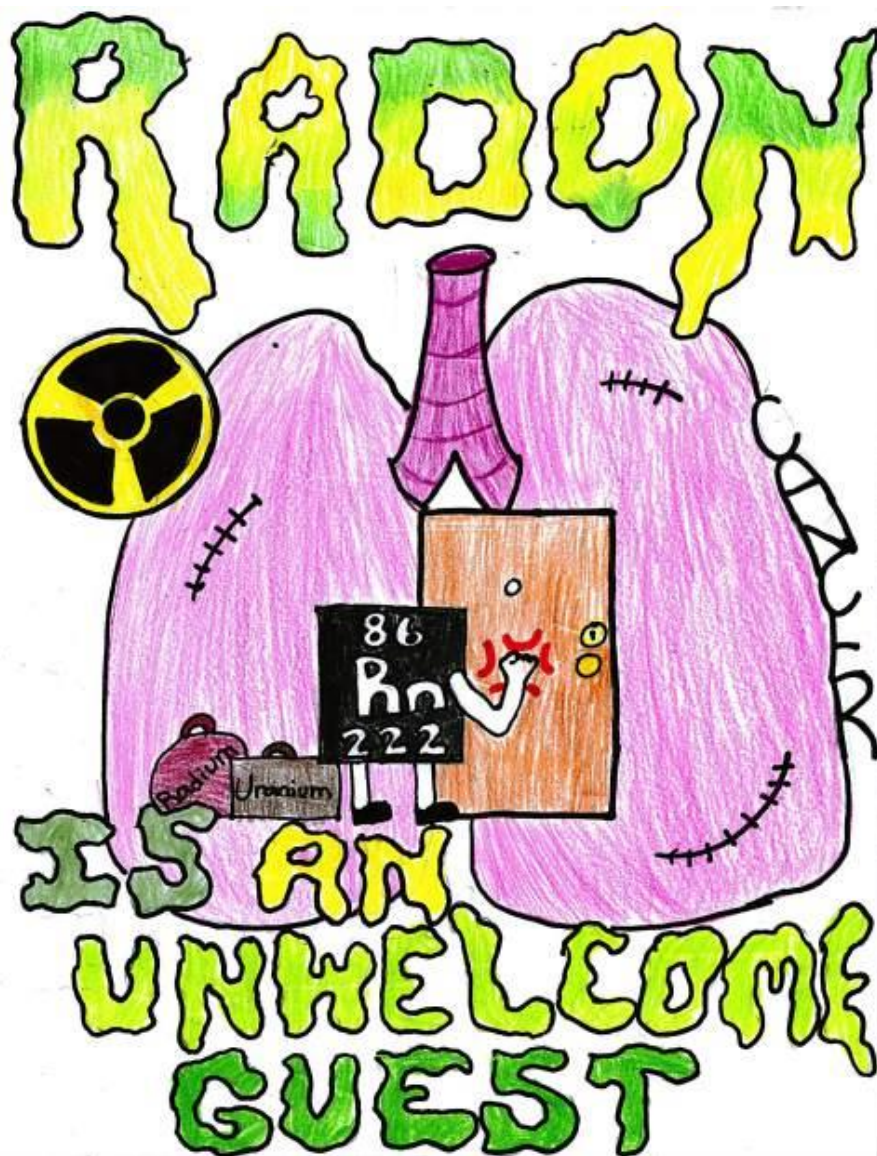
4. Jaký největší vliv má radon na lidské zdraví?
- a) způsobuje onemocnění kůže
 - b) může zvyšovat pravděpodobnost vzniku rakoviny plic
 - c) nemá žádný velký vliv na lidské zdraví
 - d) způsobuje kardiovaskulární onemocnění
5. Radon se do ovzduší nejvíce uvolňuje:
- a) z geologického podloží/ ze země
 - b) z vody
 - c) z jaderných elektráren
 - d) ze staveb
6. Ke zvýšené koncentraci radonu v budovách nejvíce přispívají:
- a) netěsnosti v okenních rámech
 - b) netěsnosti a trhliny ve spodních částech stavby
 - c) netěsnosti a trhliny v obvodovém zdivu
 - d) netěsnosti ve stropních konstrukcích
7. Jak je na tom podle Vás ČR s koncentrací radonu?
- a) v ČR se radon vůbec nevyskytuje
 - b) v ČR je koncentrace jedna z nejmenších na světě
 - c) v ČR je koncentrace jedna z největších na světě
 - d) v ČR se koncentrace radonu neustále zvyšuje
8. Měření koncentrace radonu:
- a) provádí se pouze u nově postavených staveb
 - b) provádí se pouze u stávajících staveb
 - c) provádí se pouze u průmyslových objektů
 - d) provádí pouze firmy se speciálním povolením
9. Protiradonová opatření:
- a) provádí se pouze u nově postavených staveb
 - b) provádí se pouze u stávajících staveb
 - c) provádí se u nově postavených i stávajících staveb
 - d) neprovádějí se

10. Je podle Vás nutné zabývat se radonovou problematikou před zahájením stavby domu?
- a) ano
 - b) ano, ale pouze v některých krajích ČR
 - c) ano, ale pouze u dřevostaveb
 - d) ne
11. Kdo se podle Vás zabývá radonovou problematikou?
- a) pouze soukromé firmy
 - b) krajské hygienické stanice
 - c) Státní úřad pro jadernou bezpečnost/Státní ústav radiační ochrany
 - d) odbory sociální a zdravotní městských úřadů

Příloha B: Vybrané plakáty o radonu z výtvarné soutěže v USA



Vítězný plakát z roku 2015 (zdroj: National Radon Program Service)



Plakát za 2. místo ve státě Nevada pro rok 2015 (zdroj: National Radon Program Service)