



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta  
Ústav radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva

Bakalářská práce

# Zneužití zdrojů ionizujícího záření

Vypracoval: Matěj Novotný  
Vedoucí práce: Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

České Budějovice 2016

## Abstrakt

Cílem předkládané bakalářské práce je shrnout problematiku možného zneužití zdrojů ionizujícího záření a především posoudit znalosti obyvatelstva Jihočeského kraje v oblasti zneužití zdrojů ionizujícího záření.

Pro splnění stanovených cílů je nezbytné studium odborné literatury a formulace hypotéz, které jsou dále v práci testovány a zkoumány. Jednotlivé otázky jsou následně zpracovány a vyhodnoceny. Stanovené hypotézy jsou testovány na základě parametrického a neparametrického testování.

Bakalářská práce má čtenáře seznámit se základními pojmy v problematice ionizujícího záření a jeho kladné a záporné užití. Jedná se především o pojmy jako ionizující záření a jeho biologické účinky, ochrana před ionizujícím zářením a jeho zdroje. Pozornost je rovněž věnována využití ionizujícího záření v radioterapeutických a radiologických odděleních, v nukleární medicíně či průmyslu. V následné teoretické části bakalářské práce se zaměřuje na zneužití zdrojů ionizujícího záření a radiologický terorismus, který je pro lidstvo velkou hrozbou, která již byla několikrát naplněna.

V současné době je největším rizikem použití radiologické zbraně, tzv. špinavé bomby, která se může snadno dostat do rukou radikálních či teroristických skupin lidí či může být k dostání na „černém“ trhu.

Praktická část je zaměřena na výzkum spojený se znalostmi obyvatel Jihočeského kraje v oblasti problematiky ionizujícího záření a jeho zneužití. Tento výzkum je realizován prostřednictvím dotazníkového šetření.

Dotazník byl sestaven ze 13 uzavřených otázek. Každá otázka obsahovala 4 možnosti odpovědi (ve formě a), b), c), d)), z nichž pouze jediná odpověď byla správná. V dotazníkovém šetření byla náhodně vylosována 2 města a 5 obcí z Jihočeského kraje. Dotazníků bylo celkem 200, z nichž první polovina byla určena pro města a zbylá polovina pro obce. Dotazování bylo prováděno ve věkových kategoriích mezi 18 – 70 lety a dotazníkové šetření probíhalo v období od května do června 2016.

Celkově z vyhodnocených výsledků dotazníkové šetření bylo patrné, že většina znalostí týkající se daného tématu bakalářské práce byla průměrná, spíše podprůměrná.

Konkrétně větší úspěšnost byla zaznamenána u dotazovaných obyvatel měst, než u obyvatel obcí.

Rozdíl v neúspěšnosti odpovědí nalezneme například v otázkách č. 7, č. 10 a č. 11, kdy dotazování obyvatelé obcí měli výsledky horší přibližně v průměru o 68%, než obyvatelé měst. Naopak obyvatelé obcí prokázali své vědomosti lépe u otázky č. 9.

Největší úspěšnost odpovědí všech dotazovaných obyvatel měst a obcí měla otázka č. 1 a dále otázky č. 2 a č. 3, kde správně odpovědělo přibližně více než 50% dotazovaných.

Hlavním přínosem bakalářské práce je získaný obraz znalostí obyvatel měst a obcí Jihočeského kraje o možném zneužití zdrojů ionizujícího záření. Teoretická část práce může sloužit jako výukový text pro studenty oboru Ochrana obyvatelstva a příbuzné obory.

**Klíčová slova:** ionizujícího záření, zneužití, ochrana obyvatelstva, úroveň znalostí

## **Abstract**

The goal of submitted bachelor thesis is to summarize the problem of a possible misuse of ionizing radiation sources, and especially to evaluate the Region of South Bohemia's citizens' knowledge within the area of ionizing radiation sources misuse.

To fulfill the given goals it is necessary to study expert literature as well as the formulation of hypotheses which are further tested and examined in action. Individual questions are subsequently processed and evaluated. Determined hypotheses are tested on the basis of parametrized and non-parametrized testing.

The bachelor thesis should introduce the reader to the basic terms within the area of ionizing radiation problem and its positive and negative use. Mainly it includes terms such as ionizing radiation and its biological effects, protection from ionizing radiation, and its sources. Attention is also paid to the use of ionizing radiation in radiotherapeutic and radiologic departments, in nuclear medicine or industry. In the following theoretical part the thesis focuses on the misuse of ionizing radiation sources as well as on radiologic terrorism which occurs as a huge threat for the humankind, having been already fulfilled several times.

Nowadays, the greatest risk has been the use of a radiological weapon, so-called 'dirty bomb' which may be misused by radical terrorist groups or may be available on the 'black market'.

The practical part focuses on the research connected to the Region of South Bohemia citizens' knowledge within the area of ionizing radiation and its misuse. This research is implemented via a questionnaire survey.

The questionnaire contains 13 multiple-choice questions. Each question contains 4 multiple-choice answers (in the form of a), b), c), d)) out of which only one is correct. Two cities and five municipalities in the region of South Bohemia were randomly selected. There were 200 questionnaires in total out of which the first half was meant for cities and the other one was meant for municipalities. Questioning was carried out among respondents within age categories of 18-70 and questionnaire survey was carried out during the period of May to June 2016.

In general the evaluated results of the questionnaire survey have showed that most knowledge regarding the given topic of the bachelor thesis was average, rather below the average. To be more specific, a higher success rate was noticed in the interviewed city residents rather than in municipality citizens.

The difference in response unsuccess rate may be found in questions no. 7, no. 10, and no. 11 when interviewed municipality citizens had worse results in 68% average in comparison to city residents. On the contrary, municipality citizens proved better knowledge in question no. 9.

Questions number 1, also number 2 and number 3 got the highest response success rate in all interviewed city residents and municipality citizens, where approximately more than 50% of the interviewed replied correctly.

The main benefit of the bachelor thesis is the gained image of the Region of South Bohemia cities and municipalities' citizens' knowledge of the possible misuse of ionizing radiation sources. The theoretical part may serve as a study text for students of Population Protection study subject or connected study subjects.

**Key Words:** ionizing radiation, misuse, population protection, level of knowledge

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených 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 jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne (datum)

.....

(jméno a příjmení)

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl velice poděkovat své vedoucí práce, paní Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D., za její ochotu a pomoc při zpracování bakalářské práce.

# Obsah

Seznam použitých zkratk.....	10
Úvod.....	11
1 Teoretická část .....	12
1.1 Historie poznání ionizujícího záření .....	12
1.1.1 Ionizující záření.....	13
1.1.2 Ochrana před ionizujícím zářením .....	15
1.1.3 Biologické účinky ionizujícího záření.....	16
1.1.4 Faktory ovlivňující biologický účinek záření.....	17
1.2 Zdroje ionizujícího záření .....	19
1.2.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření.....	19
1.2.2 Umělé zdroje ionizujícího záření .....	20
1.2.3 Využití ionizujícího záření v radioterapeutických odděleních.....	22
1.2.4 Využití ionizujícího záření v radiologických odděleních.....	23
1.2.5 Využití ionizujícího záření v nukleární medicíně .....	24
1.2.6 Využití ionizujícího záření v průmyslu .....	25
1.3 Zneužití zdrojů ionizujícího záření .....	27
1.3.1 Radiologický terorismus .....	29
1.3.2 Nehody se zdroji ionizujícího záření.....	30
1.4 Statistické metody .....	35
1.4.1 Základní metody matematické statistiky .....	35
2 Hypotézy a metodika výzkumu.....	41
2.1 Hypotézy .....	41
2.2 Metodika výzkumu .....	41
3 Výsledky .....	43
3.1 Výsledky dotazníkového šetření .....	43
3.2 Statistické zpracování výsledků dotazníkového šetření .....	72
3.2.1 Statistické zpracování výsledků obyvatel měst.....	72
3.2.2 Statistické zpracování výsledků obyvatel obcí.....	82
3.2.3 Porovnání znalostí obyvatel měst a obcí.....	90
4 Diskuze.....	92
4.1 Diskuze k jednotlivým otázkám.....	93
4.2 Diskuze ke statistickému šetření .....	95



4.3. Shrnutí výzkumné části.....	95
Závěr .....	98
Seznam použité literatury.....	100
Seznam obrázků .....	103
Seznam tabulek .....	105
Přílohy.....	106

## Seznam použitých zkratk

H0 - nulová hypotéza

H1 - hypotéza jedna

H2 - hypotéza dvě

H<sub>a</sub> - alternativní hypotéza

HNJ - hromadný náhodný jev

HSZ - hodnota statistického znaku

INES - The International Nuclear Event Scale

NV - náhodný výběr

SJ - statistická jednotka

SZ - statistický znak

VSS - výběrový statistický soubor

ZSS - základní statistický soubor

## Úvod

S ionizujícím zářením se v současné době můžeme setkat takřka ve všech oblastech lidské činnosti, jako např. v lékařství, průmyslu či zemědělství. Obavy obyvatelstva jsou zaměřeny v oblasti radioaktivity především na umělé zdroje záření, mezi něž se řadí hlavně jaderná zařízení. Lidstvo je ozařováno převážně přírodními zdroji, kterým se nedá vyhnout. Jedná se například o kosmické záření či radon nacházející se v budovách.

Cílem předkládané bakalářské práce je shrnout problematiku možného zneužití zdrojů ionizujícího záření a posoudit znalosti obyvatelstva Jihočeského kraje v oblasti zneužití zdrojů ionizujícího záření.

Aby byly vymezené cíle práce splněny, bylo nutné nastudovat odbornou literaturu, která sloužila jako podklad pro vypracování teoretické části práce, a formulovat hypotézy testované v praktické části bakalářské práce. První hypotéza zní: „Znalosti obyvatelstva Jihočeského kraje v oblasti zneužití zdrojů ionizujícího záření mají normální rozdělení.“ Druhá hypotéza zní: „Rozdíl ve znalostech obyvatelstva v malých obcích a městech bude statisticky významný.“

Předkládaná bakalářská práce má čtenáře seznámit se základními pojmy v problematice ionizujícího záření. Jedná se především o pojmy jako ionizující záření a jeho biologické účinky, ochrana před ionizujícím zářením a jeho zdroje. Pozornost bude rovněž věnována využití ionizujícího záření v radioterapeutických a radiologických odděleních a v nukleární medicíně či průmyslu. Část teoretické části bakalářské práce se pak zaměří i na zneužití zdrojů ionizujícího záření a radiologický terorismus, který je pro lidstvo velkou hrozbou. V současné době je totiž největším rizikem použití radiologické zbraně, tzv. špinavé bomby.

V praktické části se zaměřuji na výzkum spojený se znalostmi lidí v oblasti problematiky ionizujícího záření. Tento výzkum bude realizován prostřednictvím dotazníkového šetření provedeného ve dvou městech a pěti malých obcích Jihočeského kraje. Jednotlivé otázky z dotazníkového šetření budou následně zpracovány a vyhodnoceny. Stanovené hypotézy bakalářské práce budou testovány na základě parametrického a neparametrického testování.

# 1 Teoretická část

Ionizující záření se v dnešní době vyskytuje takřka ve všech oblastech lidské činnosti. S ionizujícím zářením se můžeme setkat v lékařství, průmyslu, zemědělství a v mnoha dalších oblastech. Biologické a lékařské poznatky o účincích ionizujícího záření jsou získávány již od počátku minulého století a v současné době jsou rovněž velmi rozsáhlé.

## 1.1 Historie poznání ionizujícího záření

V prosinci roku 1895 profesor Wilhelm Conrad Röntgen publikoval významný objev, který výrazně změnil soudobou fyziku. Jeho záření X, dnes již známé pod názvem rentgenové záření, patřilo mezi první poznaný druh ionizujícího záření. V této době se rentgenka stala primární součástí vybavení mnoha laboratoří či ordinací a rovněž se rychle dostala do vědomí mnoha fyzikům i lékařům. Ve svazcích lékařských rentgenů se také rodily první poznatky o účincích ionizujícího záření a o potřebě radiační ochrany. Rentgenka však nebyla jediným dostupným a známým zdrojem ionizujícího záření. (1)

Psal se rok 1896, kdy francouzský fyzik Antoine Henri Becquerel zveřejnil své zjištění, že soli uranu vysílají doposud neznámé paprsky, které způsobují zčernání fotografické emulze a ionizaci vzduchu. Na tento výzkum navázali manželé Pierre a Marie Curieovi, který tento jev nazvali radioaktivitou. Tímto byly poznány přírodní radioaktivní nuklidy jako další zdroje ionizujícího záření. Ještě na přelomu 19. a 20. století vedla intenzivní pozorování nového jevu ke zjištění, že radioaktivní látky neemitují pouze jediný druh záření, ale dokonce tři, které začaly být označovány jako symboly  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$ . Rok 1919 byl dalším významným krokem k větší variabilitě dostupných zdrojů ionizujícího záření a to díky objevu novozélandského fyzika Ernesta Rutherforda. Dalším významným rokem byl rok 1932, kdy britský fyzik Sir James Chadwick objevil neutron. (1)

Konec třicátých let 20. století byl z hlediska vývoje zdrojů ionizujícího záření dalším důležitým mezníkem, když dva němečtí chemici Otto Hahn a Fritz Strassmann publikovali výsledky experimentů s ozařováním těžkých jader neutrony a interpretovali je jako štěpení jader. Následující rok bylo rovněž zjištěno samovolné štěpení těžkých jader jako další druh radioaktivní přeměny. Množství energie, které bylo uvolňováno při štěpení, vzbudilo okamžitý zájem. V období 2. světové války se ještě intenzivněji pracovalo na vývoji dvou zařízení, jejichž primárním účelem nebyla produkce ionizujícího záření, ale které patří mezi nejmohutnější zdroje vyrobené člověkem. (1)

Jedná se o jaderný reaktor a jadernou pumu. Exploze, které byly způsobeny jadernými pumami v Hirošimě a Nagasaki, jsou dodnes jedním z primárních zdrojů informací o následcích jednorázového celotělového ozáření člověka pro potřeby radiační ochrany. (1)

Byly zmíněny nejmohutnější zdroje ionizujícího záření vyrobené člověkem, daleko mohutnější zdroje však vytváří příroda než člověk. Kosmická tělesa patří mezi zdroje s obrovským tokem částic. V podobě kosmického záření vstupují různé částice do zemské atmosféry a po interakcích, při kterých se modifikují jejich druhové i energetické spektra, dopadají na zemský povrch. Významné množství přírodních radionuklidů i dlouhodobých radionuklidů je obsaženo v zemské kůře i v atmosféře, například izotop  $^{40}\text{K}$ . Působením kosmického záření v atmosféře vznikají další krátkodobější radionuklidy, především tritium  $^3\text{H}$  a uhlík  $^{14}\text{C}$ , které se pak mohou objevovat ve vodách či biosféře. Měrná aktivita v přírodních materiálech je velmi nízká, tudíž nejsou považovány za radioaktivní zářiče, avšak sumární obsah radionuklidů v zemské atmosféře či kůře je značný. (1)

### **1.1.1 Ionizující záření**

Ionizující záření je souhrnné označení pro záření, jehož kvanta mají energii na to, aby přímo či nepřímo ionizovaly podél své dráhy elektrony z elektronového obalu atomů. Díky tomuto procesu vzniká kladný iont, zatímco uvolněný elektron reaguje s dalším atomem a dává záporný iont, čímž vzniká iontový pár. Iontovým zářením

se rozumí přenos energie, který je buď ve formě hmotných částic či ve formě vln elektromagnetického záření. (2)

Rozlišujeme dva typy ionizujícího záření (20):

- **Přímo ionizující záření** – je tvořeno nabitými částicemi (protony, pozitrony, elektrony a částicemi  $\alpha$ ,  $\beta$ ), které mají dostatečnou kinetickou energii k tomu, aby mohly vyvolat ionizaci.
- **Nepřímo ionizující záření** – je tvořeno nenabitými částicemi (neutrony a fotony), které sami prostředí neionizují, avšak při interakcích s prostředím uvolňují sekundární, přímo ionizující částice. Ionizace prostředí je potom způsobena těmito sekundárními částicemi.

Mezi základní druhy ionizujícího záření patří (3):

- **Záření  $\alpha$**  je tvořeno jádry helia a je vyzařováno jádry prvků, jako například uran, radium, thorium atd. Záření  $\alpha$  je velmi slabé, ale pokud se dostanou materiály emitující záření  $\alpha$  do našeho organismu při vdechnutí nebo požití mohou tak způsobit ozáření vnitřní tkáně a způsobit biologické poškození.
- **Záření  $\beta$**  je tvořeno pozitrony nebo elektrony (elektrony s kladným nábojem). Elektrony jsou pronikavější než alfa částice a mají schopnost proniknout do tkání.
- **Záření  $\gamma$**  je fotonové záření s čárovým spektrem, které je vysílané atomovými jádry při radioaktivních přeměnách. Díky energii, které má záření  $\gamma$ , mohou paprsky proniknout lidským tělem.
- **Rentgenové záření** je fotonové záření, zahrnující brzdné záření, které vzniká brzděním nabitých částic v elektrických polích a charakteristické záření, které je vysílané při přechodu elektronu atomového obalu na nižší energetickou hladinu.
- **Neutrony** jsou elektricky neutrální, nemají elektrický náboj, a proto přímo neionizují. Mezi zdroje neutronů patří například štěpení uranu. Neutrony velmi snadno pronikají látkou.

### 1.1.2 Ochrana před ionizujícím zářením

Používáním ionizujícího záření a radioaktivních nuklidů je v mnoha případech úzce spjata s určitým rizikem pro lidský organismus. Hlavní způsoby ochrany před ozářením zpravidla spočívají v udržování vhodné vzdálenosti od zdroje záření, co možno nejkratší dobu pobytu v místě záření a v neposlední řadě odstíněním záření. (10)

#### Ochrana před vnějším zářením

Mezi hlavní povinnosti všech pracovníků, kteří přijdou do styku s ionizujícím zářením je nezbytné využití všech dostupných prostředků k minimalizaci a zabránění nebezpečí kontaminace a ozáření. (10)

Ochranou před vnějším ozářením se rozumí (5,10):

- **Ochrana vzdáleností** – pracovník musí udržovat vhodnou vzdálenost od zdroje záření a k přemísťování radioaktivních látek je nezbytné pracovat s kleštěmi, pinzetami a dálkovými manipulátory. Díky zvětšování vzdálenosti dochází ke snížení expozičního příkonu pro prsty a ruce a dokonce i pro celé tělo.
- **Ochrana stíněním** – se uplatňuje u všech druhů záření pouze s výjimkou záření  $\alpha$ , u které dochází k plné absorpci ve stěnách nádob či obalů, v nichž se uchovává zářič. Ke stínění se používá vhodný materiál, který se následně volí podle mechanismu absorpce daného druhu záření. K účinnému odstínění záření  $\beta$  slouží 1-2 cm vrstvy skla, hliníku či plexiskla. Jestliže při průchodu zářením  $\beta$  vzniká brzdné záření, lze jej účinně odstínit pomocí tenké vrstvy olova. U rentgenového a  $\gamma$  záření je nutné používat látky, které obsahují vysoké atomové číslo, neboť velmi dobře pronikají prostředím, a proto je vhodné k odstínění těchto záření používat např. olovo nebo železo. K úspěšnému odstínění neutronů je nutné použít vrstvu vody nebo jiný materiál, který je bohatý na vodík.
- **Zkracování doby expozice** – jedná se o dobu, kdy je nutné pracovat bez jakýchkoli časových ztrát, a proto je velmi důležitá organizace práce a

zvýšena pozornost při manipulaci se zdroji ionizující záření. Vhodným způsobem, jak se připravit na práci s vyššími aktivitami je nácvik s neaktivními látkami.

### **Ochrana před vnitřním zářením**

K vnitřnímu ozáření dochází tehdy, pokud přijdeme do styku s otevřenými zářiči. Vnitřní ozáření nastává, pokud je živý organismus ozařován ionizujícím zářením, vysílaným radionuklidy, které se následně dostaly do organismu. (5)

Při práci s radioaktivními látkami je nutné dodržovat tato bezpečnostní opatření: (5)

- používat gumové rukavice, brýle, ochranný oděv;
- používat ochranné pracovní pomůcky jakou jsou: kleště, pinzety, kontejnery a stínící ochranné obaly;
- používat dozimetr;
- nemanipulovat s radionuklidy (nebrat do ruky);
- zákaz kouření, pití a jzení v kontrolovaném pásmu pracoviště;
- jestliže dojde k vnitřní či povrchové kontaminaci, je nutné provést okamžitou dekontaminaci, která je určena ve vnitřním havarijním plánu pracoviště.

### **1.1.3 Biologické účinky ionizujícího záření**

Biologické účinky ionizujícího záření můžeme rozdělit z hlediska vztahu účinku na dávce na účinky deterministické a stochastické. (9)

V případě **deterministických účinků** se jedná o účinky s prahovou závislostí. Mezi deterministické účinky patří akutní nemoc z ozáření, katarakta, akutní lokalizované poškození, potlačení krvetvorby a jiné. Dávkový práh je v důsledku deterministických účinků pro každou tkáň jiný a závažnost poškození stoupá s rostoucí dávkou. Deterministické účinky se projevují zpravidla několik dní po ozáření. (8)



Druhou skupinou biologických účinků ionizujícího záření jsou **účinky stochastické**. Jedná se o změny, které jsou podmíněné mutacemi, a tudíž se pro ně předpokládá bezprahový vztah mezi dávkou a účinkem. Mezi stochastické účinky tedy patří například vznik zhoubných nádorů, jako je leukemie a genetické neboli dědičné účinky. Stochastické účinky nemají charakteristický klinický obraz. Jsou bezprahové a účinek opakovaných dávek je v tomto případě aditivní. U stochastických účinků se stoupající dávkou neroste závažnost poškození, ale pravděpodobnost výskytu. (8, 9)

#### **1.1.4 Faktory ovlivňující biologický účinek záření**

Faktory, které ovlivňují biologický účinek záření, můžeme rozdělit do tří skupin – fyzikální, chemické a biologické. (2)

**Fyzikálními faktory**, které ovlivňují biologický účinek záření, se rozumí dávka záření, druh záření, rozdělení dávky záření v čase a v neposlední řadě distribuce dávky v organismu.

Jednotkou, která určuje dávku všech druhů ionizujícího záření je Gy – gray. Fyzikální rozměr je dán vztahem  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$ . Zdá se, že se jedná o celotělové ozáření organismu, tak právě dávka ionizujícího záření negativně ovlivňuje závažnost akutní nemoci z ozáření. V případě, jestliže dávka docílí alespoň 1 Gy. Je zcela jasné, že na úrovni celého organismu nastane závažnější biologický účinek při celotělové dávce v rozmezí 5 Gy, než při stejné dávce na úrovni předloktí. Z hlediska biologického účinku dávky záření, je možné dávku klasifikovat na letální a subletální. Letální klasifikací dávky se rozumí, že záření vede ke smrti nejméně jednoho až všech jedinců z ozářené skupiny a v případě subletální dávky záření nedochází ke smrti žádného jedince z ozářené skupiny. Letální dávku specifikujeme vyjádřením v procentech úmrtí jedinců ve skupině, ve vztahu k časovému období po expozici. Mezi nejpoužívanější pak patří takzvaná střední letální dávka, jedná se o dávku, která způsobí usmrcení 50 % ozářených jedinců k 30. ( $LD_{50/30}$ ) či 90. ( $LD_{50/90}$ ) dni. K dalším dávkám záření

pak patří takzvaná minimální absolutní dávka, která již způsobí úmrtí všech jedinců z ozářené skupiny. (2)

Závažnost biologického účinku záření se mění s jednotlivými druhy ionizujícího záření v důsledku jejich rozdílné interakce s biologickým absorbátorem. Ionizaci a excitaci molekul v buňkách živých systému vyvolávají všechny druhy ionizujícího záření. Mikrodistribuce absorbované energie jednotlivých druhů ionizujícího záření, se určuje ukazatelem, který se nazývá takzvaný LET neboli lineární přenos energie. Lineární přenos energie (LET) je charakterizován jako množství energie, kterou následně ionizující částice předá tkáni. (2)

Pro charakteristiku ozáření je kromě druhu a dávky ionizujícího záření, také velmi významným faktorem doba neboli rozdělení dávky v čase. V důsledku vzniku radiační havárie nebo po výbuchu jaderné zbraně považujeme za jednorázovou krátkodobou dávku takovou dávku, která je vstřebána organismem během 4 dnů. Toto poměrně dlouhodobé období bylo rozhodnuto vzhledem k pomalé rychlosti reparačního poškození. Organismus má možnost reparovat subletální ozáření. Úprava radiačního poškození, která se pohybuje zpravidla v řádech dnů, se realizuje na subcelulární úrovni, v řádech týdnů pak na úrovni radiosenzitivních tkání a během několika měsíců u celého organismu. (2)

Zhruba 90 % počátečního radiačního poškození tvoří reparable složka  $\gamma$  záření. Domnívá se, že během 30 dnů dochází k úpravě 50 % reparable poškození. V průběhu 200 dní od ukončení jednorázového subletálního ozáření dochází k celkové úpravě zbývajících částí reparable poškození. Zbývajících 10 % poškození se upravuje v průběhu života, avšak k úpravě dochází tak pomalu, že se pokládají za poškození trvalá neboli ireparable. Ukazatelem zbývajících poškození v určité době po ozáření je takzvaná efektivní dávka. (2)

**Chemickými faktory**, které způsobují ovlivnění biologického účinku ionizujícího záření, řadíme zpravidla přítomnost chemických radiomodifikujících látek a koncentraci kyslíku v ozářeném objektu. **Biologické faktory** ionizujícího záření jsou ovlivněny především aktuálním stavem ozařovaného organismu. Výsledný efekt ionizujícího záření závisí primárně na pohlaví a zdravotním stavu organismu. K nejvyšší

radiorezistenci dochází v dospělosti. Z pohledu pohlaví jsou muži citlivější k ozáření než ženy. (2)

Mezi další faktory, které ovlivňují efekt ionizujícího záření, patří celkový stav organismu. U nemocného či zraněného člověka bude účinek ionizujícího záření podstatně vyšší, než u člověka zdravého. (2)

## 1.2 Zdroje ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření můžeme rozdělit na přírodní a umělé. S přírodními zdroji ionizujícího záření se můžeme setkat takřka denně a kdekoliv na světě. Co se týká umělých zdrojů ionizujícího záření, tak s těmito zdroji přicházíme do styku především v lékařství, průmyslu či zemědělství.

### 1.2.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření

Ozáření z přírodních zdrojů je do značné míry nevyhnutelné a organismy jsou tomuto ozáření vystaveny již odjakživa, avšak některé složky ozáření z přírodních zdrojů lze ovlivnit lidskou činností, a proto je důležité je regulovat. Příkladem mohou být protiradonová opatření při výstavbě nových budov, regulace uvolňování přírodních radionuklidů do životního prostředí a opatření vedoucí ke snížení ozáření osob při využívání podzemních zdrojů vody. (20)

Přírodními zdroji ionizujícího záření se rozumí kosmické záření a přírodní radionuklidy, které se mohou vyskytovat v přírodě jako například:  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  a další. U záření kosmického rozlišujeme tři složky záření-sluneční, galaktické a záření radiačních (Van Allenových) pásů Země. (5)

- **Sluneční záření** – tento zdroj přírodního ionizujícího záření pochází především ze slunečních erupcí a je tvořen převážně protony, kterých je 99 % a těžší nabitě částice představují okolo 0,1 % celkové fluence.
- **Galaktické záření** – pochází z hlubokých oblastí vesmíru a je složeno z 85 %

protonů, 11 % jader helia, 3 % elektronů a 1 % těžších jader prakticky všech prvků soustavy.

- **Radiační (Van Allenovy) pásy** – jsou tvořeny elektrony a protony, které jsou zachyceny magnetickým polem Země v různých vzdálenostech od jejího povrchu. Vnitřní pás je ve vzdálenosti 3 000 km a vnější pás ve vzdálenosti 20 000 km.

**Přírodní radionuklidy** vznikaly a vznikají především díky činnosti přírody a podle původu a jejich vzniku se rozdělují do tří skupin – kosmogenní radionuklidy, primordiální radionuklidy a radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů tvořících přeměnové řady. (4)

- **Kosmogenní radionuklidy** – tyto radionuklidy vznikají v jaderných reakcích při interakci kosmického záření se stabilními prvky ve vnějším obalu Země. Mezi nejčastější způsoby průniku radionuklidů do lidského těla je požitím kontaminovaných látek těmito radionuklidy – sodík  $^{22}\text{Na}$ , uhlík  $^{14}\text{C}$ , tritium  $^3\text{H}$ . (4, 5)
- **Primordiální radionuklidy** – vznikly v časných etapách vesmíru a díky velmi dlouhému poločasu přeměny, který je větší než  $10^8$  let se doposud vyskytují na Zemi ve významném množství. Mezi primordiální radionuklidy patří například uranium  $^{238}\text{U}$ , uranium  $^{235}\text{U}$ , izotop draslíku  $^{40}\text{K}$ , thorium  $^{232}\text{Th}$  a jiné. (4)
- **Z radionuklidů vznikajících v přeměnových řadách** je nejvýznamnější radium  $^{226}\text{Ra}$  a z něho vznikající plyn radon  $^{222}\text{Rn}$  s řadou dceřiných produktů, které jsou v pevné formě. (4, 5)

### 1.2.2 Umělé zdroje ionizujícího záření

Mezi další zdroje záření patří umělé zdroje ionizujícího záření, které jsou vytvořené člověkem a zahrnují **umělé radionuklidy, rentgenky, urychlovače, jaderné reaktory** a další. (5)

**Umělé radionuklidy** se v současné době připravují průmyslově ostřelováním atomových jader nabitými částicemi z urychlovačů nebo neutrony z jaderných reaktorů. Umělé radionuklidy vznikají rovněž jako štěpné produkty v energetických jaderných reaktorech nebo při pokusných jaderných explozích. V praxi se tyto radionuklidy využívají především v oblastech vědy, medicíny či techniky. (19)

**Rentgenka neboli rentgenová lampa**, je zjednodušeně řečeno trubice s vakuem uvnitř, kde součástí této trubice je žhavá katoda, která primárně slouží jako zdroj elektronů. Tyto elektrony jsou urychlovány a dopadají na terčík neboli anodu a díky nimž vzniká rentgenové záření. Hlavním úkolem rentgenky je tedy produkce rentgenového záření. Primární využití rentgenky je ve zdravotnictví. (6)

Dalším umělým zdrojem ionizujícího záření je **urychlovač částic**. Jedná se o technické zařízení, které se používá pro dodání kinetické energie nabitým částicím. Ionty, elektrony či pozitrony, tedy nabité částice jsou v urychlovači jednou nebo opakovaně urychleny rozdílem potenciálů elektrického pole. Urychlovače se používají k výzkumu elementárních částic nebo v technické praxi či medicíně. Rozlišujeme dva základní typy urychlovačů – lineární a kruhový. (7)

Lineární urychlovač je pojmenován podle toho, že jsou v něm elektrony urychlovány elektromagnetickou vlnou po přímkové dráze. Tyto urychlovače slouží i jako zdroje brzdného rentgenového záření s energií několikanásobně vyšší, než mohou poskytnout rentgenky. V praxi se můžeme setkat s lékařskými urychlovači s energií do desítek MeV. Výhodou tohoto urychlovače je poměrně jednoduchá konstrukce, avšak nevýhodou jsou jeho rozměry a potřeba vysokého napětí. Lineární urychlovač se používá v lékařství při léčbě nádorových onemocnění. (7, 5)

U kruhového urychlovače je dráha zakřivena magnetickým polem a částice jsou obdobně jako u urychlovače lineárního urychlovány elektrickým polem. Příkladem tohoto urychlovače je cyklotron, který slouží k získávání nabitých částic o velmi vysoké energii. Cyklotrony posluhují především k výrobě radionuklidů pro aplikaci v lékařství a jiných oborech. (7, 5)

Jestliže nebereme v úvahu jadernou pumu, tak k nejmohutnějším zdrojům ionizujícího záření patří **jaderné reaktory**. V těchto zařízeních probíhá řízené štěpení

jader a řadí se k mohutným zdrojům neutronů a záření  $\gamma$ . Jaderné reaktory jsou buďto rychlé nebo tepelné, podle toho, zda se jádra štěpí neutrony rychlými nebo tepelnými. Tepelné jaderné reaktory jsou ve světě nejrozšířenější především k výrobě elektrické energie v jaderných elektrárnách.

V principu při štěpení vznikají rychlé neutrony a ty je potřeba pro štěpení dalšího jádra v těchto typech reaktorů zpomalit. Podle použitého moderátoru rozlišujeme zejména reaktory těžkovodní, lehkovodní a grafitové. Mezi nejpoužívanější v jaderných elektrárnách patří lehkovodní reaktory, které jsou buďto tlakové nebo varné. V jaderných reaktorech se rovněž vyrábějí radionuklidy, které slouží k aplikaci v lékařství a jiných oborech. (1, 5)

### 1.2.3 Využití ionizujícího záření v radioterapeutických odděleních

Ozáření lidí vyšetřovaných nebo léčených pomocí zdrojů ionizujícího záření je bezpochyby nejvyšším ozářením obyvatel mimo přírodní zdroje. V některých zemích na světě je to prakticky jediné ozáření obyvatel z umělých zdrojů. (20)

Zdroje ionizujícího záření, které se používají na radioterapeutických odděleních, jsou primárně využívány pro zevní ozáření i pro brachyterapii. K zevnímu ozáření se používají přístroje, které tvoří fotonové záření s vysokou energií, vedle již zmíněných lineárních urychlovačů jako jsou **kobaltové a cesiové ozařovače**. K radionuklidovým zdrojům pak řadíme také **Leksellův gama nůž**. V již zmiňované brachyterapii se v současnosti používají k aplikaci záření **automatické afterloadingové přístroje**. (20)

**Kobaltové a cesiové ozařovače** jsou ozařovače se zdrojem záření  $\gamma$ . Kobalt  $^{60}\text{Co}$  má fyzikální poločas přeměny více jak 5 let a emituje záření  $\gamma$  o 2 energiích 1,33 a 1,17 MeV, které jsou rovněž velmi pronikavé. Kobalt  $^{60}\text{Co}$  je ve většině případů uzavřen ve formě drobných válečků či plochých kroužků v ocelovém nebo hliníkovém kontejneru o rozměrech 24 x 24 mm. Ochranná hlavice má pak tvar koule s průměrem až 60 cm. Tato hlavice je z olova a uvnitř se nachází jádro, které je z wolframové slitiny nebo uranu. (20)

V případě **Leksellova gama nože** je polosféricky umístěno celkem 201 zdrojů záření  $\gamma$  izotopu kobaltu  $^{60}\text{Co}$ . Svazky paprsků z těchto zdrojů jsou usměrněny tak, že se ve společném ohnisku protínají. Dávka záření jednotlivého svazku paprsků je sama o sobě velmi malá, avšak v ohnisku, kde se tyto dávky protínají se rovněž i sčítají. Dávka v ohnisku je velmi vysoká a v živé tkáni vyvolá biologickou odpověď, zatímco dávka, která je vyvolána pouze jednotlivým paprskem signifikantní odpověď nevyvolá. (20)

Brachyterapií se rozumí metoda, při které jsou radioaktivní zářiče zaváděny do orgánů. Nejpoužívanějším izotopem v brachyterapii bylo radium  $^{226}\text{Ra}$ . V tomto případě se jednalo o dlouhý poločas přeměny (1620 let), a proto nebylo nutné měnit zdroje. K nevýhodám se řadila možnost úniku radonu  $^{222}\text{Rn}$ . Později se v brachyterapii začaly používat také umělé radioizotopy (cesium  $^{137}\text{Cs}$ , jód  $^{125}\text{I}$ , iridium  $^{192}\text{Ir}$ ). Radioizotopy se zpočátku zaváděly ručně, což způsobilo značnou expozici personálu, který s nimi přišel do styku. Na začátku 80. let 20. stol. se začal používat **automatický afterloadingový přístroj**. Tento přístroj se skládá ze zásobního kontejneru, který způsobuje stínění jednoho nebo více zdrojů. Zdroje jsou v tomto případě uzavřeny v pevném kovovém obalu, takže je znemožněno jejich uvolnění. Obvykle se nejprve do orgánu zavede trubička z plastické hmoty (aplikátor), do které je vložena pouze maketa zářiče. Teprve po kontrole správnosti zavedení je do aplikátoru zaveden vlastní zářič iridium  $^{192}\text{Ir}$ , cesium  $^{137}\text{Cs}$ . (20)

#### 1.2.4 Využití ionizujícího záření v radiologických odděleních

K vyšetřujícím technikám, které využívají rentgenové paprsky, patří **skiografie** a **skiaskopie**. V případě skiagrafičkových vyšetření se obraz vytváří dvěma způsoby, a to buď přímým působením rentgenového svazku na film, nebo svazek záření dopadá přímo na digitální senzor. Na principu zeslabení svazku záření po průchodu pacientem je rovněž založena **výpočetní tomografie**. (20)

**Skiografie** je diagnostická metoda, která využívá rentgenové záření pro zobrazení tvrdých i měkkých tkání. Výsledný obraz je pak zachycován na citlivý

materiál – rentgenový film či detekční systém přístroje. Z obrazu jsme poté schopni odhadnout vnitřní stavbu vyšetřovaného orgánu či jeho poranění. Rentgenové vyšetření se používá především k vyšetřování kloubů, kostí, plic či páteře. (20, 21)

**Skioskopie** je radiologická vyšetřující metoda, která za pomoci rentgenového záření poskytuje zobrazení lidského těla v reálném čase. Při vyšetření je kontinuální informace vytvářena dopadem rentgenového záření na fluorescenční stínítko zesilovače obrazu, který je spojen s televizním řetězcem a televizním monitorem. Záznam obrazu se provádí dvěma způsoby buď v digitální podobě, nebo na filmový materiál. Skioskopie se používá především k zobrazení žlučových cest, močového měchýře a trávicí trubice. Orgány jsou zobrazovány pomocí kontrastní látky, která zabraňuje průchodu rentgenového záření. (20)

**Výpočetní tomografie** neboli CT je zobrazující metoda, která využívá digitální zpracování dat o průchodu rentgenového záření. Princip u výpočetní tomografie je stejný jako při klasickém snímkování. Jedná se tedy o zobrazující metodu, která za použití rentgenového záření umožňuje zobrazit celé tělo v sérii řezů. Výpočetní tomografie dokáže zobrazit měkké tkáně jako např. ledviny, slezinu, mozek či svalstvo. Před i během vyšetření výpočetní tomografií se často podává kontrastní látka, která dokáže zvýraznit rozdíly mezi tkání normální a patologickou. (22, 20)

### **1.2.5 Využití ionizujícího záření v nukleární medicíně**

V nukleární medicíně se uplatňují pouze radionuklidy umělé, které mají vhodné fyzikální charakteristiky. Vhodnými fyzikálními charakteristikami se rozumí fyzikální poločas přeměny v rozmezí několika hodin až desítek dnů, emise záření  $\beta$  a  $\gamma$ , energie záření  $\gamma$  v rozmezí od 30 keV do 511 keV. Jestliže se radiofarmakum ve vyšetřovaném orgánu v dostatečném množství nahromadí, je možné orgán zobrazit za pomoci zevní detekce záření  $\gamma$ . Zobrazovací systémy jsou schopny poskytnout obraz a rovněž udávají informace o distribuci radiofarmaka v zorném poli detektoru. Přístroje, které detekují záření vycházející z radiofarmak rozdělených v organismu, jsou čistě založeny



na scintilačním principu detekce. Dle způsobu zobrazení se dělí na **planární** a **tomografické (SPECT, PET)**. (20)

V případě **planární scintigrafie** dochází po aplikaci radioindikátoru k jeho distribuci v určitých částech organismu. Tuto distribuci je možné pomocí zevní detekce vycházejícího záření  $\gamma$  zobrazit scintilační kamerou. V počítači pak dále vznikají scintigrafické obrazy v digitální podobě, které buďto můžeme hodnotit vizuálně nebo pomocí křivek matematicky analyzovat vyšetřované procesy a v neposlední řadě počítat kvantitativní parametry funkce jednotlivých orgánů. (20)

Jednofotonová emisní tomografie neboli **SPECT**, je zobrazující metoda, která je schopna zobrazit prostorové rozložení radiofarmaka v těle. Při vyšetření se jeden až tři detektory otáčejí kolem těla pacienta a zhotovují tak velké množství projekcí. Získaná data jsou pak uložena v paměti počítače pro další zpracování a rekonstrukci obrazů ve třech vzájemně kolmých rovinách – transversální, frontální a sagitální. Tato metoda se využívá a soustřeďuje na zobrazení funkce daných orgánů. (20)

Pozitronová emisní tomografie neboli **PET**, je diagnostická zobrazující metoda, která umožňuje na tomografických řezech sledovat rozložení radiofarmaka v těle. Základním principem této diagnostické zobrazující metody je detekce dvou anihilačních fotonů  $\gamma$ , které vznikají ve tkáni při interakci pozitronu s elektronem. Tyto dva fotony vzniknou ve stejný okamžik a se stejnou energií 511 keV a dále emitují v opačných směrech do okolního prostoru, kde dopadnou na dva protilehlé detektory. PET kamera obsahuje buď sudý počet detektorů, které rotují kolem těla pacienta nebo velké množství detektorů ve stacionárních prstencích, které jsou uspořádány v řadách. Tato zobrazující metoda se využívá především v kardiologii, onkologii a neurologii. (20)

### 1.2.6 Využití ionizujícího záření v průmyslu

K průmyslovým zdrojům ionizujícího záření řadíme především jaderné reaktory a zdroje záření, které mohou být buď trvale instalovány v průmyslovém podniku, nebo se

v průmyslovém procesu odebírají vzorky, které se poté studují a analyzují na speciálních pracovištích. (20)

Z jaderných reaktorů se do životního prostředí uvolňují radionuklidy, které mohou vznikat buď v jaderných elektrárnách, nebo ve výzkumných reaktorech. Při výrobě energie jaderným reaktorem vznikají radionuklidy štěpením v palivu (štěpné produkty) nebo aktivací neutrony v palivu samém (aktivační produkty). Radionuklidy se dostávají do chladiva primárního okruhu různými cestami, jako např. aktivací paliva, koroze konstrukčního materiálu nebo difusí štěpných produktů. Veškeré reaktory vlastní systém pro záchyt radionuklidů v kapalně či plynné formě. Radionuklidy, které se nacházejí v primárním okruhu, jsou zdrojem externího a potenciálně i vnitřního ozáření pracovníků a prostřednictvím výpustí jsou rovněž zdrojem ozáření obyvatelstva.

Obsah štěpných produktů v reaktoru se nazývá inventář reaktoru. Inventář reaktoru je závislý na typu reaktoru a paliva a jeho stupni vyhoření. K celkovému inventáři aktivity radionuklidů výrazně přispívají i aktivační produkty, jejichž složení i aktivita závisí na složení konstrukčního materiálu a chladicího média v primárním okruhu. (20)

Do ovzduší jsou vypouštěny štěpné produkty a to ve formě vzácných plynů, jako jsou izotopy kryptonu a xenonu. Dále jsou vypouštěny do ovzduší i některé aktivační produkty jako např. dusík  $^{16}\text{N}$ , uhlík  $^{14}\text{C}$ , selen  $^{75}\text{Se}$ , síra  $^{35}\text{S}$  a další. Radionuklidy, které se vyskytují ve formě aerosolů, vznikly buďto jako produkt štěpení nebo rozpadem vzácných plynů vzniklých štěpením. (20)

Pojmem rozptyl záření, se rozumí děj, při kterém dochází ke snižování energie ionizujícího záření při průchodu látkou a rovněž změna pohybu směru částic záření.

K měření hustoty sypkých hmot, především pudy a písku se využívá měření hustoty z rozptylu záření  $\gamma$ . Sonda, která slouží k měření, zahrnuje zdroj záření  $\gamma$  ( $^{137}\text{Cs}$  nebo  $^{241}\text{Am}$ ) a detektor rozptýleného záření, který je od zdroje záření odstíněn pomocí olova. Sondu je také možné přiložit k povrchu materiálu. Jedná se proces, kdy do materiálu vstupuje záření ze zdroje a zaznamenává se vystupující rozptýlené záření, které se nazývá zpětný rozptyl. (10)

Ke geologickým průzkumům se používá takzvaná  $\gamma$ - $\gamma$  karotáž. Jedná se o metodu, kdy se sonda aplikuje do geologických vrtů, za účelem charakteristiky hornin v souvislosti s hustotou. K zjištění tloušťky tenkých kovových povlaků na podkladovém materiálu, například na skleněných zrcadlech slouží měření intenzity záření  $\beta$ . K dokonalejším analýzám z hlediska povrchových vrstev lze docílit pomocí rozptylu záření  $\alpha$ . U této metody hmotnost rozptylujících atomů závisí na energii rozptýleného záření. (10)

### 1.3 Zneužití zdrojů ionizujícího záření

Možnost zneužití zdrojů ionizujícího záření bývá spojována s terorismem případně i krádeží zdrojů, které se používají v medicíně či průmyslu. V tomto případě zde patří i nehody, které jsou spojeny se zdroji ionizujícího záření.

Terorismus se neřadí k novým fenoménům, nevznikl po jednom z největších teroristických útoků po 11. září 2001, kdy došlo k útoku na WTC (World Trade Center) v New Yorku, ale je starý jako samotná lidská civilizace. Příčiny teroristických útoků a teroristických organizací jsou vesměs stále podobné. Jedná se příčiny, které jsou úzce spjaty s rasovými, náboženskými či politickými důvody. Postupem času se však zdokonalily techniky a zbraně, které jsou používány k provedení útoku a dosažení cíle.

V podstatě rozlišujeme dva základní typy **radiologického terorismu**: (18)

- Jedná se o využití radioaktivní látky nebo zdroje ionizujícího záření (ZIZ), které jsou používány k útoku na veřejných místech s vysokou koncentrací obyvatel. Jedná se o kulturní akce, obchodní centra, různé typy shromáždění či prostředky hromadné přepravy (autobusy, metra, vlaky, letadla), či útok, který je zaměřený na konkrétní významnou osobu nebo skupinu osob (likvidace obchodního, náboženského či politického protivníka).
- Druhým typem radiologického terorismu se rozumí přímý útok

na zařízení, které nakládá či pracuje s významným ZIZ. Jedná se např. o jadernou elektrárnu.

Tyto dva typy útoku se liší především tím, že k prvnímu typu útoku může dojít takřka kdykoliv a kdekoliv, ačkoliv vyžaduje ne zrovna jednoduchou přepravu a dopravu ZIZ a radioaktivní látky (RaL) na místo plánovaného útoku. Druhý typ útoku je oproti prvnímu typu útoku lokalizován na výše uvedená zařízení a zajištění jejich ochrany může snížit pravděpodobnost úspěšného útoku. Oba typy těchto útoku však mají mnoho společných rysů. Mohou způsobit kontaminaci životního prostředí, ekonomické škody, ozáření osob apod. Nejvýznamnějším společným rysem obou typů radiologického terorismu je strach z ionizujícího záření neboli strach z ozáření. (18)

Použití ZIZ, RaL či zařízení je obsahující, může mít pasivní či aktivní formu. Pasivní formou se rozumí použití zařízení, které obsahuje vysoce aktivní, uzavřený radionuklidový zářič k vnějšímu ozáření vybrané osoby či skupiny osob. Aktivní formou se pak rozumí rozptyl radioaktivní látky, kde je cílem kontaminovat touto látkou danou oblast, prostor či médium a tím i ozařovat vnitřně i povrchově osoby, které se nachází v místě rozptylu. (18)

Mezi potencionální či realizované pokusy o útok za použití ZIZ nebo RaL, řadíme především útoky na konkrétní osoby. V mnoha případech se jednalo o smrtelné zevní ozáření oběti, kdy zářiče (cesium  $^{137}\text{Cs}$ , izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$ ) byly umístěny v blízkosti oběti. Nejčastěji se tyto zářiče umísťovaly do polštářů, křesel, palubních přihrádek aut či kancelářských stropů. Určitý počet případů se týkal i vnitřního ozáření osob. Jedním z příkladů, který se týká vnitřního ozáření osob, je případ, který se odehrál v letech 1994-1996, kdy student v Taiwanu „otravoval“ svého spolužáka fosforem  $^{32}\text{P}$ . Dalším významným případem, který se týkal vnitřního ozáření, je smrt bývalé důstojníka ruských tajných služeb Alexandra Litviněnka, který byl koncem roku 2006 zavražděn vysokou dávkou polonia  $^{210}\text{Po}$ . (18)

Mezi další případy můžeme řadit plánované, ba dokonce uskutečněné útoky na jaderná zařízení, ačkoliv bez jakýchkoliv radiologických důsledků. Převážná část těchto

útoků byla zaměřena především na nejaderné části jaderných zařízení, jako např. administrativní budovy, místa ostrahy či návštěvnická centra. K dalším případům pak řadíme i pokusy o útok na vojenská zařízení, sklady jaderných zbraní či hrozby spojené s kontaminací vodních reservoárů radionuklidy. (18)

Je důležité zmínit i rok 1979, kdy zaměstnanec bezpečnostní agentury ve Wilmingtonu (USA) ukradl přibližně 20 l oxidu uraničitého a hrozil tak jeho rozptýlením do okolí, pokud neobdrží odškodné ve výši 100 000 \$. Posléze byl zatčen a odsouzen k 15 letům vězení. O tři roky později v roce 1982 chtěl zase zaměstnanec jaderné elektrárny v Jižní Africe odpálit trhavinu a způsobit tak ekonomické škody jako projev odporu proti tehdejšímu režimu.(18)

### 1.3.1 Radiologický terorismus

Nejčastěji zmiňovanou aktivní formou radiologického terorismu je použití tzv. „špinavé bomby“. (18)

Špinavou bombou se rozumí radiologická zbraň, která je vytvořená s cílem rozšířit do životního prostředí radioaktivní látky se škodlivým biologickým účinkem. Nejedná se o jadernou zbraň, protože neobsahuje dostatečné množství štěpného materiálu na vznik jaderné reakce a při detonaci záření nedochází k jadernému výbuchu. Špinavá bomba je složena z dvou základních částí. První ze dvou částí je konvenční trhavina, jejímž hlavním úkolem je rozšířit radioaktivní materiál do okolí. Druhou částí je pak samotný zářič, který může být vytvořen z radioaktivních látek, které se běžně používají například v medicíně či jaderné energetice. Mezi izotopy, o kterých se uvažuje, že by mohly být použity k výrobě špinavé bomby, patří cesium  $^{137}\text{Cs}$ , stroncium  $^{90}\text{Sr}$ , izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$ , americium  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ . Hlavním principem špinavé bomby je zamoření prostoru exploze a následný vznik radioaktivního mraku, který se šíří v závislosti na síle větru, přičemž následný spad radioaktivních částic zamořuje další a další území. Tato území se pak stávají nebezpečné, z důvodu nemoci z ozáření a vzniku rakoviny.

Účinky špinavé bomby záleží především na druhu, době, intenzitě záření a v neposlední řadě hlavně také na množství použitého materiálu. Mezi další významné faktory, které ovlivňují účinek špinavé bomby, patří hustota obyvatelstva v oblasti nasazení, klimatické podmínky během a po výbuchu a stavební materiály používané v oblasti. (14)

Lze předpokládat, že tato poměrně jednoduchá příprava špinavé bomby a snadná dostupnost radioaktivních materiálů, které by se daly využít, může lákat velké množství teroristických skupin a jiných nebezpečných organizací. Avšak jednoznačné důkazy, že by některé teroristické skupiny či jiné organizace vlastnily špinavou bombu, chybí. Platí to i pro momentálně nejnebezpečnější teroristickou síť Al-Káida, které však v současnosti začínají konkurovat i jiné nebezpečné organizace. (14, 15)

Jedním z příkladů, který je úzce spojen se špinavou bombou, je rok 2002. V květnu roku 2002 byl v USA zadržen americký občan José Padilla, který měl velmi blízký vztah k teroristické síti Al-Káida a snažil se tak naplánovat útok špinavou bombou na americkém území. (14)

Za pokus o útok špinavou bombou můžeme považovat i případ, který se odehrál v listopadu roku 1995, kdy na základě anonymního telefonátu byl v jednom z moskevských parků objeven kontejner, který obsahoval cesium  $^{137}\text{Cs}$ . Rok 2001 je rovněž úzce spjat se špinavou bombou, neboť došlo v jednom skladu zbraní v Kábulu k nálezům materiálů a dokumentace, která sloužila k výrobě špinavé bomby. (18)

### 1.3.2 Nehody se zdroji ionizujícího záření

Radiační nehody, ke kterým došlo na pracovištích se zdroji ionizujícího záření (ZIZ), můžeme rozdělit do dvou kategorií:

- První kategorií jsou nehody, které vedou k ozáření, popřípadě kontaminaci pracoviště nebo pracovníků. V tomto případě nelze vyloučit ani uvolnění radioaktivních látek do životního prostředí či ztrátu ZIZ.
- Ke druhé kategorii se řadí nehody, které se staly ve zdravotnických zařízeních,

kde se ZIZ používá k terapeutickým a diagnostickým účelům, kdy při chybném ozáření je subjektem nehody pacient.

Největší počet radiačních nehod se stal při používání ZIZ v průmyslu (např. Yanango – Peru, San Salvador, Mexiko, Goiânia) a u zdrojů používaných v lékařství (např. San José – Costa Rica, Panama City – Panama, Bialystoku – Polsko). Téměř u většiny nehod se jednalo o zářiče  $^{192}\text{Ir}$ , izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$ , cesium  $^{137}\text{Cs}$  a radium  $^{226}\text{Ra}$ . (18)

### **Yanango, Peru**

V roce 1999 došlo v Yanango (Peru) k radiační nehodě při opravě potrubí u hydroelektrárny. Na příčině nehody se především podepsala snaha majitele, který chtěl co nejdříve provést opravu, tedy ihned po defektoskopické kontrole pomocí zářiče  $^{192}\text{Ir}$ . V tomto okamžiku však došlo k hrubému porušení předpisů pracovníků defektoskopické firmy, neboť při kontrole jednoho z úseků potrubí odešli na oběd a nekontrolovali, zda je zářič dostatečně ukryt. Později vyšlo najevo, že zářič byl špatně zapojen a vypadl na zem. Svářeč, který přišel opravit potrubí, zahlédl lesklý předmět na zemi a dal si je do kapsy, kde jej měl po dobu 7 hodin. Po několika hodinách chtěli pracovníci defektoskopické firmy pokračovat v měření, ale zjistili, že nemají zářič. Svářeč, kterému se mezitím udělalo nevolno, navštívil lékaře, který však jeho zdravotní stav nespojoval s ozářením. Šetření, které bylo zahájeno na základě podnětu defektoskopické firmy, vedlo po více jak 10 hodinách k nálezů onoho zářiče. Téměř po 20 hodinách od okamžiku, kdy svářeč přišel do kontaktu se zářičem, se dostal do nemocnice, kde byla okamžitě zahájena léčba. U pacienta v důsledku ozáření došlo k amputaci končetin. (18)

## **San Salvador**

V roce 1989 došlo k vážné radiální nehodě u průmyslového ozařovače, který byl určen především ke sterilizaci lékařských prostředků (izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$ , aktivita 660 TBq). Tento ozařovač byl již 15 let starý a tehdejší ekonomická situace v Salvadoru zapříčinila, že ZIZ neprocházel výrobcem nutnými revizemi či opravami, takže obsluhu nijak zvlášť nepřekvapovaly potíže technického rázu. V době před nehodou se na ozařovači vyskytovali poruchy spojené s pneumatickým ovládním zářičů. Když se po skončení ozařování zářič zasekl v ozařovací poloze, tři pracovníci se ho snažili zasunout ručně, avšak přitom obdrželi vysoké dávky. Teprve až za šest dní byl zjištěn zvýšený dávkový příkon v ozařovně, což přinutilo vedení firmy k důkladnému šetření. Posléze se ukázalo, že zářiče byly uvolněny z ozařovacího rámu. Pracovník, který obdržel nejvyšší dávku, zemřel 6,5 měsíců po nehodě, u zbylých dvou pracovníků došlo k amputaci dolních končetin. (18)

## **Mexiko**

V prosinci roku 2013 došlo ke krádeži kamionu poblíž hlavního města Mexika, který převážel velmi nebezpečný radioaktivní zdroj. Tato krádež takřka okamžitě obletěla celý svět. Ukázalo se, že kamion neprevážel běžný náklad, ale nebezpečný izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$ , který se používá k léčbě rakoviny. Kamion mířil z Tijuany na severu země do úložiště nedaleko hlavního města Mexico City. Ke krádeži došlo na čerpací stanici u města Tepojaco, kde řidič kamionu zastavil, aby si odpočinul a doplnil pohonné hmoty. Po chvíli, kdy odpočíval ve svém kamionu, byl přepaden dvěma ozbrojenými zloději, kteří ho donutili vystoupit z vozu a vůz mu ukradli. Následně byl ukradený kamion nalezen nedaleko města Hueyoxtla, které leží asi 40 kilometrů od čerpací stanice, kde ho zloději ukradli. Ředitel mexické Národní komise jaderné bezpečnosti Mardonio Jimenez upozornil, že by neznámí pachatelé mohli i umřít, protože ze zvědavosti otevřeli ochrannou schránku tohoto zařízení, takže mohli být zcela určitě vystaveni velmi silné intenzitě záření.



Zpočátku se uvažovalo o tom, zdali se nejednalo o krádež s účelem sestrojení takzvané špinavé bomby, za kterou by mohli být zodpovědné teroristické organizace. Podle vyšetřovatelů se ale pouze jednalo o zloděje, kteří zatoužili po drahém kamionu, aniž by věděli, co převáží. (16, 17)

## **Goiânia**

Nehoda, která se udála roku 1987 ve městě Goiânia, je typickým případem radioaktivní kontaminace. Jedná se o jednu z nejhorších radiologických nehod v Brazílii. Příčinou této závažné nehody nebyla havárie elektrárny, ale zapomenutý přístroj pro radioterapii jedné z opuštěných nemocnic. (12)

Roku 1985 došlo k uzavření soukromé kliniky. Navzdory tomu, že drtivá většina nemocničního komplexu byla zbourána, v jedné z budov zůstal zapomenutý téměř třístakilogramový radiometrický přístroj s chloridovou solí cesia  $^{137}\text{Cs}$ . V roce 1987, tedy o dva roky později na tento pozemek vstoupili dva mladí muži, kteří hledali železo, které by pak následně mohli prodat. Když tito muži zpozorovali tento velký přístroj, nejdříve se ho snažili rozebrat, avšak neuspěli a rozhodli se, že ho naloží na kolečko a odvezou domů. Účinky radioaktivní chloridové soli se projevovali velmi rychle, neboť už při cestě domů začali oba muži zvracet. Nenapadlo je, že by zdrojem nevolnosti mohl být právě onen přístroj, který v zabudovaném kanystru ukrýval malou kapsuli s vysoce radioaktivní chloridovou solí. Následující den se tento přístroj pokoušeli rozebrat, což zapříčinilo silné popáleniny na rukou obou mužů. Později se jim přece jenom podařilo pouzdro otevřít a uvnitř objevili hrudky radioaktivního cesia, ze kterého vycházela temně modrá zář. Radioaktivní kryt poté prodali sousedovi Devairovi Alvesovi Ferreirovi, který byl majitelem šrotoviště. I ten si modré záře ihned všiml a myslel si, že se jedná o něco nadpřirozeného a výjimečného. Devair Alves Ferreira byl z modré záře natolik unesen, že dokonce pozval rodinu i přátele k sobě domů, aby se na tuto „výjimečnou“ věc přišli podívat. Bratr Ferrerira dokonce část zářících částic rozsypal po podlaze, kde si hrála jeho šestiletá dcera, která si prášek potírala po kůži a obdržela dávku více jak 6 Gy. O měsíc později zemřela. Devairova manželka po

několika dnech shromáždila veškeré zbytky přístroje a odvezla je do nejbližší nemocnice. Jeden z doktorů okamžitě vytyčil nebezpečí a okamžitě povolal fyzika, který potvrdil zdroj záření. Následně došlo k okamžité evakuaci obyvatelstva z dané oblasti. Byla zjištěna vnitřní a vnější kontaminace u více jak 250 osob a čtyři osoby z nich zemřely. (12, 13)

Dodnes je tato nehoda v rámci stupnice INES (*International Nuclear and Radiological Event Scale*) na stupni číslo 5. V porovnání s ostatními závažnými nehodami, mají havárie v Černobylu a Fukušimě stupeň 7. (12, 13)

### **San José, Costa Rica**

V roce 1996 v nemocnici San José (Costa Rica) došlo k nehodě po výměně terapeutického zářiče (izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$ ). Při výměně tohoto terapeutického zářiče došlo k chybě při výpočtu dávkového příkonu při ozařování pacientů. Díky této chybě na zářiči bylo během 9 měsíců přezářeno více jak 115 pacientů dávkami, které byly o 60 % vyšší, než bylo původně plánováno. V tomto období 49 pacientů zemřelo a 17 z nich v důsledku přezáření. (18)

### **Panama City, Panama**

Podobná nehoda se stala i v roce 2000 v Panama City (Panama), kdy došlo k chybnému ozáření více jak 28 pacientů, 5 z nich v důsledku přezáření zemřelo. Chyba byla způsobena změnou konfigurace a počtu stínících bloků, tudíž systém nesprávně interpretoval a vypočetl tak chybnou dávku i ozařovací čas. (18)

### **Bialystoku, Polsko**

Další nehoda se stala v roce 2001 v Bialystoku (Polsko), kdy došlo u lineárního urychlovače k automatickému přerušení ozařování pacienta v důsledku výpadku proudu. Při obnovení proudu byl pak pacient „dozářen“ a 4 další ozařováni. Když dva

z těchto pacientů cítili štiplavé svědění, byla provedena dozimetrická kontrola podmínek ozařování a bylo zjištěno, že realizované dávky byly vyšší než plánované. (18)

## 1.4 Statistické metody

Statistika je vědní disciplínou s velmi širokým uplatněním, jež nemá vlastní předmětnou oblast v reálném životě. Statistika tedy zahrnuje veškeré obory lidské činnosti, které se zabývají číselnými údaji. Tato vědní disciplína slouží jako nástroj pro získávání informací, ale rovněž je možné ji využít i pro řešení jakýchkoliv odborných problémů. Předmětem zkoumání jsou zákonitosti kvantitativní stránky hromadných jevů ve spojitosti s jejich stránkou kvalitativní. Moderní statistika využívá buďto prvky klasické popisné statistiky, tak i prvky statistiky matematické, které jsou postaveny na teorii pravděpodobnosti. (23, 24, 25, 26, 27)

### 1.4.1 Základní metody matematické statistiky

Matematická statistika je vědecká disciplína, která vytváří metody pro analýzu dat a využívá při tom statistické indukce. Cílem této statistiky je vyjádřit výsledky popisné statistiky vhodnými konstrukty odvozenými z teorie pravděpodobnosti a ty dále matematicky zpracovávat. K základním metodám matematické statistiky řadíme neparametrické testování, parametrické testování, teorii odhadů a v neposlední řadě i měření statistických závislostí. (28, 29)

#### A. Elementární statistické zpracování

Elementární statistické zpracování je využíváno ke zpracování naměřených četností. Slouží pro uspořádání, grafické vyjádření a parametrizaci výsledků měření vhodnými empirickými parametry. Základními výsledky elementárního statistického zpracování jsou **tabulka, empirická rozdělení četností a empirické parametry**. (28)

**Tabulka** představuje formu uspořádání výsledků měření a skládá se z osmi sloupců. První čtyři sloupce jsou potřebné pro zpřehlednění výsledků měření a pro znázornění empirického rozdělení. Zbývající čtyři sloupce mají pomocný význam a slouží k snadnému a rychlému výpočtu empirických parametrů. (28)

**Empirická rozdělení četností** lze rozdělit na dva základní druhy. První druh přiřazuje prvkům škály odpovídající absolutní nebo relativní četnosti, druhý přiřazuje prvkům škály odpovídající kumulativní četnosti. Při použití souřadnicového systému jsou na vodorovnou osu nanášeny prvky škály  $x_i$ , na svislou osu odpovídající četnosti. (28)

**Empirické parametry** vystihují povahu zkoumaného statistického souboru. Ve většině případů jsou empirické parametry vztahovány k výběrovému statistickému souboru, přičemž jsou často pojmenovány jako „výběrové parametry“. Empirické parametry můžeme rozdělit podle toho, který rys zkoumaného statistického souboru vystihují: parametry polohy, proměnlivosti (variability), šikmosti nebo špičatosti. Dalším dělením je dělení empirických parametrů podle způsobu jejich výpočtu a to na parametry momentové a kvantilové. Momentové parametry se rozdělují na obecné momenty, centrální momenty a normované momenty. Pomocí obecného momentu 1. řádu lze charakterizovat parametr polohy (aritmetický průměr), pomocí centrálního momentu 2. řádu lze charakterizovat parametr proměnlivosti a pomocí normovaného momentu 3. a 4. řádu je možné charakterizovat parametry šikmosti a špičatosti. (28)

#### **a) Formulace statistického šetření**

Nejprve je důležité vymezit následující pojmy v oblasti deskriptivní statistiky:  
hromadný náhodný jev (HNJ);  
statistická jednotka (SJ);  
statistický znak (SZ);  
hodnoty statistického znaku (HSZ);  
základní statistický soubor (ZSS).

## b) Škálování a měření

V případě škálování bude v bakalářské práci použita kvantitativní metrická škála. Počet  $k$  prvků škály bude vypočítán za užití Sturgesova pravidla, které určuje přibližný počet intervalů, na který se rozdělí seřazený soubor dat. Toto pravidlo má tvar  $k = 1 + 3,3 * \log n$ , kde  $n$  označuje rozsah výběrového statistického souboru (VSS).

Měřením se rozumí proces, ve kterém jsou každé statistické jednotce výběrového statistického souboru (VSS) přiřazovány prvky škály. Výsledkem měření je pak zápis vyjadřující, kolikrát ( $n_i$  krát) byl prvek škály  $x_i$  naměřen. Je nutné, aby byl součet všech absolutních četností ( $n_i$ ) roven celkovému počtu všech statistických jednotek ( $n$ ) výběrového statistického souboru (VSS). Relativní četnost ( $n_i/n$ ) vyjadřuje pravděpodobnost výsledků  $x_i$ , které mohou nastat při měření. Určuje tedy rozdělení náhodné veličiny. Kumulativní četností ( $\sum n_i/n$ ) je nazývána pravděpodobnost, že nastane výsledek, který je menší nebo roven  $x_i$ . Kumulativní četnost dále členíme na kumulativní absolutní četnost udávající aktuální četnost plus součet všech předchozích četností a kumulativní relativní četnost udávající aktuální relativní četnost plus součet všech předchozích relativních četností.

## c) Elementární statistické zpracování

Výsledky, které jsou získány na základě měření, jsou přiřazeny do škál, zaznamenány do tabulky a následně se vyjádří graficky a empirickými parametry. V předkládané bakalářské práci bude vytvořena tabulka o celkovém počtu 10 sloupců:

1. sloupec $x_i$	prvky škály
2. sloupec $x_i (a;b)$	interval
3. sloupec $x_i$ střed $(a;b)$	střed intervalu
4. sloupec $n_i$	absolutní četnosti škály
5. sloupec $n_i/n$	relativní četnosti prvků škály
6. sloupec $\sum n_i /n$	kumulativní četnosti
7. sloupec $n_i x_i$	pomocný součin
8. sloupec $n_i x_i^2$	pomocný součin
9. sloupec $n_i x_i^3$	pomocný součin
10. sloupec $n_i x_i^4$	pomocný součin

Dalším krokem je sestavení polygonů absolutních a kumulativních četností. V práci budou použity empirické parametry, mezi něž patří parametr polohy (vážený aritmetický průměr), parametr variability (empirický rozptyl, směrodatná odchylka) a parametr šikmosti.

## **B. Neparametrické testování**

Základním principem tohoto testování je přiřazení teoretického rozdělení empirickému rozdělení. Teoretické rozdělení je tedy spjato s matematickým aparátem, který slouží k získávání jinak nedostupných informací. (28)

### ***Aparát neparametrického testování***

Základním principem pro ověřování hypotéz parametrických i neparametrických je využití hypotéz nulových  $H_0$  a hypotéz alternativních  $H_a$ . Nulová hypotéza v případě neparametrických hypotéz předpokládá, že empirické rozdělení je možné nahradit zamýšleným teoretickým rozdělením (pokud se jedná o nahrazení normálním rozdělením, hovoří se o testu normality). Naproti tomu alternativní hypotéza předpokládá, že tato domněnka není správná. Principem testování neparametrických hypotéz je komparace teoretických a empirických četností. Empirické četnosti jsou vypočítávány pomocí elementárního statistického zpracování, teoretické četnosti jsou vypočítávány pomocí pravděpodobnostní funkce nebo hustoty pravděpodobnosti. (28)

Jako první krok je nezbytné provést **neparametrické testování hypotéz**. Důležité je rozdělit četnosti na základě intervalů. Ve druhém kroku pak již bude probíhat neparametrické testování pro zpracování dat zvoleným chí - kvadrát testem následované testováním normality.

## **C. Parametrické testování**

Základním principem parametrického testování je srovnání teoretických parametrů probíhajícího statistického šetření s jinými dosaženými výsledky. Testování

parametrických hypotéz vychází z nulové hypotézy a alternativní hypotézy čili  $H_0$  a  $H_a$ , tento aparát je rovněž doplněn aparátem kritického oboru  $W$ . (28)

Parametrické testování můžeme dále rozdělit na jednovýběrové a dvojevýběrové testování hypotézy. U jednovýběrového testování hypotézy o střední hodnotě se využívají především jednovýběrové testy (u-test a t-test) a v případě testování rozptylu je používán jednovýběrový  $\chi^2$ -test. Při dvojevýběrovém testování hypotézy o rovnosti středních hodnot jsou využívány dvojevýběrové testy (u-test a t-test) a v případě testování rovnosti rozptylů je používán F-test. (28)

### ***Dvojevýběrové parametrické testování***

Dvojevýběrové parametrické testování vychází ze srovnání empirického parametru  $\mu_1$  nebo empirického parametru  $\sigma_1$  (těmito symboly jsou označovány výsledky elementárního statistického zpracování výběrového statistického souboru  $VSS_1$ , jejichž prostřednictvím byly odhadnuty příslušné teoretické parametry  $\mu_1$ ,  $\sigma_1$  odpovídajícího normálního rozdělení) s nějakými vnějšími teoretickými údaji  $\mu_2$ ,  $\sigma_2$ , jejichž původ lze obvykle nalézt ve výsledcích zkoumání jiného výběrového statistického souboru  $VSS_2$ . (28)

Postup při parametrickém testování je podobný jako při neparametrickém testování. Nejprve je nutné naformulovat nulovou i alternativní hypotézu a zvolit hladinu významnosti  $\alpha$ . Poté vybrat vhodné statistické kritérium (u-test, t-test,  $\chi^2$ -test, F-test) a nalézt jeho kritickou hodnotu a zapsat odpovídající kritický obor  $W$ . Dále je nutné přistoupit k výpočtu empirické hodnoty testového kritéria a zjistit, zda je či není prvkem kritického oboru  $W$ ., pokud je empirická hodnota prvkem kritického oboru  $W$ , je nutné přijmout alternativní hypotézu  $H_a$ , v opačném případě pak hypotézu nulovou  $H_0$ . (28)

V případě parametrického testování hypotéz jsou stanovené hypotézy ověřovány na základě dvouvýběrového t-testu na základě vztahu:

$$t_{exp} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{x_1}^2 + (n_2 - 1)S_{x_2}^2}} * \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}};$$

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



## 2 Hypotézy a metodika výzkumu

### 2.1 Hypotézy

Aby byly vymezené cíle práce splněny, bylo nutné nastudovat odbornou literaturu, která sloužila jako podklad pro vypracování teoretické části práce, a formulovat hypotézy testované v praktické části bakalářské práce.

H1: Znalosti obyvatelstva Jihočeského kraje v oblasti zneužití zdrojů ionizujícího záření mají normální rozdělení.

H2: Rozdíl ve znalostech obyvatelstva v malých obcích a městech bude statisticky významný.

Stanovené hypotézy budou v bakalářské práci testovány na základě metod deskriptivní a matematické statistiky.

### 2.2 Metodika výzkumu

Téma předkládané bakalářské práce bylo zpracováno na základě odborné literatury spolu s využitím internetových zdrojů vztahujících se k problematice ionizujícího záření. Důležité bylo pečlivé prostudování všech použitých zdrojů a jejich následné využití při psaní teoretické části předkládané práce.

Praktická část bakalářské práce obsahuje výsledky dotazníkového šetření zabývající se danou problematikou. Dotazník se skládá ze 13 uzavřených otázek zaměřujících se na zjištění znalostí respondentů v oblasti ionizujícího záření a jeho zneužití. Tento dotazník byl účastníkům dotazníkového šetření předložen ve formě testu, viz příloha A. U každé otázky byly na výběr čtyři možnosti, z nichž byla pouze jedna správná.

Zpracování dotazníkového šetření v praktické části práce je uskutečněno za pomoci metod matematické statistiky, ve které je zapotřebí mít dostatečný počet statistických jednotek. Celkem bylo vyplněno 200 dotazníků, přičemž respondenti byli osloveni v městech a druhou skupinou obyvatel byli obyvatelé v obcích do 1 500 obyvatel.

Náhodně vylosovanými městy Jihočeského kraje byly České Budějovice a Strakonice a vybranými obcemi pak Borek, Boršov nad Vltavou, Dříteň, Dubné a Kamenný Újezd. Dotazníky byly občanům výše uvedených měst a obcí předány v tištěné formě. Jejich návratnost byla stoprocentní, protože dotazníkové šetření probíhalo kontaktní formou. Výběr respondentů byl náhodný. Dotazování bylo prováděno ve věkových kategoriích mezi 18 – 70 lety a dotazníkové šetření probíhalo v období od května do června 2016.

Odpovědi respondentů na jednotlivé otázky byly vyhodnoceny a statisticky zpracovány pomocí metod deskriptivní a matematické statistiky a k zajištění větší přehlednosti byly zpracovány i graficky. V práci se vyskytují dva druhy grafů. Prvním je výsečový graf znázorňující počet správných a špatných odpovědí vyjádřených v procentech a druhým je sloupcový graf znázorňující počet správných a špatných odpovědí respondentů z obcí a měst. Ke každé otázce z dotazníku je uveden i krátký komentář autora práce.

## 3 Výsledky

Výsledky bakalářské práce jsou znázorněny pomocí tabulek a grafů vytvořených v programu MS Excel.

### 3.1 Výsledky dotazníkového šetření

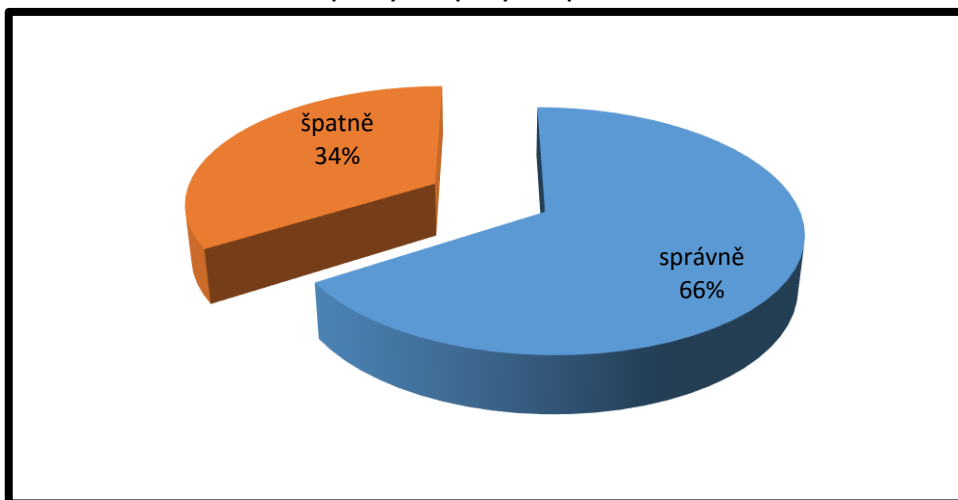
V následující kapitole jsou prezentovány výsledky z provedeného dotazníkového výzkumu. Aby byla pro čtenáře zajištěna větší přehlednost, výsledky jsou zpracovány i v grafickém provedení. Dotazníkové šetření probíhalo ve dvou městech (České Budějovice, Strakonice) a pěti obcích (Borek, Boršov nad Vltavou, Dříteň, Dubné, Kamenný Újezd).

Otázka č. 1: Kdo objevil rentgenové záření?

- a) Antoine Henri Becquerel
- b) Pierre Currie
- c) Wilhelm Conrad Röntgen**
- d) Sir James Chadwick

Na Obrázku 1 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 1 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 1

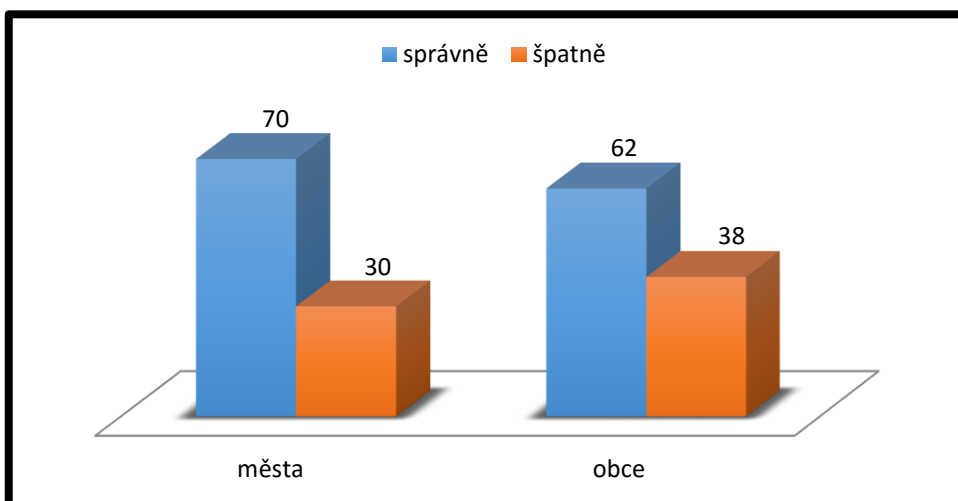


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 66 % dotázaných, tedy 132 respondentů (70 z měst, 62 z obcí). Chybnou odpověď označilo 34 % dotázaných, tedy 68 respondentů.

Na Obrázku 2 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 2 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 1



Zdroj: vlastní výzkum

Na otázku odpovědělo správně 132 respondentů (66 %), tj. 70 respondentů z měst a 62 respondentů z obcí. Zbývajících 68 dotázaných, tj. 30 respondentů z měst a 38 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (34 %).

Otázka č. 2: Jaké druhy ionizujícího záření znáte?

**a) alfa, beta, gama, rentgenové záření**

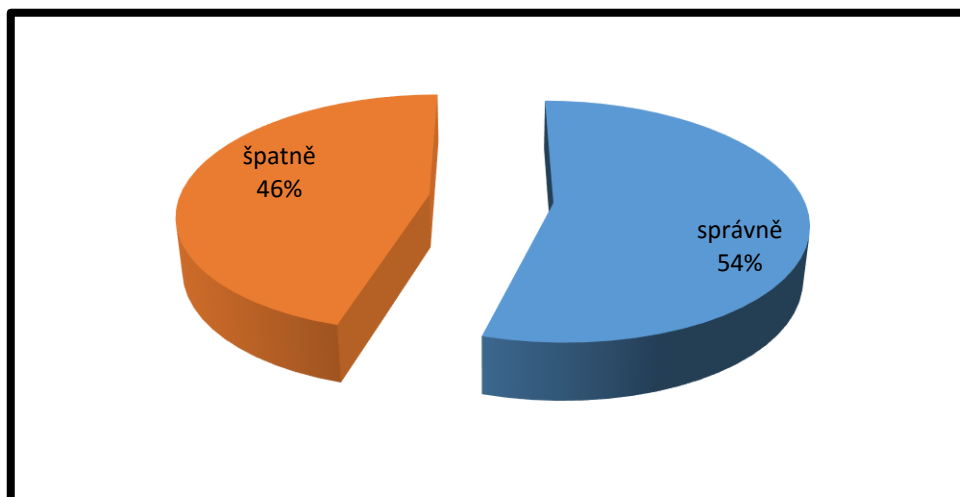
b) a, b, c

c) 1, 2, 3

d) primární, sekundární

Na Obrázku 3 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 3 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 2

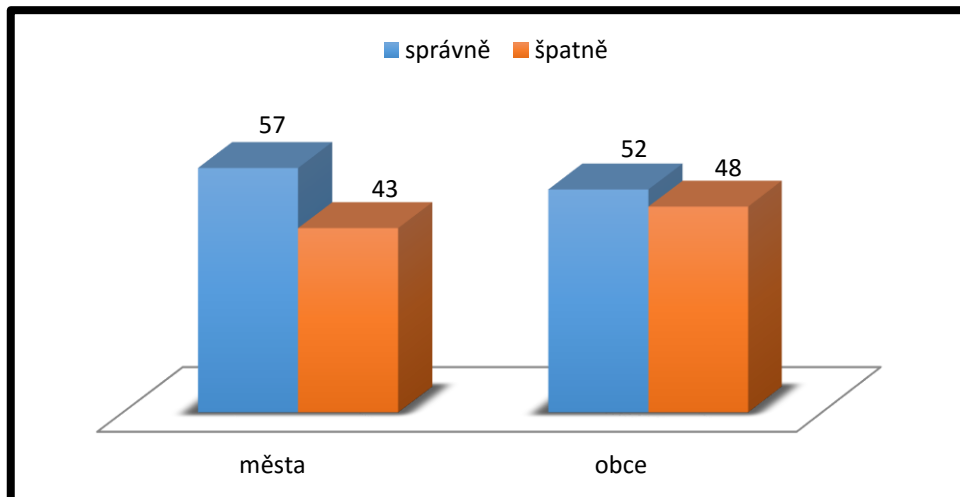


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 54 % dotázaných, tedy 109 respondentů (57 z měst, 52 z obcí). Chybnou odpověď označilo 46 % dotázaných, tedy 91 respondentů.

Na Obrázku 4 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 4 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 2



Zdroj: vlastní výzkum

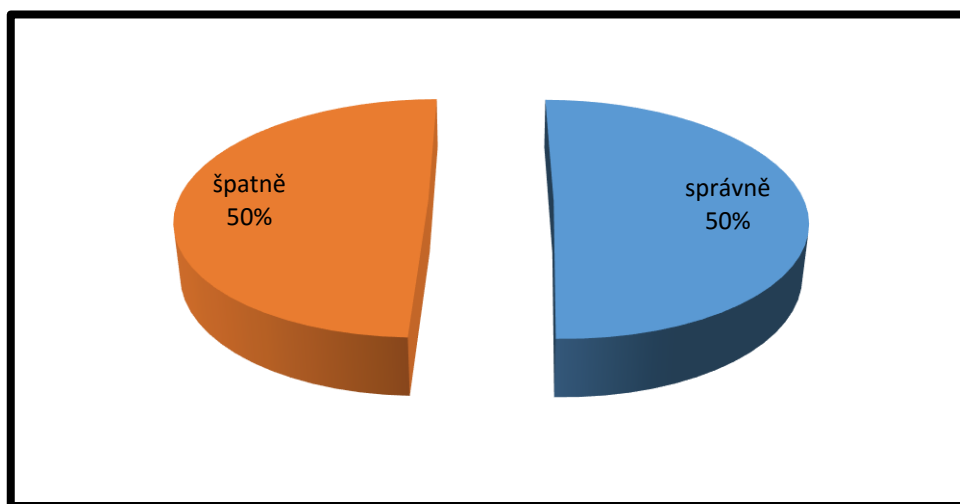
Na otázku odpovědělo správně 109 respondentů (54 %), tj. 57 respondentů z měst a 52 respondentů z obcí. Zbývajících 91 dotázaných, tj. 43 respondentů z měst a 48 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (46 %).

Otázka č. 3: Zdroje ionizujícího záření se využívají:

- a) pouze v lékařství
- b) nevyžívají se nikde, jsou škodlivé
- c) v lékařství, zemědělství, průmyslu, jaderných elektrárnách**
- d) pouze ve výzkumných ústavech

Na Obrázku 5 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 5 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 3

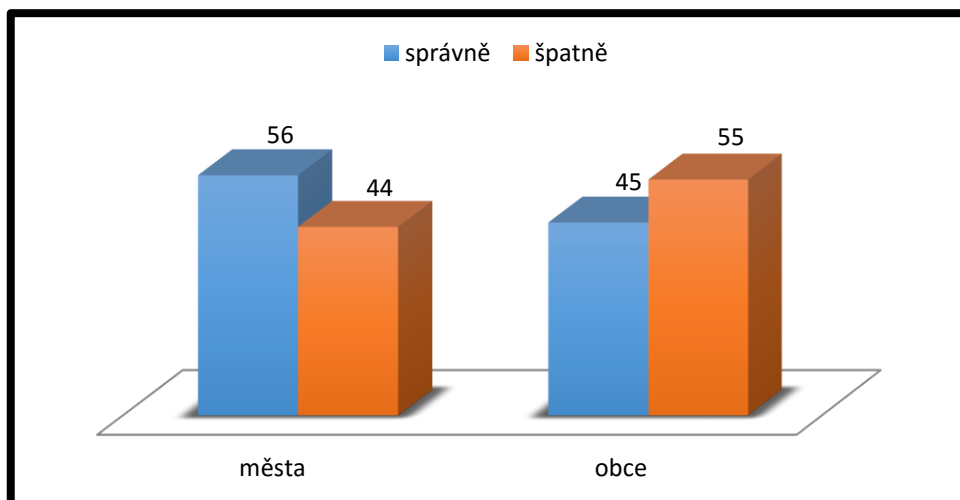


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 50 % dotázaných, tedy 100 respondentů (55 z měst, 45 z obcí). Chybnou odpověď označilo 50 % dotázaných, tedy 100 respondentů.

Na Obrázku 6 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 6 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 3



Zdroj: vlastní výzkum

Na otázku odpovědělo správně 100 respondentů (50 %), tj. 55 respondentů z měst a 45 respondentů z obcí. Zbývajících 100 dotázaných, tj. 45 respondentů z měst a 45 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (50 %).



Otázka č. 4: Došlo na území České republiky ke ztrátě zdroje ionizujícího záření?

a) ano

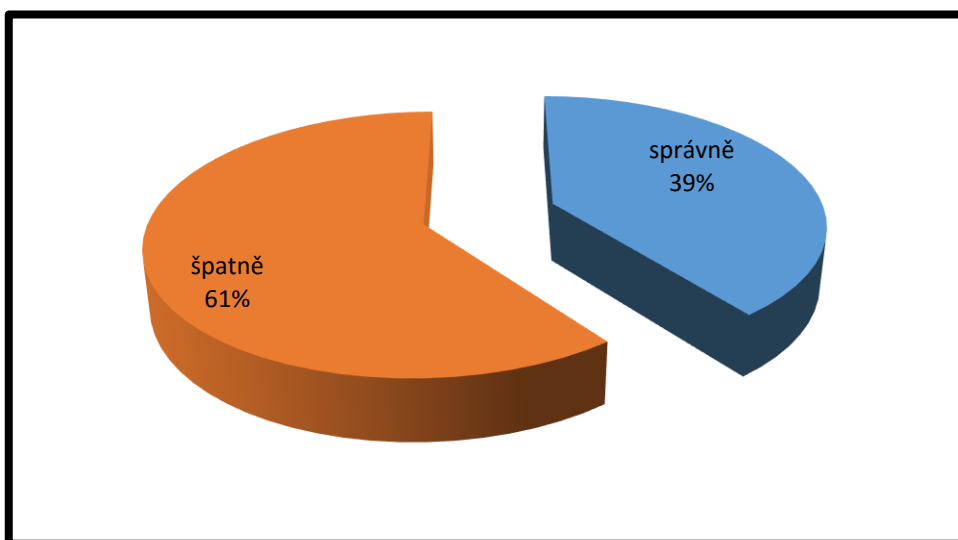
b) ne

c) nevím

d) ke ztrátě zdroje ionizujícího záření došlo na území Slovenska v době společné

Na Obrázku 7 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 7 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 4

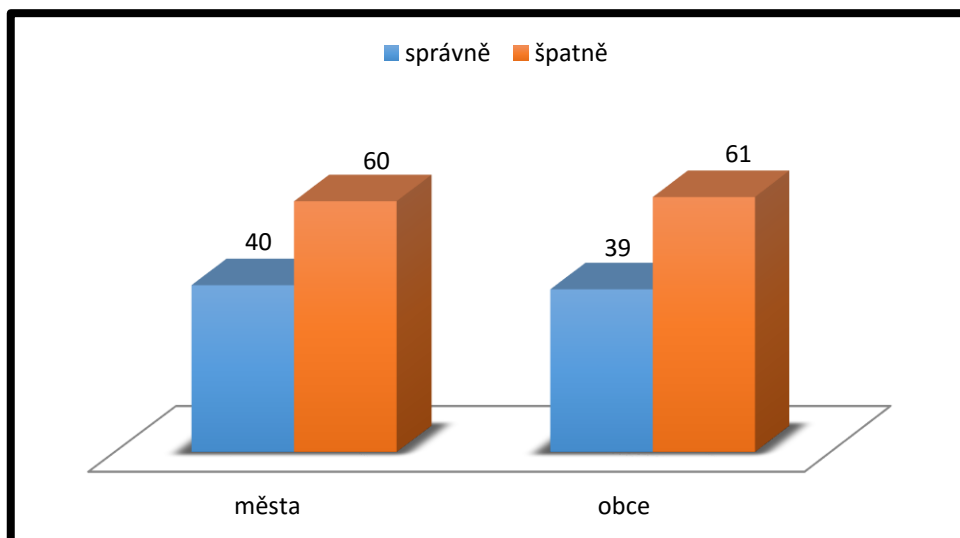


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 39 % dotázaných, tedy 79 respondentů (40 z měst, 39 z obcí). Chybnou odpověď označilo 61 % dotázaných, tedy 121 respondentů.

Na Obrázku 8 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 8 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 4



Zdroj: vlastní výzkum

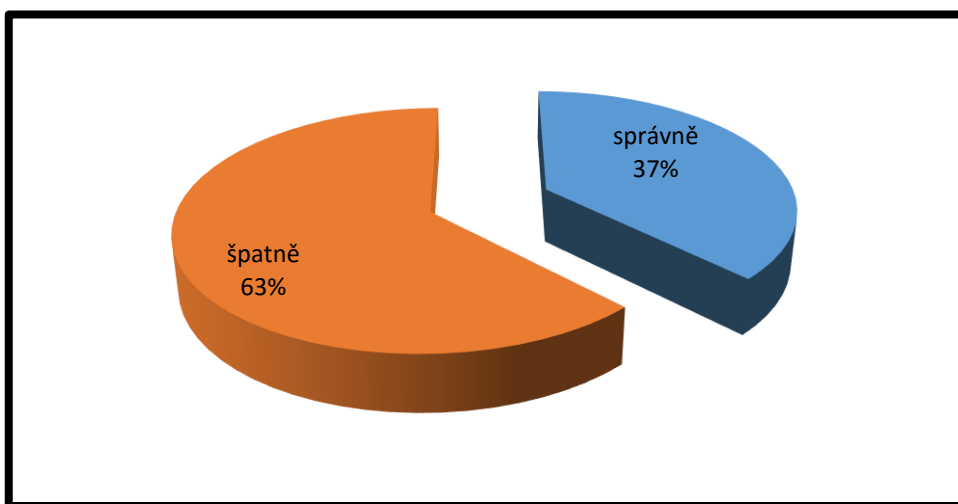
Na otázku odpovědělo správně 79 respondentů (39 %), tj. 40 respondentů z měst a 39 respondentů z obcí. Zbývajících 121 dotázaných, tj. 60 respondentů z měst a 61 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (61 %).

Otázka č. 5: Kobaltové a cesiové ozařovače jsou ozařovače se zdrojem záření:

- a)  $\gamma$
- b)  $\alpha$
- c)  $\beta$
- d) rentgenové záření

Na Obrázku 9 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 9 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 5

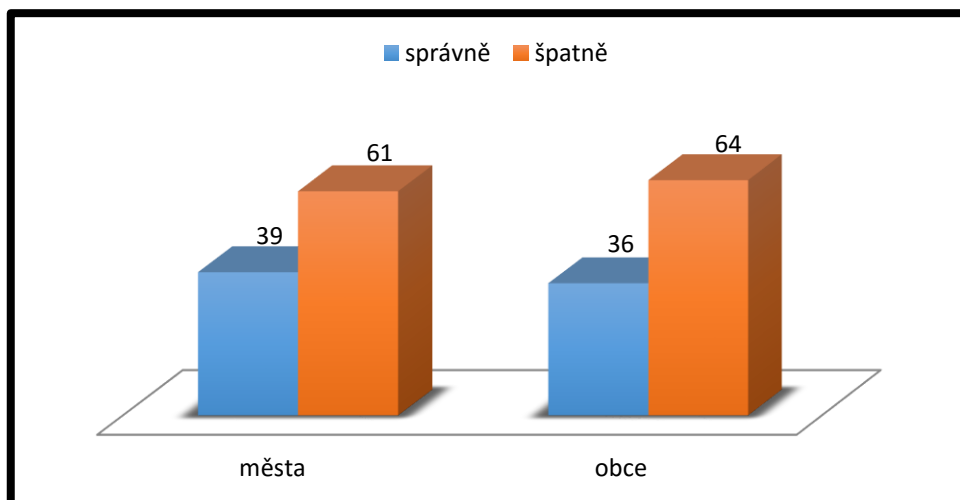


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 37 % dotázaných, tedy 75 respondentů (39 z měst, 36 z obcí). Chybnou odpověď označilo 63 % dotázaných, tedy 125 respondentů.

Na Obrázku 10 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 10 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 5



Zdroj: vlastní výzkum

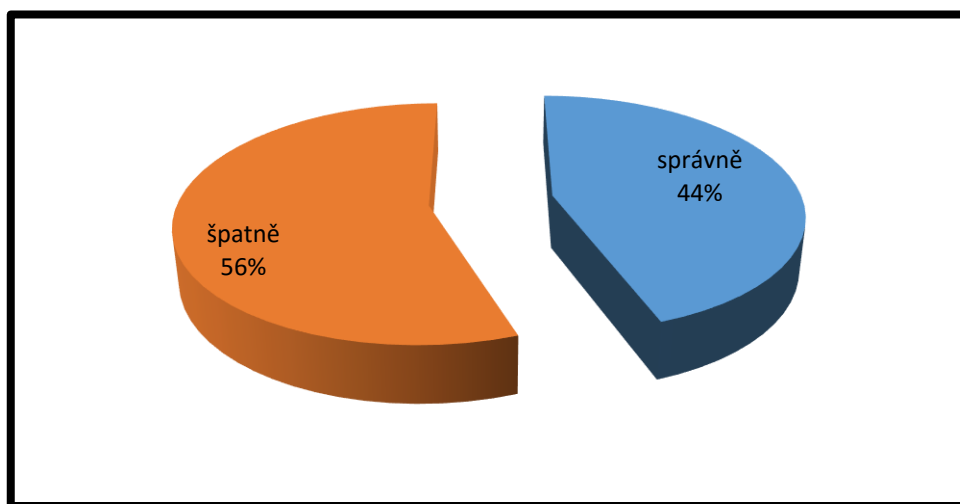
Na otázku odpovědělo správně 75 respondentů (37 %), tj. 39 respondentů z měst a 39 respondentů z obcí. Zbývajících 125 dotázaných, tj. 61 respondentů z měst a 64 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (63 %).

Otázka č. 6: Defektoskop je:

- a) přístroj využívaný v průmyslu ke kontrole trhlin a je pouze ultrazvukový
- b) přístroj využívaný v průmyslu ke kontrole trhlin a může mít radioaktivní zářič**
- c) přístroj využívaný pro měření ionizujícího záření v zemědělství
- d) přístroj využívaný pouze vojáky a v průmyslu se nevyužívá

Na Obrázku č. 11 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 11 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 6

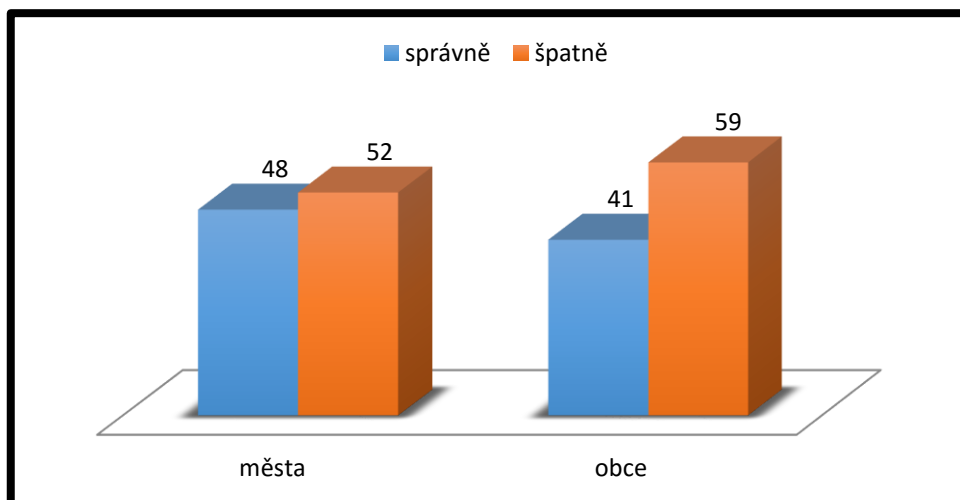


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 44 % dotázaných, tedy 89 respondentů (48 z měst, 41 z obcí). Chybnou odpověď označilo 56 % dotázaných, tedy 111 respondentů.

Na Obrázku 12 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 12 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 6



Zdroj: vlastní výzkum

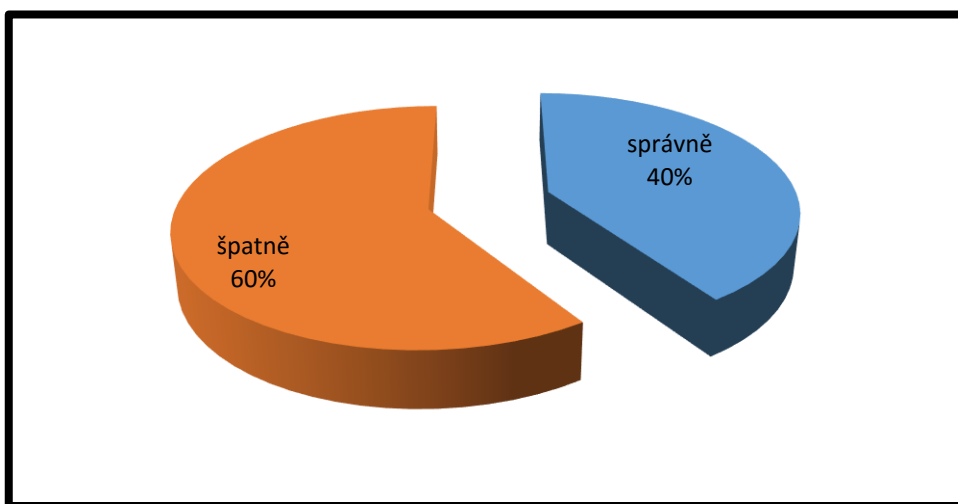
Na otázku odpovědělo správně 89 respondentů (44 %), tj. 48 respondentů z měst a 41 respondentů z obcí. Zbývajících 111 dotázaných, tj. 52 respondentů z měst a 59 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (56 %).

Otázka č. 7: V lékařství se využívají nejčastěji zářiče:

- a) v medicíně se nevyžívají žádné zářiče
- b) krypton  $^{85}\text{Kr}$
- c) **cesium  $^{137}\text{Cs}$ , izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$**
- d) yttrium  $^{90}\text{Y}$ , zirconium  $^{89}\text{Zr}$

Na Obrázku 13 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 13 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 7

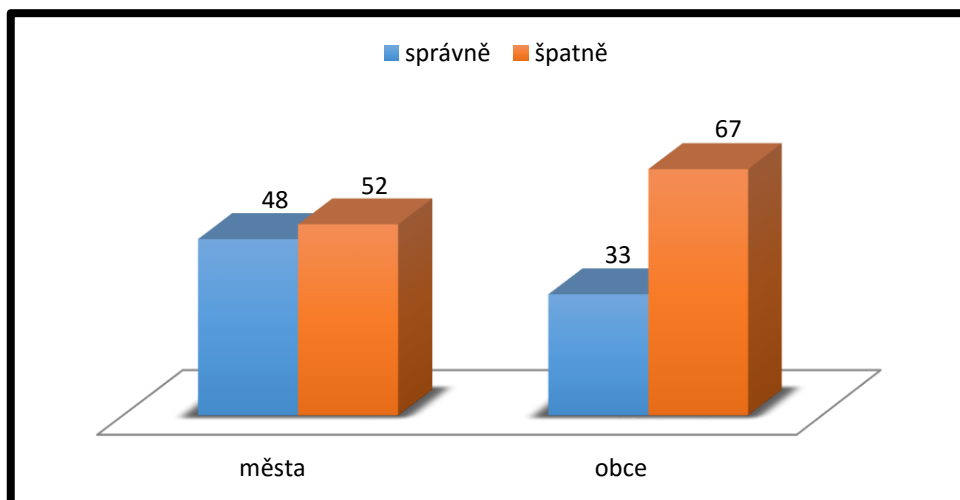


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 40 % dotázaných, tedy 81 respondentů (48 z měst, 33 z obcí). Chybnou odpověď označilo 60 % dotázaných, tedy 119 respondentů.

Na Obrázku 14 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

**Obrázek 14 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 7**



Zdroj: vlastní výzkum

Na otázku odpovědělo správně 81 respondentů (40 %), tj. 48 respondentů z měst a 33 respondentů z obcí. Zbývajících 119 dotázaných, tj. 52 respondentů z měst a 67 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (60 %).

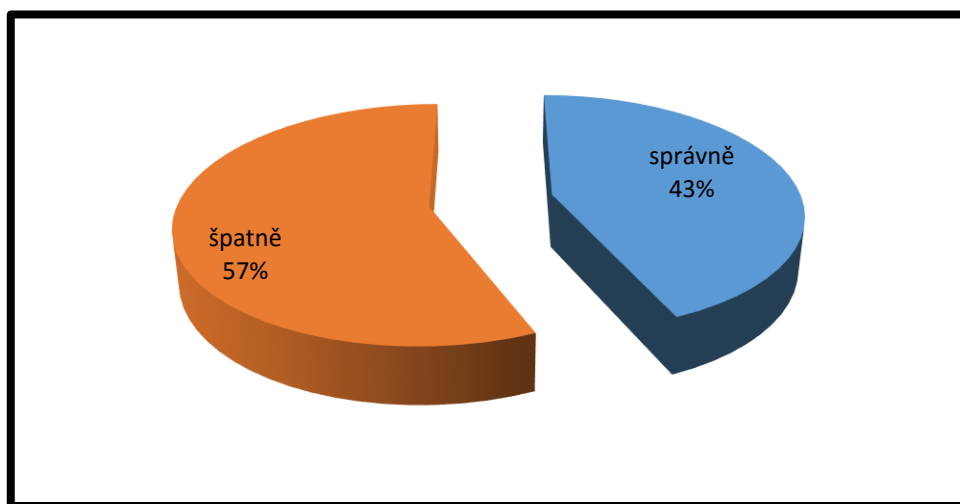


Otázka č. 8: V minulosti došlo k radiační nehodě:

- a) pouze na pracovištích s průmyslovými zdroji
- b) pouze v souvislosti s využíváním jaderné energie
- c) i na pracovištích s radioterapeutickým zdrojem používaným v medicíně**
- d) v minulosti nedošlo k žádné radiační nehodě

Na Obrázku 15 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 15 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 8

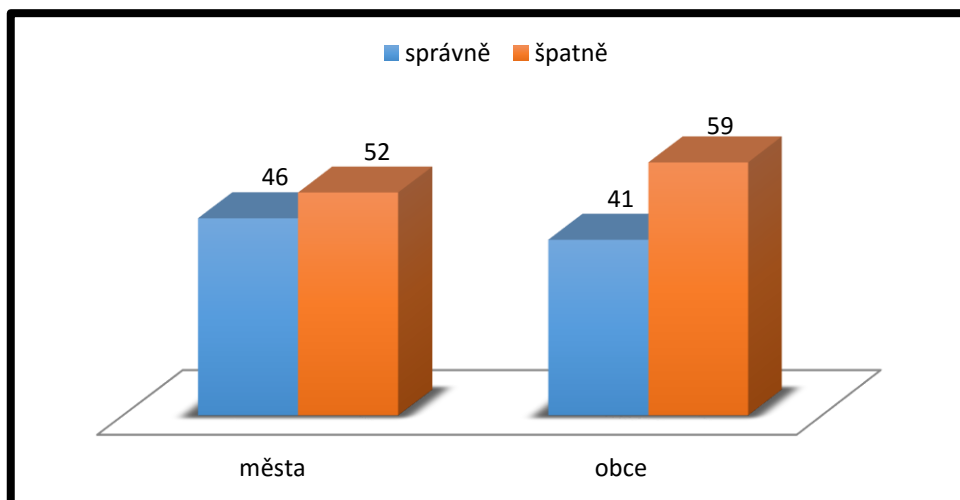


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 43 % dotázaných, tedy 87 respondentů (46 z měst, 41 z obcí). Chybnou odpověď označilo 57 % dotázaných, tedy 113 respondentů.

Na Obrázku 16 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

**Obrázek 16 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 8**



Zdroj: vlastní výzkum

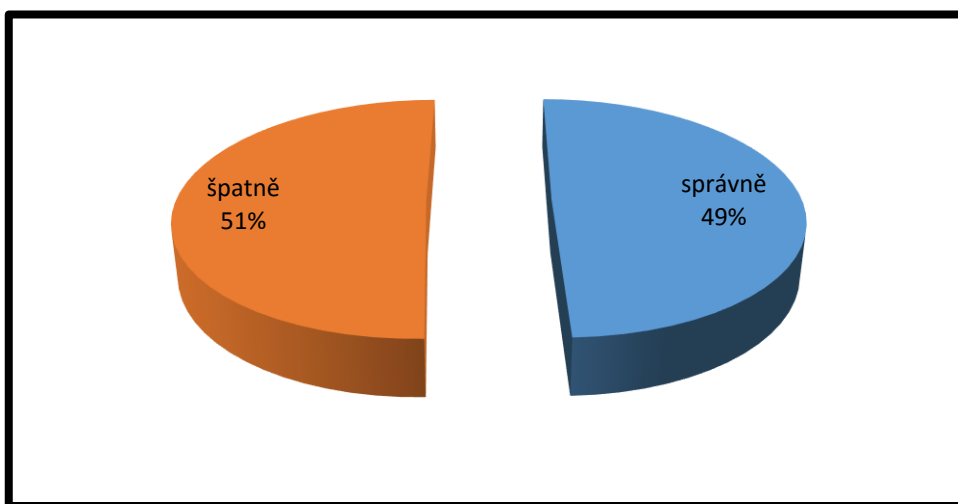
Na otázku odpovědělo správně 87 respondentů (43 %), tj. 46 respondentů z měst a 41 respondentů z obcí. Zbývajících 113 dotázaných, tj. 52 respondentů z měst a 59 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (57 %).

Otázka č. 9: Špinavou bombou se rozumí zbraň:

- a) chemická
- b) radiologická**
- c) biologická
- d) jaderná

Na Obrázku 17 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 17 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 9

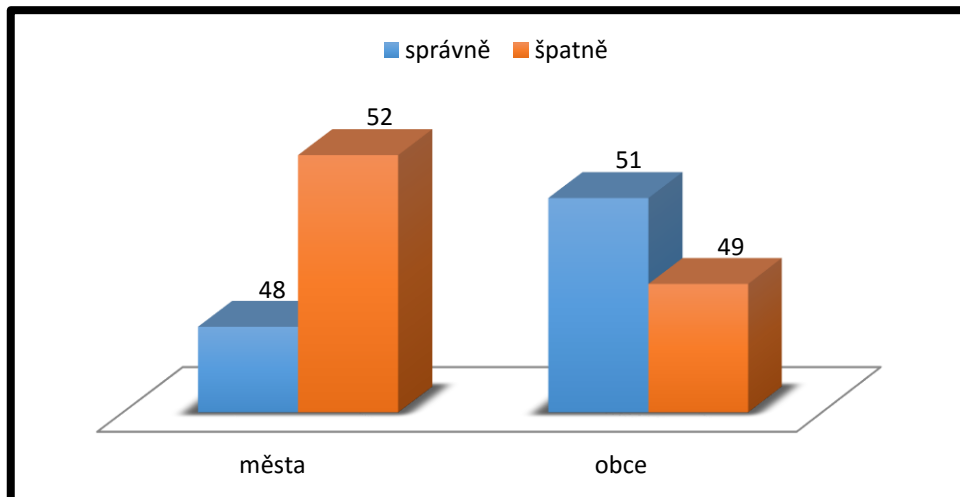


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 49 % dotázaných, tedy 99 respondentů (48 z měst, 51 z obcí). Chybnou odpověď označilo 51 % dotázaných, tedy 101 respondentů.

Na Obrázku 18 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

**Obrázek 18 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 9**



Zdroj: vlastní výzkum

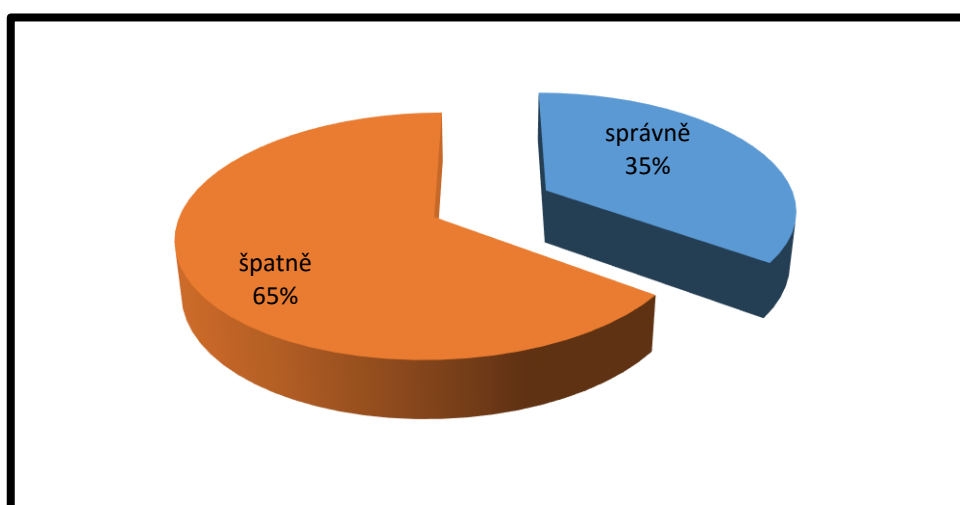
Na otázku odpovědělo správně 99 respondentů (49 %), tj. 48 respondentů z měst a 51 respondentů z obcí. Zbývajících 101 dotázaných, tj. 52 respondentů z měst a 49 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (51 %).

Otázka č. 10: Špinavá bomba je složena z:

- a) rozněcovače a trhaviny
- b) konvenční trhaviny a zářiče**
- c) pouze velkého množství trhaviny
- d) konvenční trhaviny a chemické látky

Na Obrázku 19 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 19 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 10

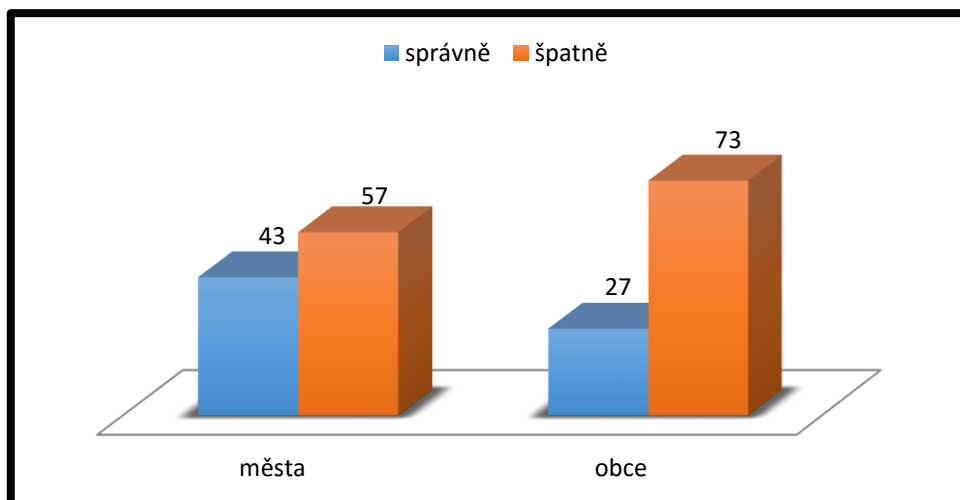


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 35 % dotázaných, tedy 70 respondentů (43 z měst, 27 z obcí). Chybnou odpověď označilo 65 % dotázaných, tedy 130 respondentů.

Na Obrázku 20 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 20 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 10



Zdroj: vlastní výzkum

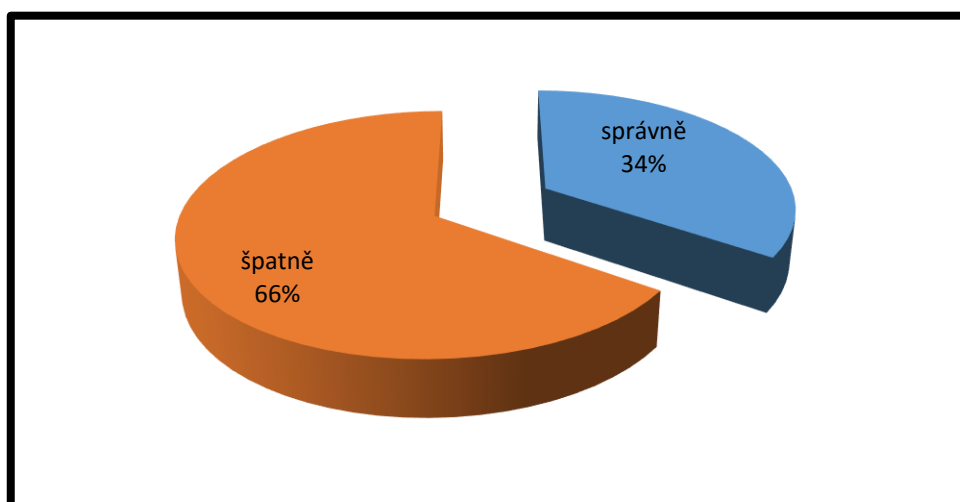
Na otázku odpovědělo správně 70 respondentů (35 %), tj. 43 respondentů z měst a 27 respondentů z obcí. Zbývajících 130 dotázaných, tj. 57 respondentů z měst a 73 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (65 %).

Otázka č. 11: Princip špinavé bomby je:

- a) rozšířit do životního prostředí radioaktivní látky se škodlivým biologickým účinkem
- b) rozšířit do životního prostředí co největší množství chemických látek
- c) způsobit co největší materiální škody
- d) dosáhnout co největší exploze

Na Obrázku 21 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 21 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 11

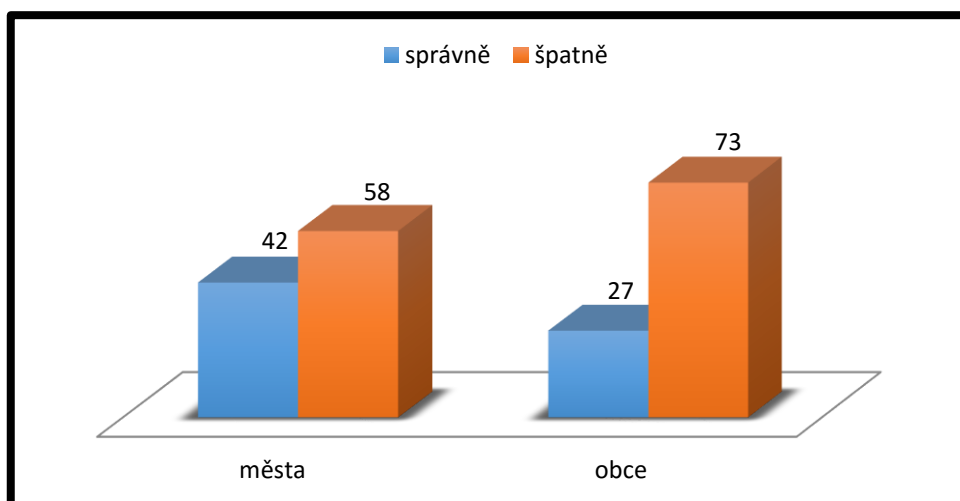


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 34 % dotázaných, tedy 69 respondentů (42 z měst, 27 z obcí). Chybnou odpověď označilo 66 % dotázaných, tedy 131 respondentů.

Na Obrázku 22 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 22 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 11



Zdroj: vlastní výzkum

Na otázku odpovědělo správně 69 respondentů (34 %), tj. 42 respondentů z měst a 27 respondentů z obcí. Zbývajících 131 dotázaných, tj. 27 respondentů z měst a 73 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (66 %).

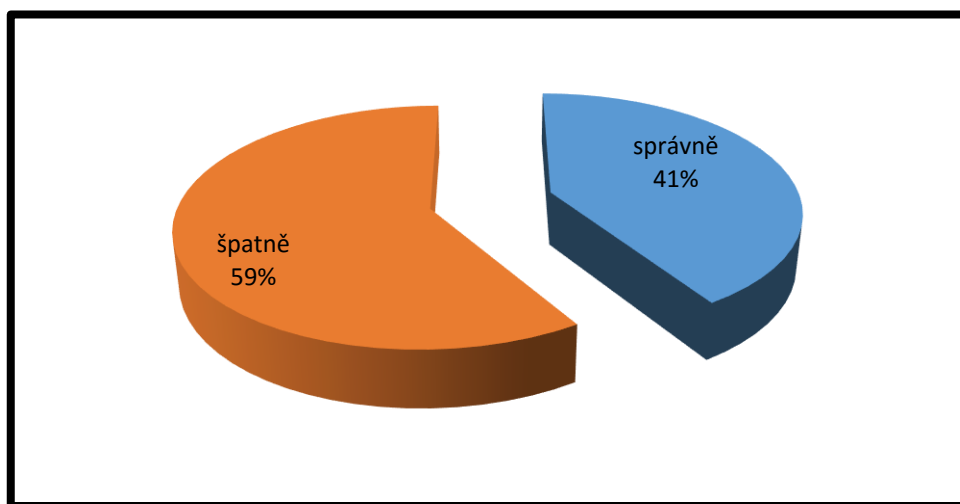


Otázka č. 12: Cílem použití špinavé bomby jsou:

- a) pouze ekonomické škody
- b) socioekonomické škody**
- c) škody způsobené na životním prostředí
- d) pouze finanční škody

Na Obrázku 23 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

**Obrázek 23 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 12**

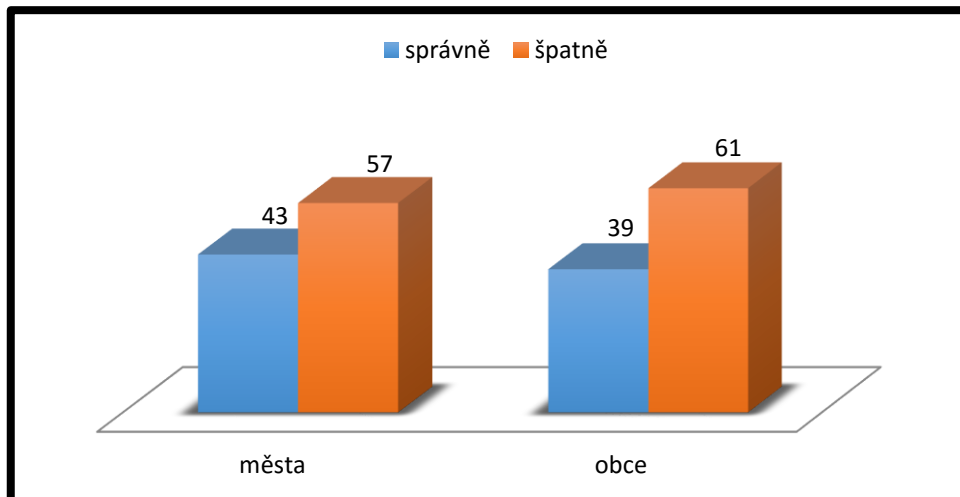


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 41 % dotázaných, tedy 82 respondentů (43 z měst, 39 z obcí). Chybnou odpověď označilo 59 % dotázaných, tedy 118 respondentů.

Na Obrázku24 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 24 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 12



Zdroj: vlastní výzkum

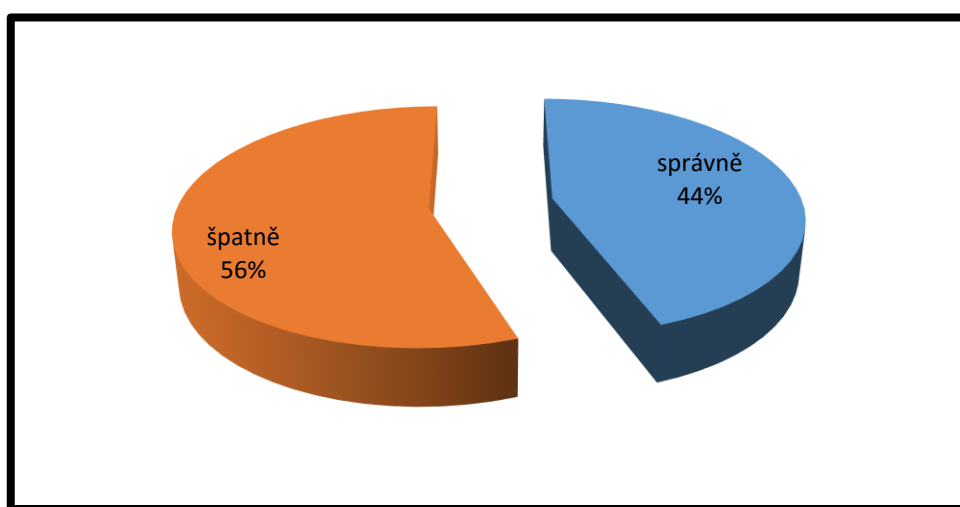
Na otázku odpovědělo správně 82 respondentů (41 %), tj. 43 respondentů z měst a 39 respondentů z obcí. Zbývajících 118 dotázaných, tj. 57 respondentů z měst a 61 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (59 %).

Otázka č. 13: Mezi izotopy, které by mohly být použity k výrobě špinavé bomby, patří:

- a) yttrium  $^{90}\text{Y}$ , krypton  $^{85}\text{Kr}$
- b) zirconium  $^{89}\text{Zr}$ , carbon  $^{14}\text{C}$
- c) **cesium  $^{137}\text{Cs}$ , americium  $^{241}\text{Am}$**
- d) magnesium  $^{24}\text{Mg}$ , helium  $^6\text{He}$

Na Obrázku 25 je znázorněno zastoupení správných a špatných odpovědí respondentů z obcí i měst dohromady.

Obrázek 25 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 13

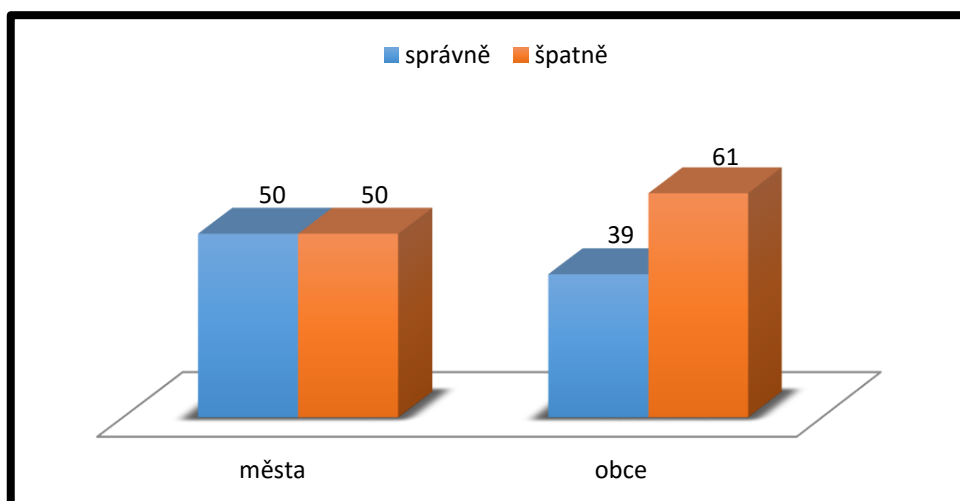


Zdroj: vlastní výzkum

Správně odpovědělo 44 % dotázaných, tedy 89 respondentů (50 z měst, 39 z obcí). Chybnou odpověď označilo 56 % dotázaných, tedy 111 respondentů.

Na Obrázku 26 jsou zastoupeny správné a špatné odpovědi respondentů rozdělených dále dle obcí a měst.

Obrázek 26 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 13



Zdroj: vlastní výzkum

Na otázku odpovědělo správně 89 respondentů (44 %), tj. 50 respondentů z měst a 39 respondentů z obcí. Zbývajících 111 dotázaných, tj. 50 respondentů z měst a 61 respondentů z obcí, označilo chybnou odpověď (56 %).

V tabulkách 1 – 3 je znázorněn přehled četností jednotlivých odpovědí respondentů z obcí a měst a následně je uveden počet celkových správných odpovědí.

**Tabulka 1 - Výsledky respondentů měst a obcí dohromady**

Počet správných odpovědí	Počet respondentů	Procentuální vyjádření	Průměr	Rozptyl	Směrodatná odchylka
0	0	0 %	5,79	5,24	2,29
1	5	2,5 %			
2	6	3 %			
3	22	11 %			
4	30	15 %			
5	29	14,5 %			
6	31	15,5 %			
7	37	18,5 %			
8	19	9,5 %			
9	9	4,5 %			
10	3	1,5 %			
11	7	3,5 %			
12	2	1 %			
13	0	0 %			

Zdroj: vlastní výzkum

Tabulka 2 - Výsledky respondentů z měst

Počet správných odpovědí	Počet respondentů	Procentuální vyjádření	Průměr	Rozptyl	Směrodatná odchylka
0	0	0 %	6,31	5,01	2,24
1	3	3 %			
2	1	1 %			
3	7	7 %			
4	15	15 %			
5	11	11 %			
6	14	14 %			
7	25	25 %			
8	10	10 %			
9	6	6 %			
10	2	2 %			
11	4	4 %			
12	2	2 %			
13	0	0 %			

Zdroj: vlastní výzkum

Tabulka 3 - Výsledky respondentů z obcí

Počet správných odpovědí	Počet respondentů	Procentuální vyjádření	Průměr	Rozptyl	Směrodatná odchylka
0	0	0 %	5,26	4,91	2,22
1	4	4 %			
2	5	5 %			
3	14	14 %			
4	15	15 %			
5	18	18 %			
6	17	17 %			
7	12	12 %			
8	8	8 %			
9	3	3 %			
10	1	1 %			
11	3	3 %			
12	0	0 %			
13	0	0 %			

Zdroj: vlastní výzkum

## 3.2 Statistické zpracování výsledků dotazníkového šetření

### 3.2.1 Statistické zpracování výsledků obyvatel měst

#### a) Formulace statistického šetření

Základní pojmy a jejich vymezení:

HNJ – znalosti obyvatel měst České Budějovice a Strakonice (Jihočeský kraj)

SJ – obyvatel města České Budějovice a Strakonice

SZ – rozsah znalostí obyvatel

HSZ – rozsah znalostí obyvatel (0 – 13 bodů)

ZSS – 100 obyvatel

#### b) Škálování a měření

Sturgesovo pravidlo:  $k = 1 + 3,33 \log_{10} n$        $k = 7,66$

Celkový počet provedených měření čítá 100 a pomocí Sturgesova pravidla bylo zvoleno celkem 7 prvků škály:

1. škála (1 bod a méně)
2. škála (2 až 3 body)
3. škála (4 až 5 bodů)
4. škála (6 až 7 bodů)
5. škála (8 až 9 bodů)
6. škála (10 až 11 bodů)
7. škála (12 a více bodů)



### c) Elementární statistické zpracování

V Tabulce 4 a Tabulce 5 jsou uvedeny výsledky získané na základě elementárního statistického zpracování.

Tabulka 4 - Elementární statistické zpracování

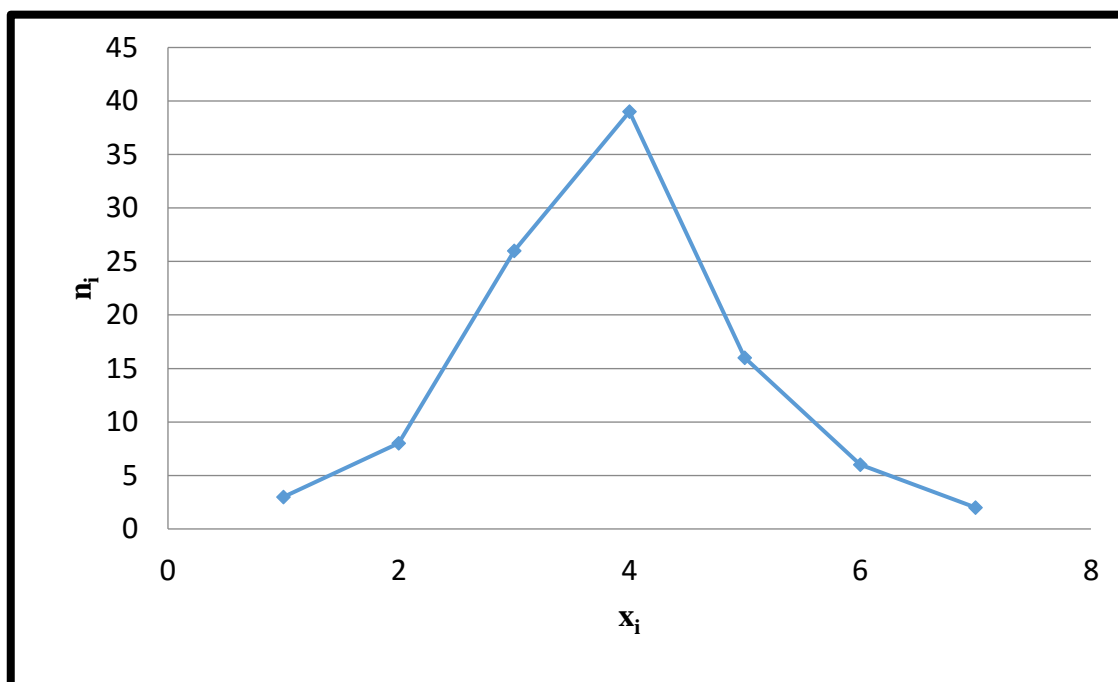
$x_i$	$x_i$ (a;b)	$x_i$ střed (a;b)	$n_i$	$n_i/n$	$\sum$ $n_i/n$	$n_i x_i$	$n_i x_i^2$	$n_i x_i^3$	$n_i x_i^4$
1	$(-\infty;1)$	0	3	0,03	0,03	0	0	0	0
2	(2;3)	2,5	8	0,08	0,11	20	50	125	313
3	(4;5)	4,5	26	0,26	0,37	117	527	2369	10662
4	(6;7)	6,5	39	0,39	0,76	253,5	1648	10710	69617
5	(8;9)	8,5	16	0,16	0,92	136	1156	9826	83521
6	(10;11)	10,5	6	0,06	0,98	63	662	6946	72930
7	$(12; \infty)$	13	2	0,02	1	26	338	4394	57122
			$\sum$ 100	$\sum$ 1		$\sum$ 615,5	$\sum$ 4381	$\sum$ 34370	$\sum$ 294165

Zdroj: vlastní data

## Empirické rozdělení četností

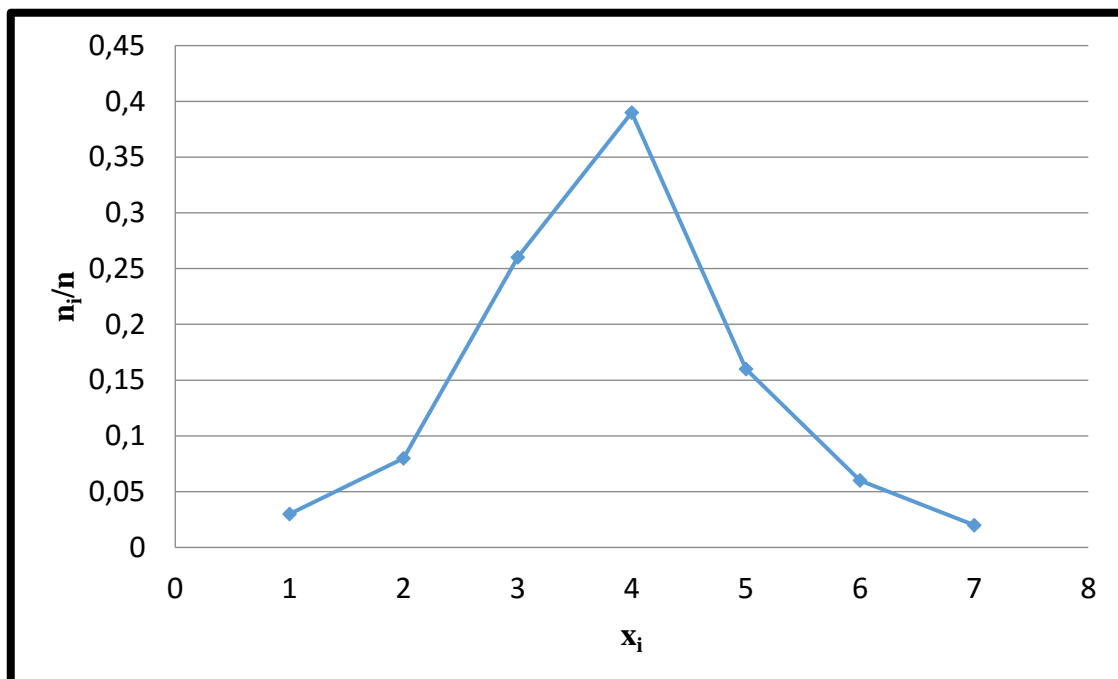
Na obrázku 27 je znázorněn polygon absolutních četností, na dalším obrázku 28 je znázorněn polygon relativních četností a na posledním obrázku 29 je znázorněn polygon kumulativních četností.

Obrázek 27 - Polygon absolutních četností (obyvatelé měst Jihočeského kraje)



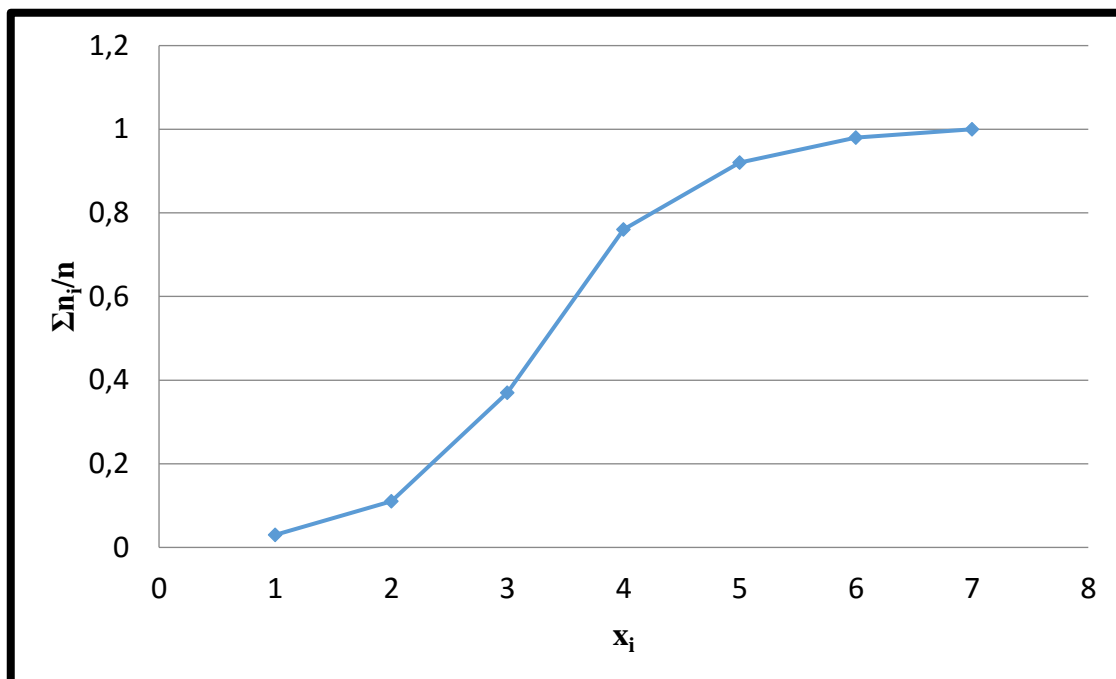
Zdroj: vlastní data

Obrázek 28 - Polygon relativních četností (obyvatelé měst Jihočeského kraje)



Zdroj: vlastní data

Obrázek 29 - Polygon kumulativních četností (obyvatelé měst Jihočeského kraje)



Zdroj: vlastní data

Empirické parametry

$$O_1(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i = \bar{x} = 6,16$$

$$O_2(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^2 = 43,81$$

$$O_3(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^3 = 343,7$$

$$C_2 = O_2 - O_1^2$$

$$C_2(x) = \frac{1}{n} \sum n_i (x_i - O_1)^2 = 5,93$$

$$S_x = \sqrt{c_2} = 2,44$$

$$N_3(x) = \frac{C_3(x)}{C_2(x) \sqrt{C_2(x)}} = 0,109$$

#### d) Neparametrické testování – Pearsonův chí-kvadrát test

Pro zjištění, zda se znalosti obyvatelstva vybraných měst blíží normálnímu rozdělení, byl použit Pearsonův chí-kvadrát test.

Tabulka 5 - Elementární statistické zpracování

$x_i$	$x_i$ (a;b)	$x_i$ střed (a;b)	$n_i$	$n_i/n$	$\sum n_i/n$	$n_i x_i$	$n_i x_i^2$	$n_i x_i^3$	$n_i x_i^4$
1	$(-\infty;1)$	0	3	0,03	0,03	0	0	0	0
2	(2;3)	2,5	8	0,08	0,11	20	50	125	313
3	(4;5)	4,5	26	0,26	0,37	117	527	2369	10662
4	(6;7)	6,5	39	0,39	0,76	253,5	1648	10710	69617
5	(8;9)	8,5	16	0,16	0,92	136	1156	9826	83521
6	(10;11)	10,5	6	0,06	0,98	63	662	6946	72930
7	$(12; \infty)$	13	2	0,02	1	26	338	4394	57122

Zdroj: vlastní data

V případě neparametrického testování jsou důležité z výše uvedené tabulky pouze některé hodnoty, které jsou uvedeny níže v Tabulce 6.

Tabulka 6 - Důležité hodnoty pro neparametrické testování

$x_i$	$x_i$ (a;b)	$x_i$ střed (a;b)	$n_i$
1	$(-\infty;1)$	0	3
2	(2;3)	2,5	8
3	(4;5)	4,5	26
4	(6;7)	6,5	39
5	(8;9)	8,5	16
6	(10;11)	10,5	6
7	$(12; \infty)$	13	2

Zdroj: vlastní data

Jako první krok pro výpočet chí-kvadrát testu je důležité vypočítat  $u_i$ .

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

$$u_1 = \frac{1-6,16}{2,44} = -2,11 \quad u_2 = \frac{3-6,16}{2,44} = -1,3 \quad u_3 = \frac{5-6,16}{2,44} = -0,48$$

$$u_4 = \frac{7-6,16}{2,44} = 0,34 \quad u_5 = \frac{9-6,16}{2,44} = 1,16 \quad u_6 = \frac{11-6,16}{2,44} = 1,98$$

$$u_7 = \frac{\infty-6,16}{2,44} = \infty$$

K výsledkům  $u_i$  se ze statistických tabulek vyhledají příslušné hodnoty  $\Phi_{u_i}$ . Statistické tabulky obsahují hodnoty  $\Phi_{u_i}$  pouze v případě kladných  $u_i$ . Pokud by nabývalo  $u_i$  záporných hodnot, hodnota  $\Phi_{u_i}$  se určí tak, že je vyhledána jeho kladná hodnota, která se pak odečte od čísla 1.

$$\Phi_{u_1} = 1 - 0,98257 = 0,01743$$

$$\Phi_{u_2} = 1 - 0,90320 = 0,0968$$

$$\Phi_{u_3} = 1 - 0,68439 = 0,31561$$

$$\Phi_{u_4} = 0,63307$$

$$\Phi_{u_5} = 0,87698$$

$$\Phi_{u_6} = 0,97615$$

$$\Phi_{u_7} = 1$$

Následně jsou dopočítány hodnoty pravděpodobnostní funkce  $p_i = \Phi_{u_i} - \Phi_{u_{i-1}}$  a teoretického absolutního rozdělení četností  $np_i = 100 \cdot p_i$ .

$$p_1 = \Phi_{u_1} = 0,01743 \quad p_2 = \Phi_{u_2} - \Phi_{u_1} = 0,07937$$

$$p_3 = \Phi_{u_3} - \Phi_{u_2} = 0,21881 \quad p_4 = \Phi_{u_4} - \Phi_{u_3} = 0,31746$$

$$p_5 = \Phi_{u_5} - \Phi_{u_4} = 0,24391 \quad p_6 = \Phi_{u_6} - \Phi_{u_5} = 0,09917$$

$$p_7 = \Phi_{u_7} - \Phi_{u_6} = 0,02385$$

$$\begin{aligned}
 np_1 &= 100 * 0,01743 = 1,743 & np_2 &= 100 * 0,07937 = 7,937 \\
 np_3 &= 100 * 0,21881 = 21,881 & np_4 &= 100 * 0,31746 = 31,746 \\
 np_5 &= 100 * 0,24391 = 24,391 & np_6 &= 100 * 0,09917 = 9,917 \\
 np_7 &= 100 * 0,02385 = 2,385
 \end{aligned}$$

V Tabulce 7 jsou uvedeny vypočítané hodnoty.

**Tabulka 7 - Přehled výpočtů Chí-kvadrát testu**

$x_i$	$x_i$ (a;b)	$x_i$ střed (a;b)	$n_i$	$u_i$	$\Phi u_i$	$p_i$	$np_i$
<b>1</b>	(-∞;1)	0	3	-2,11	0,01743	0,01743	1,743
<b>2</b>	(2;3)	2,5	8	-1,3	0,0968	0,07937	7,937
<b>3</b>	(4;5)	4,5	26	-0,48	0,31561	0,21881	21,881
<b>4</b>	(6;7)	6,5	39	0,34	0,63307	0,31746	31,746
<b>5</b>	(8;9)	8,5	16	1,16	0,87698	0,24391	24,391
<b>6</b>	(10;11)	10,5	6	1,98	0,97615	0,09917	9,917
<b>7</b>	(12; ∞)	13	2	∞	1	0,02385	2,385

Zdroj: vlastní data

Z výše uvedené Tabulky 7 vyplývá, že prvky škály  $x_1$  a  $x_7$  nesplňují podmínku, že absolutní četnost v každé škále musí být větší nebo rovna 5. V Tabulce 8 jsou tedy škály  $x_1$  a  $x_2$  sloučeny do jedné, stejně tak i škály  $x_6$  a  $x_7$ .

Tabulka 8 - Tabulka se splněnými podmínkami Chí-kvadrát testu

$x_i$	$x_i$ (a;b)	$x_i$ střed (a;b)	$n_i$	$np_i$
1,2	$(-\infty;3>$	1	11	9,68
3	$<4;5>$	4,5	26	21,881
4	$<6;7>$	6,5	39	31,746
5	$<8;9>$	8,5	16	24,391
6,7	$<10; \infty)$	13	8	12,302

Zdroj: vlastní data

Konečný pomocný výpočet, s jehož pomocí je možné stanovit experimentální hodnoty testového kritéria Chí-kvadrát testu, vypadá následovně:  $\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$ .

$$\frac{(n_{1,2} - np_{1,2})^2}{np_{1,2}} = \frac{(11 - 9,68)^2}{9,68} = 0,18$$

$$\frac{(n_3 - np_3)^2}{np_3} = \frac{(26 - 21,881)^2}{21,881} = 0,78$$

$$\frac{(n_4 - np_4)^2}{np_4} = \frac{(39 - 31,746)^2}{31,746} = 1,66$$

$$\frac{(n_5 - np_5)^2}{np_5} = \frac{(16 - 24,391)^2}{24,391} = 2,89$$

$$\frac{(n_{6,7} - np_{6,7})^2}{np_{6,7}} = \frac{(8 - 12,302)^2}{12,302} = 1,5$$

Po provedení součtu všech výše uvedených hodnot byla zjištěna experimentální hodnota testového kritéria.

$$\chi_{exp}^2 = \sum_{i=0}^n \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

$$\chi_{exp}^2 = 7,01$$

Experimentální testové kritérium  $\chi_{exp}^2$  je nutné dále porovnat s  $\chi_{teoretické}^2$ , odkud už lze použít aparát nulových a alternativních hypotéz.



$$\chi^2_{teoretické} = \chi^2_{k-r-1}$$

$$\chi^2_{teoretické} = \chi^2_{5-2-1}$$

$$\chi^2_{teoretické} = \chi^2_2$$

Kritický obor W

$$W = \langle \chi^2_{teoretické} (\alpha/2); +\infty \rangle$$

$$W = \langle \chi^2_2(0,05); +\infty \rangle$$

$$W = \langle 5,99; +\infty \rangle$$

$\chi^2_{exp} \in W \rightarrow$  Na hladině statistické významnosti  $\alpha = 0,05$  lze nulovou hypotézu zamítnout a přijmout alternativní hypotézu. Z výsledků tedy vyplývá, že dané empirické rozdělení četností nelze nahradit normálním rozdělením.

### 3.2.2 Statistické zpracování výsledků obyvatel obcí

#### a) Formulace statistického šetření

Základní pojmy a jejich vymezení:

HNJ – znalosti obyvatel obcí Borek, Boršov nad Vltavou, Dříteň, Dubné a Kamenný Újezd (Jihočeský kraj)

SJ – obyvatel obcí Borek, Boršov nad Vltavou, Dříteň, Dubné a Kamenný Újezd

SZ – rozsah znalostí obyvatel

HSZ – rozsah znalostí obyvatel (0 – 13 bodů)

ZSS – 100 obyvatel

#### b) Škálování a měření

Sturgesovo pravidlo:  $k = 1 + 3,33 \log_{10} 100$       $k = 7,66$

Celkový počet provedených měření čítá 100 a pomocí Sturgesova pravidla bylo zvoleno celkem 7 prvků škály:

1. škála (1 bod a méně)
2. škála (2 až 3 body)
3. škála (4 až 5 bodů)
4. škála (6 až 7 bodů)
5. škála (8 až 9 bodů)
6. škála (10 až 11 bodů)
7. škála (12 a více bodů)

### c) Elementární statistické zpracování

V Tabulce 9 a Tabulce 10 jsou uvedeny výsledky získané na základě elementárního statistického zpracování.

Tabulka 9 - Elementární statistické zpracování

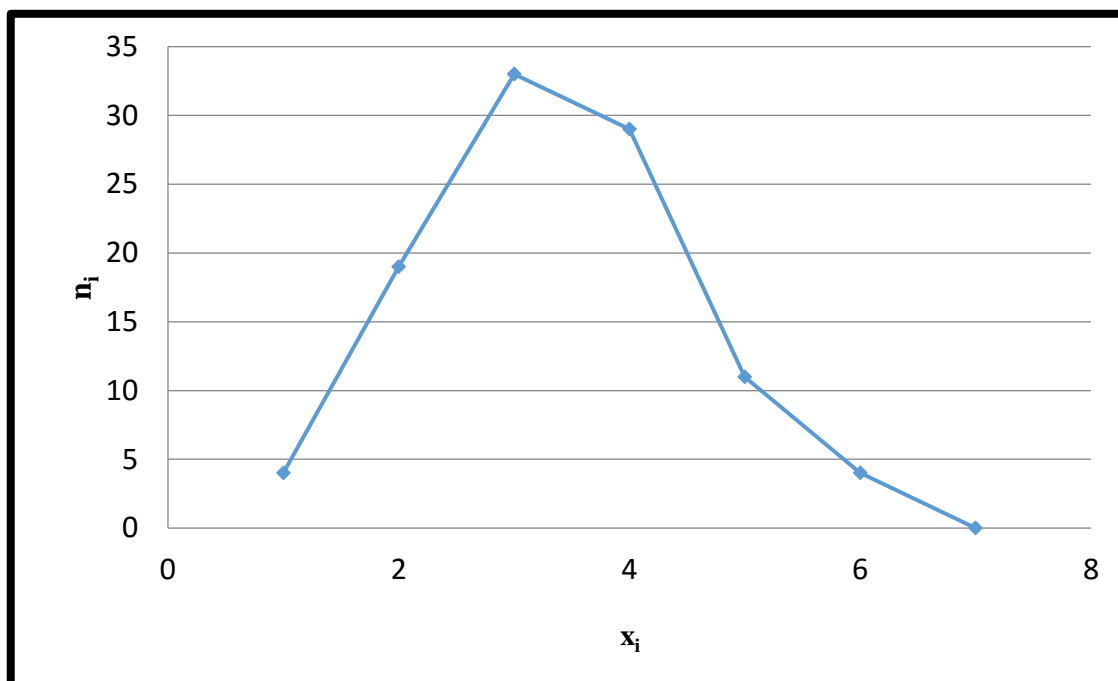
$x_i$	$x_i$ (a;b)	$x_i$ střed (a;b)	$n_i$	$n_i/n$	$\sum$ $n_i/n$	$n_i x_i$	$n_i x_i^2$	$n_i x_i^3$	$n_i x_i^4$
1	$(-\infty;1)$	0	4	0,04	0,04	0	0	0	0
2	(2;3)	2,5	19	0,19	0,23	47,5	118,75	296,875	742,1875
3	(4;5)	4,5	33	0,33	0,56	148,5	668,25	3007,125	13532,0625
4	(6;7)	6,5	29	0,29	0,85	188,5	1225,25	7964,125	51766,8125
5	(8;9)	8,5	11	0,11	0,96	93,5	794,75	6755,375	57420,6875
6	(10;11)	10,5	4	0,04	1	42	441	4630,5	48620,25
7	(12; $\infty$ )	13	0	0	1	0	0	0	0
			$\sum$ 100	$\sum$ 1		$\sum$ 520	$\sum$ 3248	$\sum$ 22654	$\sum$ 172082

Zdroj: vlastní data

## Empirické rozdělení četností

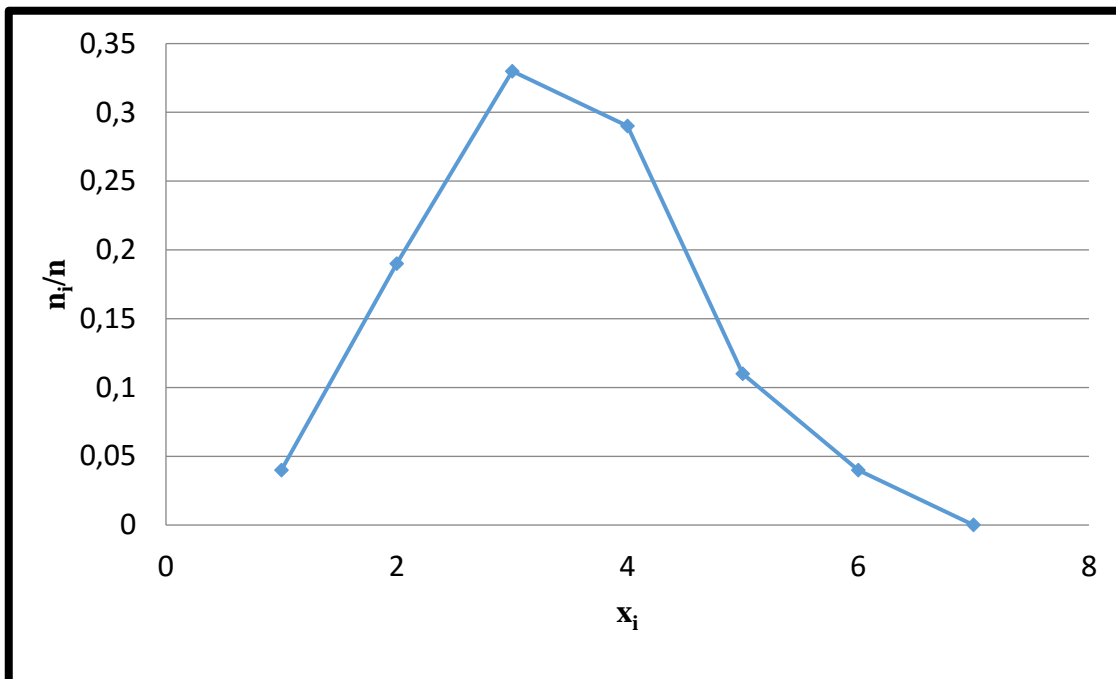
Na obrázku 30 je znázorněn polygon absolutních četností, na dalším obrázku 31 je znázorněn polygon relativních četností a na posledním obrázku 32 je znázorněn polygon kumulativních četností.

Obrázek 30 - Polygon absolutních četností (obyvatelé obcí Jihočeského kraje)



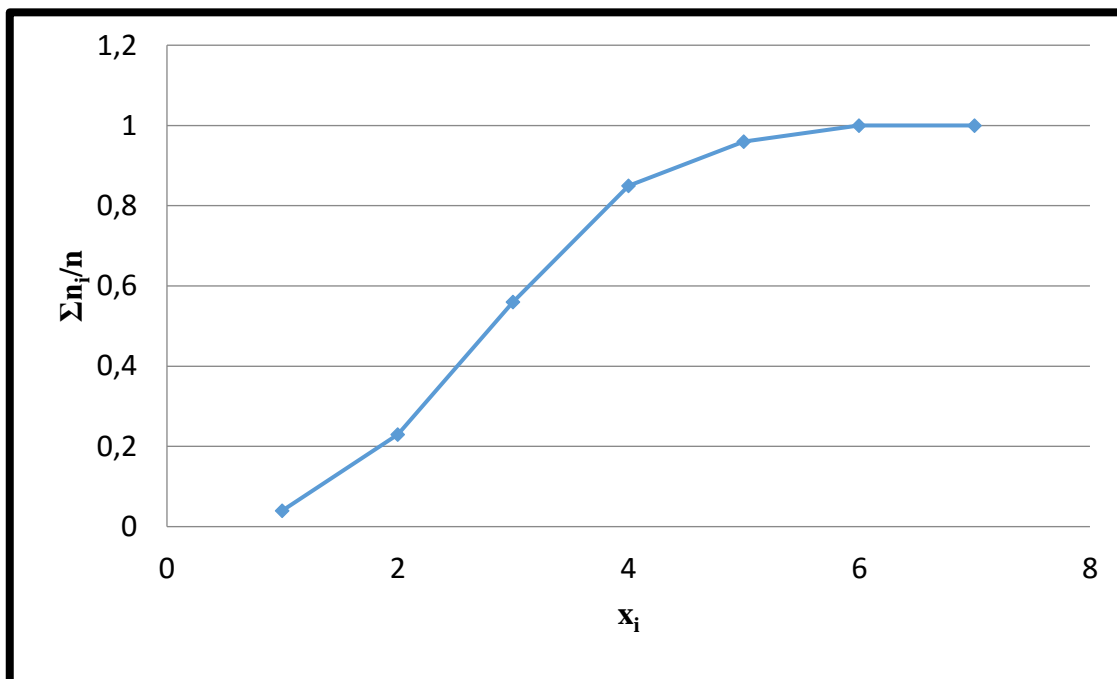
Zdroj: vlastní data

Obrázek 31 - Polygon relativních četností (obyvatelé obcí Jihočeského kraje)



Zdroj: vlastní data

Obrázek 32 - Polygon kumulativních četností (obyvatelé obcí Jihočeského kraje)



Zdroj: vlastní data

Empirické parametry

$$O_1(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i = \bar{x} = 5,2$$

$$O_2(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^2 = 32,48$$

$$O_3(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i^3 = 226,54$$

$$C_2 = O_2 - O_1^2$$

$$C_2(x) = \frac{1}{n} \sum n_i (x_i - O_1)^2 = 5,44$$

$$S_x = \sqrt{c_2} = 2,33$$

$$N_3(x) = \frac{c_3(x)}{c_2(x)\sqrt{c_2(x)}} = 0,08$$

#### d) Neparametrické testování – Pearsonův chí-kvadrát test

Pro zjištění, zda se znalosti obyvatelstva vybraných obcí blíží normálnímu rozdělení, byl použit Pearsonův chí-kvadrát test.

Tabulka 10 - Elementární statistické zpracování

$x_i$	$x_i$ (a;b)	$x_i$ střed (a;b)	$n_i$	$n_i/n$	$\sum$ $n_i/n$	$n_i x_i$	$n_i x_i^2$	$n_i x_i^3$	$n_i x_i^4$
1	(-∞;1)	0	4	0,04	0,04	0	0	0	0
2	(2;3)	2,5	19	0,19	0,23	47,5	118,75	296,875	742,1875
3	(4;5)	4,5	33	0,33	0,56	148,5	668,25	3007,125	13532,0625
4	(6;7)	6,5	29	0,29	0,85	188,5	1225,25	7964,125	51766,8125
5	(8;9)	8,5	11	0,11	0,96	93,5	794,75	6755,375	57420,6875
6	(10;11)	10,5	4	0,04	1	42	441	4630,5	48620,25
7	(12; ∞)	13	0	0	1	0	0	0	0

Zdroj: vlastní data

V případě neparametrického testování jsou důležité z výše uvedené tabulky pouze některé hodnoty, které jsou uvedeny níže v Tabulce 11.

**Tabulka 11 - Důležité hodnoty pro neparametrické testování**

$X_i$	$X_i$ (a;b)	$X_i$ střed (a;b)	$n_i$
1	$(-\infty;1)$	0	4
2	(2;3)	2,5	19
3	(4;5)	4,5	33
4	(6;7)	6,5	29
5	(8;9)	8,5	11
6	(10;11)	10,5	4
7	$(12; \infty)$	13	0

Jako první krok pro výpočet chí-kvadrát testu je důležité vypočítat  $u_i$ .

$$u_i = \frac{x_i - \mu}{s_x}$$

$$u_1 = \frac{1 - 5,2}{2,33} = -1,8$$

$$u_2 = \frac{3 - 5,2}{2,33} = -0,94$$

$$u_3 = \frac{5 - 5,2}{2,33} = -0,09$$

$$u_4 = \frac{7 - 5,2}{2,33} = 0,77$$

$$u_5 = \frac{9 - 5,2}{2,33} = 1,63$$

$$u_6 = \frac{11 - 5,2}{2,33} = 2,49$$

$$u_7 = \frac{\infty - 5,2}{2,33} = \infty$$

K výsledkům  $u_i$  se ze statistických tabulek vyhledají příslušné hodnoty  $\Phi_{u_i}$ . Statistické tabulky obsahují hodnoty  $\Phi_{u_i}$  pouze v případě kladných  $u_i$ . Pokud by nabývalo  $u_i$  záporných hodnot, hodnota  $\Phi_{u_i}$  se určí tak, že je vyhledána jeho kladná hodnota, která se pak odečte od čísla 1.

$$\Phi_{u_1} = 1 - 0,96407 = 0,03563$$

$$\Phi_{u_2} = 1 - 0,82639 = 0,17361$$

$$\Phi_{u_3} = 1 - 0,53586 = 0,46414$$

$$\Phi_{u_4} = 0,77935$$

$$\Phi_{u_5} = 0,94845$$

$$\Phi_{u_6} = 0,99361$$

$$\Phi_{u_7} = 1$$

Následně jsou dopočítány hodnoty pravděpodobnostní funkce  $p_i = \Phi_{u_i} - \Phi_{u_{i-1}}$  a teoretického absolutního rozdělení četností  $np_i = 100 \cdot p_i$ .

$$p_1 = \Phi_{u_1} = 0,03563$$

$$p_2 = \Phi_{u_2} - \Phi_{u_1} = 0,13798$$

$$p_3 = \Phi_{u_3} - \Phi_{u_2} = 0,29053$$

$$p_4 = \Phi_{u_4} - \Phi_{u_3} = 0,31521$$

$$p_5 = \Phi_{u_5} - \Phi_{u_4} = 0,1691$$

$$p_6 = \Phi_{u_6} - \Phi_{u_5} = 0,04516$$

$$p_7 = \Phi_{u_7} - \Phi_{u_6} = 0,00639$$

$$np_1 = 100 \cdot 0,03563 = 3,463$$

$$np_2 = 100 \cdot 0,13798 = 13,798$$

$$np_3 = 100 \cdot 0,29053 = 29,053$$

$$np_4 = 100 \cdot 0,31521 = 31,521$$

$$np_5 = 100 \cdot 0,1691 = 16,91$$

$$np_6 = 100 \cdot 0,04516 = 4,516$$

$$np_7 = 100 \cdot 0,00639 = 0,639$$

V Tabulce 12 jsou uvedeny vypočítané hodnoty.

**Tabulka 12 - Přehled výpočtů Chí-kvadrát testu**

$x_i$	$x_i$ (a;b)	$x_i$ střed (a;b)	$n_i$	$u_i$	$\Phi_{u_i}$	$p_i$	$np_i$
1	$(-\infty; 1)$	0	4	-1,8	0,03563	0,03563	3,463
2	(2;3)	2,5	19	-0,94	0,17361	0,13798	13,798
3	(4;5)	4,5	33	-0,09	0,46414	0,29053	29,053
4	(6;7)	6,5	29	0,77	0,77935	0,31521	31,521
5	(8;9)	8,5	11	1,77	0,94845	0,1691	16,91
6	(10;11)	10,5	4	2,49	0,99361	0,04516	4,516
7	(12; $\infty$ )	13	0	$\infty$	1	0,00639	0,639

Zdroj: vlastní data



Z výše uvedené Tabulky 12 vyplývá, že prvky škály  $x_1$  a  $x_7$  nesplňují podmínku, že absolutní četnost v každé škále musí být větší nebo rovna 5. V Tabulce 13 jsou tedy škály  $x_1$  a  $x_2$  sloučeny do jedné, stejně tak i škály  $x_6$  a  $x_7$ .

**Tabulka 13 - Tabulka se splněnými podmínkami Chí-kvadrát testu**

$x_i$	$x_i$ (a;b)	$x_i$ střed (a;b)	$n_i$	$np_i$
<b>1,2</b>	$(-\infty;3>$	1	23	17,261
<b>3</b>	$<4;5>$	4,5	33	29,053
<b>4</b>	$<6;7>$	6,5	29	31,521
<b>5</b>	$<8;9>$	8,5	11	16,91
<b>6,7</b>	$<10; \infty)$	13	4	5,155

Zdroj: vlastní data

Konečný pomocný výpočet, s jehož pomocí je možné stanovit experimentální hodnoty testového kritéria Chí-kvadrát testu, vypadá následovně:  $\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$ .

$$\frac{(n_{1,2} - np_{1,2})^2}{np_{1,2}} = \frac{(23 - 17,261)^2}{17,261} = 1,908$$

$$\frac{(n_3 - np_3)^2}{np_3} = \frac{(33 - 29,053)^2}{29,053} = 0,536$$

$$\frac{(n_4 - np_4)^2}{np_4} = \frac{(29 - 31,521)^2}{31,521} = 0,202$$

$$\frac{(n_5 - np_5)^2}{np_5} = \frac{(11 - 16,91)^2}{16,91} = 2,066$$

$$\frac{(n_{6,7} - np_{6,7})^2}{np_{6,7}} = \frac{(4 - 5,155)^2}{5,155} = 0,259$$

Po provedení součtu všech výše uvedených hodnot byla zjištěna experimentální hodnota testového kritéria.

$$\chi_{exp}^2 = \sum_{i=0}^n \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

$$\chi_{exp}^2 = 4,971$$

Experimentální testové kritérium  $\chi^2_{exp}$  je nutné dále porovnat s  $\chi^2_{teoretické}$ , odkud už lze použít aparát nulových a alternativních hypotéz.

$$\chi^2_{teoretické} = \chi^2_{k-r-1}$$

$$\chi^2_{teoretické} = \chi^2_{4-2-1}$$

$$\chi^2_{teoretické} = \chi^2_1$$

Kritický obor W

$$W = \langle \chi^2_{teoretické} (\alpha/2); +\infty \rangle$$

$$W = \langle \chi^2_2 (0,05); +\infty \rangle$$

$$W = \langle 3,84; +\infty \rangle$$

$\chi^2_{exp} \in W \rightarrow$  Na hladině statistické významnosti  $\alpha = 0,05$  lze nulovou hypotézu zamítnout a přijmout alternativní hypotézu. Z výsledků tedy vyplývá, že dané empirické rozdělení četností nelze nahradit normálním rozdělením.

### 3.2.3 Porovnání znalostí obyvatel měst a obcí

Aby bylo možné zjistit, zda je mezi vědomostmi obyvatel měst a obcí statisticky významný rozdíl, je potřeba aplikovat dvouvýběrový t-test. Pro statistické hodnocení byla zvolena hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H<sub>0</sub> – Mezi znalostmi obyvatel vybraných měst a obcí v oblasti znalostí o zdrojích ionizujícího záření a jejich možném zneužití není statisticky významný rozdíl.

H<sub>a</sub> – Mezi znalostmi obyvatel vybraných měst a obcí v oblasti znalostí o zdrojích ionizujícího záření a jejich možném zneužití je statisticky významný rozdíl.

Empirické parametry označené indexem 1 jsou spojené se znalostmi obyvatel ve vybraných městech, s indexem 2 jsou spojené znalosti obyvatelstva ve vybraných obcích.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$t_{exp} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)Sx^2 + (n_2 - 1)Sy^2}} * \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

$$t_{exp} = \frac{6,16 - 5,2}{\sqrt{(100 - 1)2,33^2 + (100 - 1)2,44^2}} * \sqrt{\frac{100 \cdot 100 \cdot (100 + 100 - 2)}{100 + 100}}$$

$$t_{exp} = -1,26$$

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

$W = (-\infty; -t_{198}(0,025)) \cup (t_{198}(0,025); \infty)$

$t_{198}(0,025) = 1,96 \rightarrow W = (-\infty; -1,96) \cup (1,96; +\infty)$

Z výpočtu lze určit, že  $t_{exp}$  nenáleží do kritického oboru  $W$ . Je tedy možné přijmout hypotézu  $H_0$ . Rozdíl mezi znalostmi respondentů v oblasti možného zneužití zdrojů ionizujícího záření ve vybraných městech a obcích v Jihočeském kraji, není na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  statisticky významný.

## 4 Diskuze

Bakalářská práce se zabývala ionizujícím zářením a jeho případným zneužitím. Nastíněn byl rovněž i historický vývoj a možná rizika použití radiologických zbraní. Je důležité, aby si lidé uvědomovali nebezpečí, které se pojí s problematikou řešenou v této práci. Vzhledem ke skutečnosti, že by mohly být radiologické zbraně zneužity, měly by mít obyvatelé dostatek informací o účincích, následcích a principech radiologických zbraní. To je důležité pro jejich případnou přípravu při řešení vzniklé rizikové situace. Z výše uvedeného důvodu byly v předkládané práci stanoveny následující hypotézy:

- Znalosti obyvatelstva Jihočeského kraje v oblasti zneužití zdrojů ionizujícího záření mají normální rozdělení.
- Rozdíl ve znalostech obyvatelstva v malých obcích a městech bude statisticky významný.

Na základě zjištěných informací, které jsou uvedeny v teoretické části této práce, se domnívám, že riziko použití radiačních zbraní je v současné době stále aktuální a může znamenat velkou hrozbu. V budoucnosti jsou pro celý svět hrozbou nejen radiologické zbraně, ale rovněž také zbraně jaderné, které se mohou stát nástrojem pro použití násilí v případě mezinárodních konfliktů.

Ke zjištění a porovnání znalostí obyvatel měst a obcí nacházejících se v Jihočeském kraji spolu s následným potvrzením či vyvrácením stanovených hypotéz, bylo provedeno dotazníkové šetření. Výzkumný soubor čítá celkem 200 obyvatel, přičemž 100 obyvatel je z měst České Budějovice a Strakonice a zbylých 100 obyvatel je z obcí blízko Českých Budějovic.

Dotazník, který byl respondentům předložen, obsahoval celkem 13 otázek týkajících se problematiky ionizujícího záření a jeho zneužití.

Na základě dotazníkového šetření bylo potvrzeno, že existuje určité všeobecné povědomí o řešené problematice.

## 4.1 Diskuze k jednotlivým otázkám

U otázky č. 1 odpovědělo správně 132 respondentů (66 %). Jednalo se o zjištění znalostí obyvatel, kdo objevil rentgenové záření. Správná odpověď byla c) Wilhelm Conrad Röntgen. U této otázky jsem předpokládal větší úspěšnost, ale i tak se jedná o velmi uspokojivý výsledek, jelikož u dalších otázek bude procentuální vyjádření úspěšnosti klesat.

Druhá otázka se zaměřila na znalosti respondentů v oblasti druhů ionizujícího záření. Správnou odpovědí bylo a) alfa, beta, gama, rentgenové záření. Správnou odpověď zvolilo 109 respondentů (54 %).

Třetí otázka se snažila zjistit povědomí respondentů o využití zdrojů ionizujícího záření. U této otázky odpověděla správně přesně jedna polovina, tedy 100 respondentů (50 %). Správnou odpovědí bylo c) v lékařství, zemědělství, průmyslu, jaderných elektrárnách.

Čtvrtá otázka se týkala ztráty ionizujícího záření na území České republiky. Správnou odpovědí bylo a) ano. Správně odpovědělo pouze 79 dotázaných (39 %). U této otázky jsem očekával trochu vyšší procento správných odpovědí, jelikož se jedná o území naší republiky a obyvatelé by měli mít tedy povědomí o událostech, které se zde odehrály.

Pátá otázka byla zaměřena na to, zda respondenti vědí, jaký zdroj záření mají kobaltové a cesiové ozařovače. Správnou odpovědí bylo a)  $\gamma$ . Správnou odpověď označilo 75 respondentů (37 %). U této otázky jsem čekal o něco nižší úspěšnost, a proto mě konečný výsledek 37 % správných odpovědí potěšil.

Šestou otázkou byli respondenti zkoušeni, zda mají povědomí o defektoskopii. Správnou odpovědí na tuto otázku bylo b) přístroj využívaný v průmyslu ke kontrole trhlin a může mít radioaktivní zářič. Zde byla úspěšnost ještě vyšší než u předchozích dvou otázek. Správně odpovědělo 89 dotázaných (44 %).

Sedmá otázka se zaměřila na zářiče využívané v oblasti lékařství. Cílem bylo zjistit, zda obyvatelé měst a obcí vědí, jaké zářiče se v tomto oboru využívají nejčastěji. Správnou odpovědí bylo c) cesium  $^{137}\text{Cs}$ , izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$ . Úspěšnost byla více

než uspokojivá, správnou odpověď totiž označilo 81 respondentů (40 %), což předčilo má očekávání, jelikož se jednalo o velmi těžkou otázku. Srovnatelné vědomosti měli i studenti základních, středních a vysokých škol v Jihočeském kraji. Správnou odpověď označilo 56 respondentů (28 %). Vyplývá to z bakalářské práce Kristýny Švecové. (29)

Otázka č. 8 se týkala radiační nehody v Goianii, která se v minulosti stala. Správnou odpovědí na tuto otázku bylo c) i na pracovištích s radioterapeutickým zdrojem používaným v medicíně. Správnou odpověď zvolilo 87 respondentů (43 %).

Posledních pět otázek se zabývalo radiologickou zbraní, nazývanou tzv. špinavá bomba, jež je v současné době velkou hrozbou. Na otázku zaměřující se na zjištění povědomí respondentů ohledně této zbraně odpovědělo správně 99 respondentů (49 %). Tento výsledek je poměrně uspokojivý, jelikož jsem očekával nižší procento úspěšnosti. Další otázka navazovala na předchozí. Tentokrát bylo cílem zjistit, zda respondenti vědí, z čeho je složena. Správnou odpovědí bylo b) konvenční trhavinny a zářiče. Na tuto otázku odpovědělo správně již méně dotázaných, a sice 70 respondentů (35 %). Následující otázka se zaměřila na princip tzv. špinavé bomby, a zda jej dotazovaní obyvatelé Jihočeského kraje znají. Správnou odpovědí bylo a) rozšířit do životního prostředí radioaktivní látky se škodlivým biologickým účinkem. Správnou odpověď zvolilo pouze 69 respondentů (34 %). Předposlední otázka v dotazníku se týkala cíle, pro který je tzv. špinavá bomba používána. Správnou odpovědí je, že jsou tímto cílem socioekonomické škody, které při použití napáchá. Správně odpovědělo 82 dotázaných (41%). Poslední otázka měla za cíl zjistit, zda oslovení respondenti vědí, které izotopy by mohly být použity k výrobě tzv. špinavé bomby. Správnou odpovědí bylo c) cesium  $^{137}\text{Cs}$ , americium  $^{241}\text{Am}$ . Přesto, že jsem předpokládal u této otázky velmi malou úspěšnost, správnou odpověď zvolilo 89 respondentů (44 %).

## 4.2 Diskuze ke statistickému šetření

Díky statistickému šetření bylo zjištěno, že u znalostí obyvatel vybraných měst Jihočeského kraje bylo dosaženo aritmetického průměru 6,16 bodů. To znamená průměrně šest správně zodpovězených otázek z celkového počtu třinácti. Výsledek koeficientu šikmosti vyšel kladný. To znamená, že prvky škály ležící vlevo od aritmetického průměru mají vyšší četnost. Z toho vyplývá, že obyvatelé měst Jihočeského kraje mají menší znalosti v oblasti ionizujícího záření a jeho zneužití, než jejich aritmetický průměr. Z neparametrického testování lze na hladině statistické významnosti  $\alpha = 0,05$  nulovou hypotézu zamítnout a přijmout alternativní hypotézu. Z výsledků tedy vyplývá, že dané empirické rozdělení četností nelze nahradit normálním rozdělením.

U obyvatel vybraných menších obcí Jihočeského kraje je aritmetický průměr 5,2 bodů ze třinácti možných správně zodpovězených otázek. Vypočtený koeficient šikmosti je kladný. To znamená, že prvky škály ležící vlevo od aritmetického průměru mají vyšší četnost. Tudiž obyvatelé vybraných obcí Jihočeského kraje mají četnější koncentraci menších znalostí v oblasti ionizujícího záření a jeho zneužití, než jejich aritmetický průměr. Z neparametrického testování se na hladině statistické významnosti  $\alpha = 0,05$  lze nulovou hypotézu zamítnout a přijmout alternativní hypotézu. Z výsledků tedy vyplývá, že dané empirické rozdělení četností nelze nahradit normálním rozdělením.

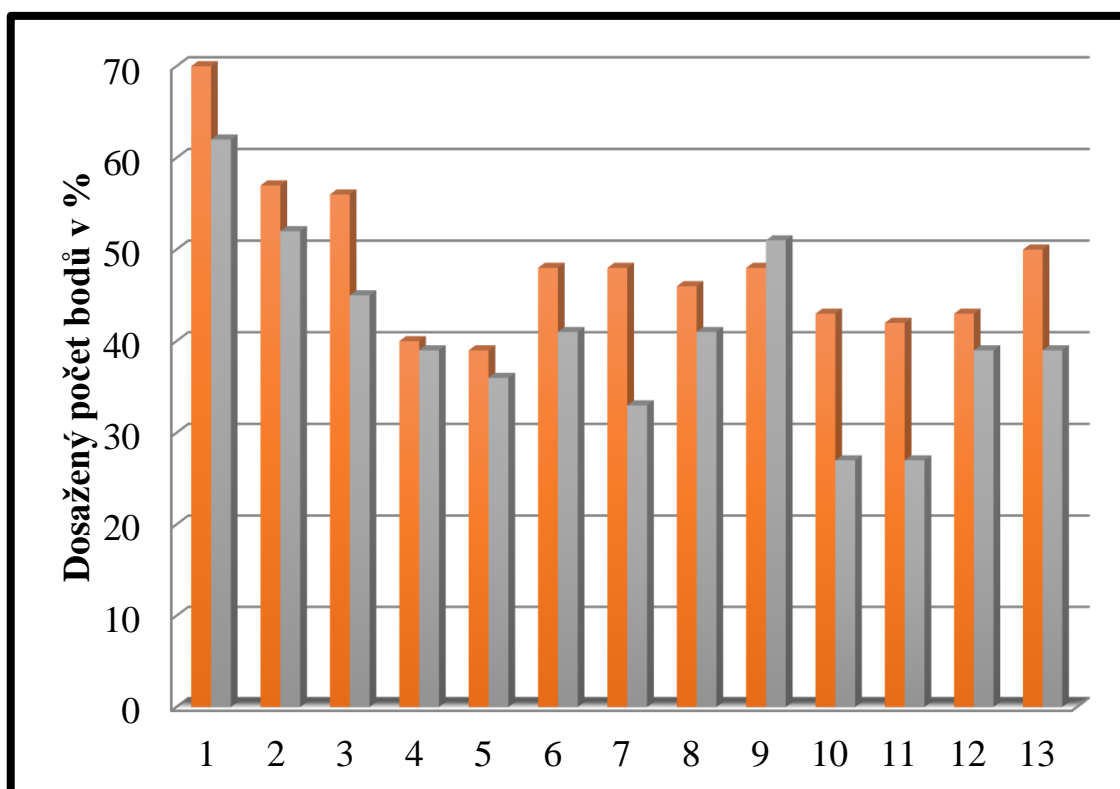
## 4.3. Shrnutí výzkumné části

První hypotéza „Znalosti obyvatelstva Jihočeského kraje v oblasti zneužití zdrojů ionizujícího záření mají normální rozdělení.“ byla provedeným statistickým zpracováním zjištěných výsledků zamítnuta. Tato skutečnost může být dána velmi nízkými znalostmi obyvatel vybraných obcí, jak je vidět na obrázku 33, jejichž statistický průměr úspěšnosti je 53%. Ve většině případů v procentuální úspěšnosti byli obyvatelé

vybraných obcí pod 50%, s výjimkou otázky č. 2, kde byla úspěšnost 52 % a otázky č. 9, kde byla úspěšnost 51%. Na rozdíl od obcí, měli větší procentuální úspěšnost obyvatelé měst. Například otázka č. 1, kterou správně zodpovědělo přesně 70 % dotázaných, a dále otázky č. 2. a 3., které měly více než 55% úspěšnost.

V níže přiloženém obrázku 33 je názorně vidět procentuální úspěšnost obyvatel měst a obcí Jihočeského kraje v jednotlivých otázkách.

**Obrázek 33 - Procentuální úspěšnost obyvatel měst a obcí v jednotlivých otázkách**



Zdroj: vlastní data



Druhá hypotéza „Rozdíl ve znalostech obyvatelstva v malých obcích a městech bude statisticky významný.“ se také nepotvrdila.

Výsledky mohou být dány i tím, že se dotazník vyhodnocoval v obcích nacházejících se v blízkosti Českých Budějovic a jedná se tedy o satelitní obce tohoto města. Touto skutečností mohlo dojít ke zkreslení informací, a proto není na dané hladině významnosti statistický rozdíl ve znalostech v oblasti zdrojů ionizujícího záření a jejich možného zneužití významný. Celkově lze říci, že provedené statistické šetření je poznamenáno faktem, že znalosti v dané problematice jsou poměrně nízké a nedosahují ani průměru.

## Závěr

Předkládaná bakalářská práce byla psána na téma „Zneužití zdrojů ionizujícího záření“. Uvedené téma jsem si zvolil z toho důvodu, že v současné době je velmi aktuální a radioaktivita spolu s radiologickým terorismem představují pro lidstvo velkou hrozbu.

Cílem předkládané bakalářské práce bylo shrnout problematiku možného zneužití zdrojů ionizujícího záření a posoudit znalosti obyvatelstva Jihočeského kraje v oblasti zneužití zdrojů ionizujícího záření.

Pro naplnění stanovených cílů bylo nutné nastudovat odbornou literaturu sloužící jako podklad pro vypracování teoretické části práce, a formulovat hypotézy testované v praktické části bakalářské práce.

Stanovené hypotézy: Znalosti obyvatelstva Jihočeského kraje v oblasti zneužití zdrojů ionizujícího záření mají normální rozdělení. Rozdíl ve znalostech obyvatelstva v malých obcích a městech bude statisticky významný.

Tento výzkum byl realizován prostřednictvím dotazníkového šetření ve dvou městech a pěti malých obcích Jihočeského kraje. Jednotlivé otázky z dotazníkového šetření byly následně zpracovány a vyhodnoceny spolu s grafickým znázorněním. Stanovené hypotézy bakalářské práce byly testovány na základě parametrického a neparametrického testování.

Cíle bakalářské práce byly splněny. Sestavený dotazník, se kterým probíhalo dotazníkové šetření, napomohl k potvrzení či vyvrácení hypotéz. Po zpracování potřebných dat, proběhlo jejich statistické vyhodnocení.

První hypotéza „Znalosti obyvatelstva Jihočeského kraje v oblasti zneužití zdrojů ionizujícího záření mají normální rozdělení“ nebyla potvrzena na základě užití Chí-kvadrát testu a to především díky skutečnosti, že znalosti obyvatel vybraných měst a obcí v oblasti Jihočeského kraje byly velmi nízké.

Druhá hypotéza „Rozdíl ve znalostech obyvatelstva v malých obcích a městech bude statisticky významný“ rovněž nebyla potvrzena a to za pomoci dvouvýběrového t-

testu. Rozdíl ve znalostech mezi dotazovanými obyvateli měst a obcí Jihočeského kraje byl nepatrný a na hladině  $\alpha = 0,05$  statisticky nevýznamný.

## Seznam použité literatury

- [1] KLENER, Vladislav (ed.). *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. ISBN 80-238-3703-6.
- [2] SABOL, Jozef a Petr VLČEK. *Radiační ochrana v radioterapii*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04757-6.
- [3] ČEZ: Druhy ionizujícího záření [online]. [cit. 21. 5. 2016]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/druhy\\_5.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/druhy_5.html)
- [4] Radiobiologie [online]. [cit. 26. 5. 2016]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/42/422.html>
- [5] KUNA, Pavel a Leoš NAVRÁTIL. *Klinická radiobiologie*. Praha: Manus, 2005. ISBN 80-86571-09-2.
- [6] SÚKUPOVÁ, Lucie: Rentgenka – její stavba a funkce [online]. [cit. 8. 6. 2016]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/rentgenka-a-produkce-rentgenoveho-zareni/>
- [7] Encyklopedie fyziky: Urychlovače částic [online]. [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/856-urychlovace-castic>
- [8] KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína: [učební text]*. Praha: P3K, c2007. ISBN 978-80-903584-9-2.
- [9] *Nukleární medicína*. 4. uprav. a dopl. vyd. Jilemnice: Gentiana, 2002. ISBN 80-86527-05-0.
- [10] HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj, 1998. ISBN 80-85615-56-8.
- [11] RIEBELOVÁ, Dana, Ludvík PRUDIL a Josef SVOBODA. *Problematika práce sestry v souvislosti s diagnostikou a léčbou ionizujícím zářením*. 4. přeprac. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993. ISBN 80-7013-141-1.
- [12] IAEA: Goiânia's Legacy Two Decades On [online]. [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/newscenter/news/goi%C3%A2nia%C2%B4s-legacy-two-decades>

- [13] CÍLKOVÁ, Eliška: Když se řekne slovo „radioaktivní“ [online]. [cit. 16. 6. 2016]. Dostupné z: <http://cilkova.blog.respekt.cz/kdyz-se-rekne-slovo-radioaktivni/>
- [14] Válka.cz: Špinavá bomba [online]. [cit. 16. 6. 2016]. Dostupné z: <http://www.valka.cz/13420-Spinava-bomba>
- [15] PATOČKA: Špinavá bomba [online]. [cit. 16. 6. 2016]. Dostupné z: <http://toxicology.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=31>
- [16] Bulletin of the Atomic Scientists: Lessons from a Mexican theft [online]. [cit. 17. 6. 2016]. Dostupné z: <http://thebulletin.org/lessons-mexican-theft>
- [17] iDNES.cz: Mexičtí zloději radioaktivního nákladáku jeví příznaky ozáření [online]. [cit. 17. 6. 2016]. Dostupné z: [http://zpravy.idnes.cz/sest-mexicanu-je-v-nemocnici-kvuli-radiaci-z-ukradeneho-nakladu-pvs-/zahranicni.aspx?c=A131206\\_215959\\_zahranicni\\_zt](http://zpravy.idnes.cz/sest-mexicanu-je-v-nemocnici-kvuli-radiaci-z-ukradeneho-nakladu-pvs-/zahranicni.aspx?c=A131206_215959_zahranicni_zt)
- [18] PROUZA, Zdeněk a Jiří ŠVEC. *Zásahy při radiační mimořádné události*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-046-3.
- [19] Encyklopedie fyziky: Umělá radioaktivita [online]. [cit. 18. 6. 2016]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/810-umela-radioaktivita>
- [20] Zdroje ionizujícího záření využívané ve zdravotnictví [online]. [cit. 18. 6. 2016]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/431.html>
- [21] Městská nemocnice Ostrava: Skiografie – skiaskopie (centrální rentgen) [online]. [cit. 19. 6. 2016]. Dostupné z: <http://www.mnof.cz/klinicka-oddeleni/radiologie-a-zobrazovaci-metody-rentgen/kiografie-skiaskopie-centralni-rentgen/>
- [22] Affidea Praha: Výpočetní tomografie (CT) [online]. [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <http://www.affidea-praha.cz/pocitacova-tomografie>
- [23] NEUBAUER, Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KŘÍŽ. *Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4273-1.

- [24] HENDL, Jan. *Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat*. Praha: Portál, 2004. ISBN 80-7178-820-1.
- [25] DIGGLE, Peter a Amanda CHETWYND. *Statistics and scientific method: an introduction for students and researchers*. New York: Oxford University Press, 2011. ISBN 978-0-19-954319-9.
- [26] CYHELSKÝ, Lubomír. *Teorie statistiky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00421-7.
- [27] ZÁŠKODNÝ, Přemysl, Renata HAVRÁNKOVÁ, Jiří HAVRÁNEK a Vladimír VURM. *Základy statistiky: (s aplikací na zdravotnictví)*. Přepřacované druhé vydání. Praha: Curriculum, 2011. ISBN 978-80-904948-2-4.
- [28] BUDÍKOVÁ, Marie, Maria KRÁLOVÁ a Bohumil MAROŠ. *Průvodce základními statistickými metodami*. Praha: Grada, 2010. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3243-5.
- [29] ŠVECOVÁ, Kristýna. *Možná rizika zneužití zdrojů ionizujícího záření*. České Budějovice, 2008. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 1 .....	44
Obrázek 2 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 1.....	44
Obrázek 3 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 2 .....	45
Obrázek 4 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 2.....	46
Obrázek 5 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 3 .....	47
Obrázek 6 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 3.....	48
Obrázek 7 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 4 .....	49
Obrázek 8 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 4.....	50
Obrázek 9 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 5 .....	51
Obrázek 10 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 5.....	52
Obrázek 11 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 6 .....	53
Obrázek 12 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 6.....	54
Obrázek 13 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 7 .....	55
Obrázek 14 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 7.....	56
Obrázek 15 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 8 .....	57
Obrázek 16 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 8.....	58
Obrázek 17 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 9 .....	59
Obrázek 18 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 9.....	60
Obrázek 19 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 10 .....	61
Obrázek 20 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 10.....	62
Obrázek 21 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 11 .....	63
Obrázek 22 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 11.....	64
Obrázek 23 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 12 .....	65
Obrázek 24 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 12.....	66
Obrázek 25 - Grafické znázornění správných a špatných odpovědí - otázka č. 13 .....	67
Obrázek 26 - Odpovědi respondentů dle měst a obcí - otázka č. 13.....	68
Obrázek 27 - Polygon absolutních četností (obyvatelé měst Jihočeského kraje).....	74
Obrázek 28 - Polygon relativních četností (obyvatelé měst Jihočeského kraje) .....	75

Obrázek 29 - Polygon kumulativních četností (obyvatelé měst Jihočeského kraje) .....	76
Obrázek 30 - Polygon absolutních četností (obyvatelé obcí Jihočeského kraje).....	84
Obrázek 31 - Polygon relativních četností (obyvatelé obcí Jihočeského kraje).....	85
Obrázek 32 - Polygon kumulativních četností (obyvatelé obcí Jihočeského kraje).....	85
Obrázek 33 - Procentuální úspěšnost obyvatel měst a obcí v jednotlivých otázkách.....	96



## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výsledky respondentů měst a obcí dohromady.....	69
Tabulka 2 - Výsledky respondentů z měst.....	70
Tabulka 3 - Výsledky respondentů z obcí .....	71
Tabulka 4 - Elementární statistické zpracování .....	73
Tabulka 5 - Elementární statistické zpracování .....	77
Tabulka 6 - Důležité hodnoty pro neparametrické testování .....	77
Tabulka 7 - Přehled výpočtů Chí-kvadrát testu .....	79
Tabulka 8 - Tabulka se splněnými podmínkami Chí-kvadrát testu .....	80
Tabulka 9 - Elementární statistické zpracování .....	83
Tabulka 10 - Elementární statistické zpracování .....	86
Tabulka 11 - Důležité hodnoty pro neparametrické testování .....	87
Tabulka 12 - Přehled výpočtů Chí-kvadrát testu .....	88
Tabulka 13 - Tabulka se splněnými podmínkami Chí-kvadrát testu .....	89

# Přílohy

## Příloha A – Dotazník

### 1. Kdo objevil rentgenové záření?

- a) Antoine Henri Becquerel
- b) Pierre Currie
- c) Wilhelm Conrad Röntgen
- d) Sir James Chadwick

### 2. Jaké druhy ionizujícího záření znáte?

- a) alfa, beta, gama, rentgenové záření
- b) a, b, c
- c) 1, 2, 3
- d) primární, sekundární

### 3. Zdroje ionizujícího záření se využívají:

- a) pouze v lékařství
- b) nevyžívají se nikde, jsou škodlivé
- c) v lékařství, zemědělství, průmyslu, jaderných elektrárnách
- d) pouze ve výzkumných ústavech

### 4. Došlo na území České republiky ke ztrátě zdroje ionizujícího záření?

- a) ano
- b) ne
- c) nevím
- d) ke ztrátě zdroje ionizujícího záření došlo na území Slovenska v době společné

**5. Kobaltové a cesiové ozařovače jsou ozařovače se zdrojem záření:**

- a)  $\gamma$
- b)  $\alpha$
- c)  $\beta$
- d) rentgenové záření

**6. Defektoskop je:**

- a) přístroj využívaný v průmyslu ke kontrole trhlin a je pouze ultrazvukový
- b) přístroj využívaný v průmyslu ke kontrole trhlin a může mít radioaktivní zářič
- c) přístroj využívaný pro měření ionizujícího záření v zemědělství
- d) přístroj využívaný pouze vojáky a v průmyslu se nevyužívá

**7. V lékařství se využívají nejčastěji zářiče:**

- a) v medicíně se nevyužívají žádné zářiče
- b) krypton  $^{85}\text{Kr}$
- c) cesium  $^{137}\text{Cs}$ , izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$
- d) yttrium  $^{90}\text{Y}$ , zirconium  $^{89}\text{Zr}$

**8. V minulosti došlo k radiační nehodě:**

- a) pouze na pracovištích s průmyslovými zdroji
- b) pouze v souvislosti s využíváním jaderné energie
- c) i na pracovištích s radioterapeutickým zdrojem používaným v medicíně

**9. Špinavou bombou se rozumí zbraň:**

- a) chemická
- b) radiologická
- c) biologická
- d) jaderná

**10. Špinavá bomba je složena z:**

- a) rozněcovače a trhaviny
- b) konvenční trhaviny a zářiče
- c) pouze velkého množství trhaviny
- d) konvenční trhaviny a chemické látky

**11. Principem špinavé bomby je:**

- a) rozšířit do životního prostředí radioaktivní látky se škodlivým biologickým účinkem
- b) rozšířit do životního prostředí co největší množství chemických látek
- c) způsobit co největší materiální škody
- d) dosáhnout co největší exploze

**12. Cílem použití špinavé bomby jsou:**

- a) pouze ekonomické škody
- b) socioekonomické škody
- c) škody způsobené na životním prostředí
- d) pouze finanční škody

**13. Mezi izotopy, které by mohly být použity k výrobě špinavé bomby, patří:**

- a) yttrium  $^{90}\text{Y}$ , krypton  $^{85}\text{Kr}$
- b) zirconium  $^{89}\text{Zr}$ , carbon  $^{14}\text{C}$
- c) cesium  $^{137}\text{Cs}$ , americium  $^{241}\text{Am}$
- d) magnesium  $^{24}\text{Mg}$ , helium  $^6\text{He}$