



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Informovanost obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

Autor: Bc. Tereza Černá

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

České Budějovice 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „*Informovanost obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina*“ jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne 15. května 2017

.....

Tereza Černá

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, ochotu, vstřícný přístup, cenné rady a připomínky, které mi při zpracování diplomové práce poskytla.

Informovanost obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá informovaností obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina. Cílem práce je zjistit úroveň znalostí obyvatelstva o jaderné havárii a následně porovnat znalosti obyvatel ve věku 18–44 let a ve věku nad 45 let. V rámci práce byly stanoveny dvě hypotézy, H1: znalosti obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě se budou blížit normálnímu rozdělení a H2: osoby mladší 45 let budou mít statisticky významně vyšší znalosti než osoby starší.

K dosažení vymezených cílů a k ověření hypotéz byl sestaven dotazník, proveden dotazníkový průzkum a následně pomocí metod deskriptivní a matematické statistiky vyhodnoceny výsledky. Předložený dotazník obsahoval 11 otázek. Výzkumný soubor tvořilo 100 obyvatel ve věku 18–44 let a 100 obyvatel ve věku nad 45 let.

Z výsledků dotazníkového šetření vyplývá, že celková úspěšnost zodpovězených otázek byla 63,3 %, což lze považovat za mírně nadprůměrný výsledek. Obyvatelé ve věku 18–44 let odpověděli na všechny otázky v 66,1 % správně a obyvatelé ve věku nad 45 let v 60,6 % správně. Stanovených cílů bylo dosaženo a obě hypotézy byly potvrzeny.

Přínosem diplomové práce je především získaný obraz o stavu informovanosti obyvatel o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina. Získané výsledky mohou být využity i orgány krizového řízení v souvislosti s přípravou a zaměřením preventivně výchovné činnosti týkající se problematiky jaderné energetiky či ochrany před ionizujícím zářením.

Klíčová slova

Fukušima; ionizující záření; informovanost obyvatelstva; jaderná havárie; radioaktivní látky.

Knowledge of population about the nuclear disaster at Fukushima in the Vysočina Region

Abstract

The thesis deals with the knowledge of the population about the nuclear disaster at Fukushima in the Vysočina Region. The goal is to determine the level of knowledge of population about the accident and then compare the knowledge of people aged 18–44 years and older than 45 years. In the thesis were set two hypotheses, H1: the knowledge of the population in the nuclear accident will be close to normal distribution and H2: people under 45 years will have statistically higher knowledge than older people.

To achieve the set goals and to test the hypotheses, a questionnaire was compiled and a survey was made. The results of the survey were evaluated by methods of descriptive and mathematical statistics. The questionnaire consisted of 11 questions. The survey consisted of 100 people aged 18–44 years and 100 people aged over 45 years.

The results of the survey show that the overall percentage of correctly answered questions was 63,3 %, which can be considered slightly above average. 66,1 % of people aged 18–44 years answered the questions correctly and residents over the age of 45 years 60,6 % correctly. The set goals were achieved and both hypotheses were confirmed.

The benefit of this thesis is to obtain a picture of knowledge of public in the nuclear disaster at Fukushima in the Vysočina Region. The results can also be used for crisis management authorities within the preparation and preventive educational activities focused on the issue of nuclear energy and radiation protection.

Keywords

Fukushima; ionizing radiation; knowledge of population; nuclear disaster; radioactive substances.

Obsah

ÚVOD.....	9
1 TEORETICKÁ ČÁST	10
1.1 Radioaktivita a ionizující záření.....	10
1.1.1 Vybrané veličiny a jednotky v oblasti ionizujícího záření	11
1.1.2 Zdroje ionizujícího záření	12
1.1.3 Účinky ionizujícího záření na organismus.....	13
1.1.4 Ochrana před ionizujícím zářením.....	14
1.2 Havarijní připravenost.....	14
1.2.1 Radiační mimořádné události	15
1.2.2 Havarijní plánování.....	15
1.3 Opatření k ochraně obyvatelstva	17
1.3.1 Varování a informování obyvatelstva, vyrozumění.....	17
1.3.2 Ukrytí	18
1.3.3 Jodová profylaxe	18
1.3.4 Evakuace	19
1.4 Mezinárodní stupnice INES	19
1.4.1 Popis stupnice	20
1.5 Jaderná elektrárna Fukušima.....	21
1.5.1 Reaktor BWR.....	22
1.5.2 Chlazení reaktoru	24
1.6 Havárie jaderné elektrárny Fukušima	25
1.6.1 Příčiny havárie	25
1.6.2 Průběh havárie	27
1.6.3 Stabilizace situace v elektrárně.....	31
1.6.4 Následky havárie.....	33
1.6.5 Aktuální situace	35

1.7	Základní statistické metody.....	36
1.7.1	Formulace statistického šetření.....	37
1.7.2	Škálování	38
1.7.3	Měření v deskriptivní statistice.....	38
1.7.4	Elementární statistické zpracování	38
1.7.5	Neparametrické testování	39
1.7.6	Parametrické testování.....	39
2	CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY	41
2.1	Cíl práce	41
2.2	Hypotézy	41
3	METODIKA VÝZKUMU.....	42
3.1	Statistické zpracování.....	42
4	VÝSLEDKY	46
4.1	Výsledky dotazníkového šetření	46
4.2	Statistické šetření u obyvatel ve věkové kategorii 18–44 let.....	62
4.2.1	Formulace statistického šetření.....	62
4.2.2	Škálování a měření.....	63
4.2.3	Elementární statistické zpracování	63
4.2.4	Neparametrické testování	66
4.3	Statistické šetření u obyvatel ve věkové kategorii nad 45 let	69
4.3.1	Formulace statistického šetření.....	70
4.3.2	Škálování a měření.....	70
4.3.3	Elementární statistické zpracování	70
4.3.4	Neparametrické testování	73
4.4	Parametrické testování - aplikace dvojvýběrového t-testu.....	76
5	DISKUSE.....	78
5.1	Diskuse k jednotlivým otázkám dotazníku	78

5.2	Diskuse ke statistickému šetření	81
5.3	Shrnutí výzkumné části	82
6	ZÁVĚR	84
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	85
8	SEZNAM ZKRATEK	93
9	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	94
10	SEZNAM TABULEK	95
11	SEZNAM GRAFŮ	96
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	98

ÚVOD

Druhou nejhorší havárií v historii mírového využívání jaderné energie byla havárie v jaderné elektrárně Fukušima. K této havárii došlo poměrně v nedávné době, dne 11. března 2011. Příčinou havárie byla extrémní přírodní katastrofa, zemětřesení s následnou vlnou tsunami. Svou roli zde sehrál i lidský faktor v souvislosti se špatnou projekcí elektrárny, resp. nevhodným umístěním náhradních zdrojů energie do suterénů a podceněním možného rozsahu živelních pohrom.

Tato havárie představovala další milník v oblasti jaderné energetiky a její bezpečnosti. Nedůvěra v jadernou energii se opět prohloubila. V řadě států byl pozorován odklon od využívání jádra. V Evropě byly jaderné elektrárny prověřeny tzv. stress testy, které měly poukázat na jejich slabá místa. I přes značné následky, jejichž likvidace bude trvat ještě řadu let, přinesla havárie ve Fukušimě také mnoho ponaučení a udělala tak zase krůček vpřed, především ve zvýšení bezpečnosti jaderných elektráren.

Cílem diplomové práce je zjistit úroveň informovanosti obyvatel Kraje Vysočina o jaderné havárii ve Fukušimě a porovnat znalosti obyvatel ve věku 18–44 let a obyvatel ve věku nad 45 let.

Diplomová práce je rozdělena na část teoretickou a výzkumnou. V teoretické části jsou uvedeny základní informace o ionizujícím záření, havarijní připravenosti a ochraně obyvatelstva. Značná část je věnována jaderné havárii ve Fukušimě. Součástí je také kapitola o základních statistických metodách, která tak tvoří východisko pro druhou část práce. Ve výzkumné části byl za účelem dosažení stanoveného cíle proveden mezi obyvateli Kraje Vysočina dotazníkový průzkum, jehož výsledky byly vyhodnoceny pomocí metod deskriptivní a matematické statistiky.

1 TEORETICKÁ ČÁST

V úvodu teoretické části jsou uvedeny obecné informace týkající se ionizujícího záření. Jedná se především o důležité veličiny a jednotky, zdroje ionizujícího záření či přehled účinků záření na organismus. Další část se zabývá tematikou havarijní připravenosti a opatřeními k ochraně obyvatelstva. Stěžejní část tvoří popis jaderné elektrárny Fukušima a především popis samotné havárie jaderného zařízení. V závěru teoretické části je uveden popis základních statistických metod.

1.1 Radioaktivita a ionizující záření

Základním stavebním elementem látek je atom. Každý atom se skládá z atomového jádra a atomového obalu. Základní stavební částice jádra jsou protony a neutrony, které se souhrnně označují jako nukleony. Nukleonové číslo A tedy udává počet protonů a neutronů v jádře atomu. Počet protonů v jádře a zároveň postavení prvku v periodické tabulce udává protonové číslo Z . Stavebními částicemi atomového obalu jsou elektrony. Skupiny atomů, které mají stejné protonové a nukleonové číslo označujeme jako nuklidy. Nuklidy téhož prvku, jejichž atomy mají v jádře stejný počet protonů, ale odlišný počet neutronů, nazýváme izotopy (Prouza a Švec, 2008).

Stabilitu atomových jader určuje poměr počtu protonů a neutronů. Některé kombinace počtu protonů a neutronů vedou k nestabilitě jádra. Proces, při kterém se jádro určitého prvku samovolně přeměňuje na jádro jiného prvku, se označuje jako radioaktivita. Radioaktivní přeměna je doprovázena emisí ionizujícího záření a její snahou je dosáhnout stability atomu. Nuklidy prvků s nestabilním jádrem se nazývají radionuklidy (Navrátil et al., 2010).

Radioaktivita se dělí na přirozenou a umělou. Přirozená radioaktivita je charakteristická samovolnou přeměnou přírodních radionuklidů. V případě umělé radioaktivity je nestabilita atomového jádra vyvolána jadernými reakcemi (Švec, 2005).

Ionizující záření (dále jen IZ) je tok hmotných částic nebo fotonů elektromagnetického záření, které mají dostatečně vysokou energii k tomu, aby mohly ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jejich jádra.

Z hlediska způsobu interakce záření s prostředím dělíme IZ do dvou skupin (Ullmann, 2002):

- **přímo ionizující záření** – záření, které je tvořeno nabitými částicemi, které mají

dostatečnou kinetickou energii, aby mohly samy ionizovat atomy prostředí (protony, elektrony, pozitrony, α částice);

- **nepřímo ionizující záření** – záření, které je tvořeno částicemi, které jsou elektricky neutrální a nemohou prostředí přímo ionizovat. Svoji kinetickou energii musí nejprve předat nabitým částicím a tyto sekundárně uvolněné částice ionizují prostředí (neutrony, fotony).

1.1.1 Vybrané veličiny a jednotky v oblasti ionizujícího záření

Veličiny a jednotky v oblasti IZ můžeme obecně rozdělit do čtyř kategorií. První skupinou jsou veličiny charakterizující zdroj IZ, druhou veličiny popisující pole IZ, třetí skupinou pak veličiny charakterizující účinek IZ na látku a poslední skupinou veličiny charakterizující působení IZ na člověka (Švec, 2005). Následující text shrnuje základní veličiny v oblasti ionizujícího záření vybrané s ohledem na charakter diplomové práce.

Aktivita A – udává počet radioaktivních přeměn radionuklidu za jednotku času. Je definována jako podíl počtu radioaktivních přeměn daného radionuklidu za určitou dobu (dN) a časového intervalu (dt).

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

Jednotkou je becquerel (Bq), který má fyzikální rozměr s^{-1} . Jednotka aktivity může být dále vztažena na jednotku hmotnosti (hmotnostní aktivita $Bq \cdot kg^{-1}$), objemu (objemová aktivita $Bq \cdot m^{-3}$) apod.

Absorbovaná dávka D – udává množství energie předané ionizujícím zářením jednotce hmotnosti dané látky. Je definována jako podíl střední sdělené energie určitému hmotnostnímu objemu látky ($d\bar{\varepsilon}$) a hmotnosti tohoto objemového elementu látky (dm).

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

Jednotkou je gray (Gy), který má fyzikální rozměr $J \cdot kg^{-1}$.

Dávkový příkon – vyjadřuje přírůstek dávky za jednotku času. Je definován jako podíl dávky obdržené za určitý časový interval (dD) a tento časový interval (dt).

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

Jednotkou je $Gy \cdot s^{-1}$.

Ekvivalentní dávka H_T – zohledňuje různé účinky jednotlivých druhů IZ na organismus pomocí radiačního váhového faktoru. Je definována jako součet součinů absorbované dávky určitého typu záření v daném orgánu či tkáni ($D_{T,R}$) a radiačního váhového faktoru pro daný typ záření (w_R).

$$H_T = \sum (w_R D_{T,R})$$

Jednotkou je sievert (Sv), který má fyzikální rozměr opět $J \cdot kg^{-1}$.

Efektivní dávka E – zohledňuje kromě různých účinků jednotlivých typů záření také různou radiosenzitivitu (citlivost) orgánů a tkání. Je definována jako součet součinů ekvivalentní dávky v daném orgánu či tkáni (H_T) a tkáňového váhového faktoru pro daný orgán či tkáň (w_T).

$$E = \sum (w_T H_T)$$

Jednotkou je Sv (Navrátil et al., 2010).

1.1.2 Zdroje ionizujícího záření

Zdroje IZ rozdělujeme do dvou základních skupin. Jedná se o přírodní zdroje a umělé zdroje. Přírodní zdroje IZ, mezi které se řadí kosmické záření a přírodní radionuklidy, jsou běžnou součástí přírody a v největší míře se podílejí na radiační zátěži obyvatelstva. Průměrná roční efektivní dávka z přírodních zdrojů činí v České republice zhruba 3,5 mSv (Navrátil et al., 2010). Ozáření z přírodních zdrojů však není rovnoměrné, např. v Japonsku je hodnota přirozeného pozadí velmi nízká (Wagner, 2015). S ohledem na druh práce blíže uvádím umělé zdroje IZ.

Umělé zdroje IZ

Umělé zdroje IZ jsou vytvořené člověkem a uplatňují se v mnoha oborech. Významné využití mají ve zdravotnictví, kde slouží jednak k diagnostickým, ale i terapeutickým účelům. Jedná se o rentgenky, lineární urychlovače nebo uměle připravené radionuklidy využívané zejména na odděleních nukleární medicíny. Právě lékařské ozáření tvoří nejvyšší příspěvek ozáření z umělých zdrojů.

V průmyslovém odvětví jsou aplikace zdrojů IZ také velmi využívány, jedná se např. o ionizační hlásiče požáru, defektoskopii a především jaderné reaktory (Kuna a Navrátil, 2005). Zdroje IZ pocházející právě z jaderných reaktorů jsou stěžejní a budou tak více rozebrány.

V primárním okruhu jaderného reaktoru vznikají procesem štěpení paliva štěpné produkty. Dále zde dochází k tzv. neutronové aktivaci, kdy zachytem neutronů v pokrytí paliva, v samotném palivu, v chladicím médiu či konstrukčním materiálu vznikají aktivační produkty. Obsah radionuklidů v primárním okruhu je neustále kontrolován, přičemž množství štěpných produktů významně převyšuje množství aktivačních produktů. Mezi štěpné produkty vypouštěné do ovzduší patří zejména (Klener (ed.), 2000):

- radioaktivní vzácné plyny ^{85}Kr , ^{133}Xe – mají velmi krátký poločas rozpadu (sekundy až minuty);
- radioizotopy ^{131}I a ^{133}I – mají relativně krátký poločas rozpadu (hodiny až dny);
- radioizotopy ^{134}Cs a ^{137}Cs – mají dlouhý poločas rozpadu (roky).

Mezi aktivační produkty vypuštěné do ovzduší patří např.:

- radioizotop ^{14}C , radioizotop ^{51}Cr , radioizotop ^{59}Fe atd.

Mezi nejvýznamnější radionuklid vypouštěný do vodotečí patří:

- ^3H – vzniká především aktivací bóru a není možné jej z vody nějak odstranit, musí být proto vypouštěn řízeně v aktivitách odpovídajících limitům.

1.1.3 Účinky ionizujícího záření na organismus

Ozáření člověka ionizujícím zářením vyvolává v lidském organismu biologické změny, které se mohou projevit během několika dnů, měsíců ale i let. Z hlediska vztahu mezi dávkou a účinkem rozlišujeme účinky IZ na deterministické a stochastické (SÚRO, 2000a).

Deterministické účinky záření jsou takové, které vznikají až tehdy, překročí-li dávka určitou prahovou hodnotu. Označují se také jako účinky prahové. Pro dávky nižší, než je prahová hodnota pro daný typ orgánu nebo tkáně, se poškození neprojeví. Naopak od určitého dávkového prahu stoupá s rostoucí dávkou závažnost poškození a počet postižených jedinců (Hušák, 2009). K deterministickým účinkům dochází v důsledku ozáření a poškození velkého množství buněk dané tkáně, kdy se už nemohou zcela uplatnit reparační procesy. K těmto účinkům se řadí (Hála, 1998):

- akutní nemoc z ozáření,
- akutní lokální poškození kůže,
- zákal oční čočky,

- poruchy plodnosti,
- poškození plodu v těle matky.

Stochastické účinky záření vznikají v důsledku mutací přeživších ozářených buněk a představují pozdní a náhodné účinky IZ (SÚRO, 2000a). Jsou bezprahové a mají pravděpodobnostní charakter, tzn., že pravděpodobnost vzniku poškození stoupá lineárně s dávkou. S rostoucí dávkou ovšem neroste závažnost těchto poškození. Mezi stochastické účinky se řadí (Hušák, 2009):

- zhoubné nádory,
- genetická poškození přenášena do dalších generací.

Stochastické účinky záření ovšem nelze odlišit od případů vzniklých spontánně v neozářené populaci.

1.1.4 Ochrana před ionizujícím zářením

Využívání zdrojů IZ v různých oborech lidské činnosti je spojeno s určitým rizikem ohrožení zdraví. Ochrana lidského zdraví, ale i životního prostředí, před účinky IZ je úkolem radiační ochrany. Cílem radiační ochrany je snížit úroveň ozáření osob na minimální hladinu, tedy zabránit vzniku deterministických účinků a snížit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků na rozumně dosažitelnou úroveň (Kuna a Navrátil, 2005). K omezení velikosti absorbované dávky se využívají 3 způsoby ochrany před IZ – ochrana časem, vzdáleností a stíněním.

Ochrana časem vyplývá z faktu, že velikost dávky je přímo úměrná době působení IZ. Snížíme-li dobu pobytu v blízkosti zdroje IZ, sníží se i velikost absorbované dávky.

Ochrana vzdáleností spočívá v udržování dostatečně velké vzdálenosti od zdroje IZ. V tomto případě dávkový příkon klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření (Klener (ed.), 2000).

Ochrana stíněním se realizuje umístěním vhodného stínicího materiálu mezi zdroj IZ a osobu. Stínicí materiál pak absorbuje záření nebo ho zeslabuje na požadovanou úroveň (Hušák, 2009).

1.2 Havarijní připravenost

V souvislosti s provozem jaderných elektráren může dojít k různým mimořádným událostem s následným únikem radioaktivních látek, které mohou ohrozit nejen

zaměstnance elektrárny, ale také okolní obyvatelstvo a životní prostředí. Na místě je tedy určitá preventivní příprava. Jedná se o havarijní plánování, jehož výsledkem je vypracování havarijních plánů za účelem zvládnutí mimořádných událostí, ochrany obyvatelstva, majetku a životního prostředí.

1.2.1 Radiační mimořádné události

Radiační mimořádnou událostí se rozumí taková událost, která vede nebo může vést k překročení limitů ozáření a vyžaduje taková opatření, která by zabránila překročení limitů a zhoršování situace (zákon č. 263/2016 Sb.).

Dle zákona č. 263/2016 Sb., zákon atomový zákon rozlišujeme:

- **radiační mimořádnou událost prvního stupně**, což je radiační mimořádná událost, která je zvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální pracovní směně, při které došlo ke vzniku této události;
- **radiační nehodu**, což je radiační mimořádná událost, která není zvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální pracovní směně, při které tato událost vznikla, nebo událost vzniklá v důsledku nálezu, zneužití, ztráty radionuklidového zdroje, přičemž není vyžadováno zavedení neodkladných ochranných opatření;
- **radiační havárii**, což je radiační mimořádná událost, která není zvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální pracovní směně, při které tato událost vznikla, nebo událost vzniklá v důsledku nálezu, zneužití, ztráty radionuklidového zdroje, přičemž je vyžadováno zavedení neodkladných opatření k ochraně obyvatelstva.

1.2.2 Havarijní plánování

Havarijní plány obsahují plánovaná opatření k likvidaci radiačních mimořádných událostí a opatření k minimalizaci jejich následků. Havarijní plán se zpracovává pro prostory jaderného zařízení (vnitřní havarijní plán), pro území zóny havarijního plánování v okolí jaderného zařízení (vnější havarijní plán) a pro přepravu jaderných materiálů nebo zdrojů IZ (havarijní řád).

Vnitřní havarijní plán zpracovává držitel povolení jako součást základní dokumentace nezbytné pro vydání povolení k provozu jaderného zařízení. Schvaluje ho Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB) (Brehovská et al., 2016). Jeho účelem je zajistit havarijní připravenost uvnitř areálu jaderného zařízení. Vnitřní havarijní plán obsahuje základní údaje o držiteli povolení, předmět a rozsah činnosti a místo jejího provozování, výčet možných mimořádných událostí včetně jejich závažnosti, dále pak zásahové postupy a opatření k omezení ozáření osob či způsoby ověřování havarijní připravenosti (Smetana a Kratochvílová, 2010). Konkrétní požadavky na obsah vnitřního havarijního plánu jsou uvedeny v příloze č. 6 vyhlášky č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události (vyhláška č. 359/2016 Sb.).

Vnější havarijní plán se zpracovává pro zónu havarijního plánování v okolí jaderného zařízení. Zónou havarijního plánování se rozumí území v blízkosti jaderného zařízení, kde je v případě vzniku havárie nutné přijmout opatření k ochraně obyvatelstva, životního prostředí a majetku. Tuto zónu stanovuje SÚJB na základě návrhu držitele povolení (Blažková et al., 2015). Vnější havarijní plán zpracovává hasičský záchranný sbor kraje, v jehož územním obvodu se nachází jaderné zařízení. Při jeho zpracovávání vychází z podkladů poskytnutých držitelem povolení, krajským úřadem, složkami integrovaného záchranné systému (dále jen IZS) či dotčenými obcemi. Plán stanovuje postupy a opatření prováděné v případě havárie, která přesahuje objekt jaderného zařízení. Vnější havarijní plán se člení do tří částí. Informační část obsahuje charakteristiku a popis jaderného zařízení a území zóny havarijního plánování, včetně počtu obyvatel, systém vyrozumění a varování, analýzu možných radiačních havárií apod. Operativní část obsahuje opatření, která se musí provést při podezření nebo vzniku havárie, způsob koordinace řešení havárie nebo úkoly jednotlivých složek, správních úřadů a obcí. Poslední část této dokumentace se nazývá plány konkrétních činností, kde jsou uvedeny jednotlivé činnosti, které je nutné provést za účelem záchranných a likvidačních prací. Obsah a způsob zpracování jednotlivých částí vnějšího havarijního plánu je uveden v příloze č. 2 vyhlášky č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému. Vnější havarijní plán se každé 3 roky prověřuje cvičením (vyhláška č. 328/2001 Sb.).

1.3 Opatření k ochraně obyvatelstva

Ochrana života a zdraví osob, majetku, životního prostředí je jednou ze základních funkcí státu (Štětina, 2014). V případě radiální havárie jsou za účelem ochrany obyvatelstva přijímána níže popsaná ochranná opatření, jejichž cílem je vyloučit nebo alespoň snížit ozáření a kontaminaci obyvatelstva na co nejnižší úroveň. Tato opatření k ochraně obyvatelstva se dělí na neodkladná a následná (Blažková et al., 2015).

Neodkladná ochranná opatření musí být realizována okamžitě po vzniku havárie, nejlépe ještě ve fázi před únikem radioaktivních látek, aby byla co nejvíce účinná (Kroupa a Říha, 2007). Mezi neodkladná opatření k ochraně obyvatelstva se řadí ukrytí, jodová profylaxe a evakuace. Vůbec prvním a velmi důležitým opatřením v případě vzniku havárie je varování a informování obyvatelstva (Blažková et al., 2015).

Následná ochranná opatření se zavádějí později, až po samotném úniku radioaktivních látek. Tato opatření se zavádějí na základě výsledků monitorování kontaminace potravin, terénu apod. (SÚRO, 2000b). Mezi následná opatření patří přesídlení obyvatel, regulace požívání kontaminované vody, potravin, zemědělských produktů a krmiv (Blažková et al., 2015).

1.3.1 Varování a informování obyvatelstva, vyrozumění

V České republice slouží pro účely varování a vyrozumění Jednotný systém varování a vyrozumění (dále jen JSVV). JSVV tvoří vyrozumívací centra, telekomunikační sítě a koncové prvky pro varování a vyrozumění (vyhláška č. 380/2002 Sb.).

Varování obyvatelstva lze definovat jako souhrn organizačních, technických a provozních opatření, která zabezpečují předání varovné informace o hrozící nebo již vzniklé mimořádné události obyvatelstvu. Vyrozuměním se naopak rozumí předání informací o hrozících nebo již vzniklých mimořádných událostech orgánům krizového řízení, orgánům státní správy a samosprávy nebo příslušným právníkům a podnikajícím fyzickým osobám (Kratochvílová, 2005). Koncovými prvky pro varování jsou zařízení vydávající varovný signál, např. sirény. Koncovými prvky pro vyrozumění jsou např. mobilní telefony.

Pro varování obyvatelstva se využívá varovný signál Všeobecná výstraha. Tento akustický signál je charakterizován kolísavým tónem sirény po dobu 140 s, který je

zpravidla vyhlášován třikrát za sebou po tříminutových intervalech. Po zaznění varovného signálu následuje tísňová informace, která informuje obyvatelstvo o možném nebezpečí nebo již nastalé mimořádné události a o nutných opatřeních za účelem ochrany obyvatelstva (vyhláška č. 380/2002 Sb.). K tomuto informování obyvatelstva se využívají hromadné informační prostředky (televize, rozhlas apod.) či elektronické sirény s možností mluveného projevu. Po zaznění Všeobecné výstrahy by se obyvatelé měli co nejdříve ukrýt, zapnout televizi nebo rozhlas a sledovat další vývoj situace (Kratochvílová, 2005).

1.3.2 Ukrytí

Ukrytí obyvatelstva následuje bezprostředně po varování. Jde o improvizované ukrytí, kdy se využívá ochranných (stínících) vlastností staveb. Díky ukrytí se sníží vnější ozáření obyvatelstva pocházející z průchodu radioaktivního mraku. Při ukrytí je také důležité zavřít okna, dveře, ventilační systémy a utěsnit různé otvory, aby koncentrace radionuklidů uvnitř budovy a jejich inhalace byla co nejnižší. Ukrytí obyvatelstva je plánováno nejvýše na 2 dny (Kroupa a Říha, 2007; Blažková et al., 2015).

1.3.3 Jodová profylaxe

Jodová profylaxe spočívá v podání tablet jodidu draselného. Požití těchto tablet se provádí po výzvě orgánů krizového řízení v hromadných sdělovacích prostředcích a nejlepšího výsledku je dosaženo podáním jodidu draselného před samotným únikem radioaktivních látek. Účelem tohoto opatření je nasytit štítnou žlázu stabilním jódem a zabránit akumulaci radioaktivnímu ^{131}I . Pozdní nebo žádná aplikace jodidu draselného v případě úniku radioaktivních látek by vedla k nasycení štítné žlázy ^{131}I a k vnitřní kontaminaci organismu (Kroupa a Říha, 2007; Blažková et al., 2015).

Dávkování jodidu draselného závisí na věku. Novorozenci do 1 měsíce věku užijí $\frac{1}{4}$ tablety, kojenci a děti do věku 3 let užijí $\frac{1}{2}$ tablety, děti od 3 do 12 let věku užijí 1 tabletu, děti nad 12 let věku a dospělí pak užijí 2 tablety, které odpovídají 130 mg jodidu draselného. Dle vývoje situace mohou být občané vyzváni k požití další dávky jodidu draselného (Skupina ČEZ, 2016).

1.3.4 Evakuace

Evakuací se dle § 12 odst. 1 vyhlášky č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva rozumí „*přemístění osob, zvířat, předmětů kulturní hodnoty, technického zařízení, případně strojů a materiálu k zachování nutné výroby a nebezpečných látek z míst ohrožených mimořádnou událostí*“.

Evakuace obyvatelstva z ohroženého území je obecně nejúčinnějším ochranným opatřením. Může být provedena ještě před únikem radioaktivních látek (tzv. evakuace bez ukrytí čili přímá evakuace), nebo po úniku (tzv. evakuace s ukrytím) (Blažková et al., 2015; Brehovská et al., 2016).

V případě radiační havárie se evakuace obyvatelstva provádí na základě výsledku monitorování radiační situace. Obvykle se evakuuje obyvatelstvo z vnitřní části zóny havarijního plánování a určených sektorů vnější části zóny havarijního plánování na základě směru větru. K provedení evakuace se využívá plán evakuace osob, který patří mezi plány konkrétních činností vnějšího havarijního plánu (Brehovská et al., 2016). Pro evakuované obyvatelstvo je pak v příjmové obci zajištěno náhradní ubytování a stravování (Blažková et al., 2015).

1.4 Mezinárodní stupnice INES

Ve spolupráci Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA) s Agenturou pro atomovou energii při Organizaci pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD/NEA) byla v březnu 1990 vytvořena Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí – INES (The International Nuclear Event Scale) (IAEA, 2013). Stupnice slouží k rychlému a objektivnímu ohodnocení závažnosti havárií na jaderných zařízeních a zároveň ke srozumitelnému informování odborné společnosti a široké veřejnosti. V roce 1992 byla stupnice rozšířena a upravena takovým způsobem, aby mohla být využita pro ohodnocení jakékoliv události vyskytující se nejen na jaderných zařízeních, ale i na jiných zařízeních, kde se pracuje s radioaktivními materiály jako je průmysl a zdravotnictví, včetně událostí souvisejících s přepravou radioaktivních materiálů.

Každá země, využívající mezinárodní stupnici INES, je povinna o každé nehodě či havárii informovat koordinační centrum IAEA (SÚJB, 2001). Jaderné a radiační události jsou posuzovány podle 3 hlavních kritérií. Prvním kritériem je dopad na životní

prostředí, kdy se hodnotí množství uniklých radioaktivních látek mimo elektrárnu do životního prostředí. Druhým hodnotícím kritériem je dopad na zařízení a prostředí uvnitř elektrárny. Toto kritérium posuzuje především stav aktivní zóny jaderného reaktoru, únik radioaktivity v rámci elektrárny a ozáření pracovníků. Třetím kritériem je posouzení dopadu na bezpečnostní systémy, které mají bránit nekontrolovatelnému úniku radioaktivních látek z reaktoru (Kroupa a Říha, 2007).

1.4.1 Popis stupnice

Stupnice INES má 7 stupňů. Události nižšího stupně 1–3 se označují jako nehody, události vyššího stupně 4–7 jako havárie. Stupněm 0 (pod stupnicí) jsou hodnoceny události, které nepředstavují žádné bezpečnostní riziko a označují se jako odchylky.

Stupeň 1 – Anomálie

Anomálie od schváleného režimu. Jsou způsobeny selháním zařízení, chybou obsluhy či nevhodným provozním postupem.

Stupeň 2 – Nehoda

Nehody, při kterých dojde k významnému selhání bezpečnostních opatření. Události, při kterých dojde k nadměrnému ozáření zaměstnanců a/nebo k významnému rozšíření radioaktivních látek uvnitř zařízení.

Stupeň 3 – Vážná nehoda

Události s únikem radioaktivních látek mimo elektrárnu. Vně elektrárny nejsou nutná žádná ochranná opatření. Události s významným ozářením zaměstnanců, které může vyvolat akutní účinky na zdraví.

Stupeň 4 – Havárie bez vážnějšího rizika vně zařízení

Události s únikem radioaktivních látek mimo elektrárnu, kde nejsou nutná zvláštní ochranná opatření s výjimkou kontroly potravin. Události, při kterých dojde k částečnému poškození aktivní zóny a/nebo významnému ozáření zaměstnanců s vysokou pravděpodobností úmrtí.

Stupeň 5 – Havárie s rizikem vně zařízení

Události s únikem radioaktivních látek do okolí, při kterých budou částečně zavedena opatření podle havarijního plánu (např. ukrytí nebo evakuace). Události, při kterých dojde k těžkému poškození velké části aktivní zóny.

Stupeň 6 – Těžká havárie

Události s únikem radioaktivních látek do okolí. K omezení zdravotních následků je nutné úplné použití havarijního plánu.

Stupeň 7 – Velmi těžká havárie

Události s únikem velkého množství radioaktivních látek z aktivní zóny reaktoru do okolí s možností okamžitých zdravotních následků a dlouhodobými následky pro životní prostředí (SÚJB, 2001).

1.5 Jaderná elektrárna Fukušima

Jaderná elektrárna Fukušima Daiiči (označovaná také jako Fukušima I) se nachází na severovýchodě největšího japonského ostrova Honšú. Leží u pobřeží Tichého oceánu, v prefektuře Fukušima, asi 225 km severně od Tokia (obrázek 1) (JANTI, 2011).



Obrázek 1: JE Fukušima, zdroj – Yurman, 2011

Elektrárnu vlastní a provozuje jedna z největších japonských energetických společností TEPCO (Tokyo Electric Power Company), která dále provozuje jadernou elektrárnu Fukušima Daini (Fukušima II) a Kašiwazaki-Kariwa (Wagner, 2015).

Jaderná elektrárna Fukušima Daiiči disponuje šesti bloky s varnými reaktory BWR (Boiling Water Reactor) o celkovém výkonu 4 696 MW (tabulka 1).

Tabulka 1: Přehled bloků JE Fukušima

Blok	Typ reaktoru	Elektrický výkon	Uvedení do provozu
1	BWR - 3	460 MW	26. března 1971
2	BWR - 4	784 MW	18. července 1974
3	BWR - 4	784 MW	27. března 1976
4	BWR - 4	784 MW	12. října 1978
5	BWR - 4	784 MW	18. dubna 1978
6	BWR - 5	1 100 MW	24. října 1979

Zdroj – vlastní zpracování (dle JANTI, 2011)

Bloky 1, 2, 3 a 4 jsou situovány 10 m nad hladinou moře. Bloky 5 a 6 jsou položeny výše, 13 m nad mořem. První varný reaktor byl spuštěn v roce 1971. Další reaktory byly do provozu uváděny postupně, nejmladší reaktor byl zprovozněn roku 1979 (JANTI, 2011).

1.5.1 Reaktor BWR

BWR reaktor (varný reaktor) je lehkovodní, moderátorem a chladicím médiem je obyčejná lehká voda. Po tlakovodním reaktoru jde o druhý nejrozšířenější typ jaderného reaktoru.

Palivem je uran ^{238}U , který je mírně obohacen izotopem uranu ^{235}U z přirozeného obsahu 0,7 % na 2,1 % až 2,6 % (Sytarová, 2003). Jaderné palivo se ve formě oxidu uraničitého UO_2 zpracovává do pelet. Jde o malé válečky, které jsou uloženy v několika metrech dlouhých hermeticky uzavřených palivových proutcích, které jsou pokryty zirkonovou slitinou. Tato slitina zabraňuje úniku radioaktivních štěpných produktů do okolí. Palivové proutky se sdružují do palivových souborů (palivových kazet, palivových článků) tak, aby bylo zajištěno co nejlepší chlazení. Palivové soubory

vytváří aktivní zónu, kde probíhá řízená štěpná řetězová reakce. Protože zirkonové pokrytí zcela nezabrání úniku radioaktivních produktů do chladiva, které se tak stává radioaktivní, jsou potřeba další ochranné bariéry, jako je tlaková nádoba reaktoru, kontejnment a případně budova reaktoru (Wagner, 2015).

Varné reaktory jsou jednookruhové. Pro chlazení reaktoru se využívá demineralizovaná voda, která zabraňuje tvorbě usazenin v potrubí. Voda se přímo v tlakové nádobě reaktoru působením tepla, které vzniká v aktivní zóně, přivádí až k varu. V tlakové nádobě reaktoru je tlak 7,6 MPa a teplota varu 285 °C. Radioaktivní pára, hromadící se v horní části tlakové nádoby, je ve vysoušeči páry zbavena zbytků vody a vedena potrubím přímo na turbínu. Odtud jde do kondenzátoru, kde se zchladí, převede do kapalného stavu a pomocí elektricky poháněných čerpadel se vrací zpět do reaktorové nádoby. Ke chlazení se využívá okruh s mořskou vodou, který odvádí teplo zpět do moře.

K regulaci výkonu reaktoru, tedy zajištění jeho bezpečného provozu a řízení štěpné řetězové reakce, slouží řídící (regulační) tyče. Jsou vyrobeny z látek, které pohlcují neutrony (bór, kadmium) a zasouvají se do aktivní zóny zespodu. Výkon reaktoru ovlivňuje také intenzita toku vody aktivní zónou. V případě rychlejšího toku vody se v aktivní zóně tvoří méně bublinek, v prostoru je více vody, a proto dochází k intenzivnější moderaci neutronů a zvýšení výkonu. V případě pomalejšího toku vody je tomu naopak, vzniká více bublinek, klesá schopnost moderace neutronů a snižuje se výkon. U varného reaktoru je zapotřebí důsledná kontrola hladiny vody, aby nedošlo k odhalení aktivní zóny. Pro případ poruchy, kdy je zapotřebí rychlé odstavení reaktoru, slouží havarijní tyče, které jsou umístěny ve spodní části reaktorové nádoby (Wagner, 2015).

Ochranné bariéry reaktoru

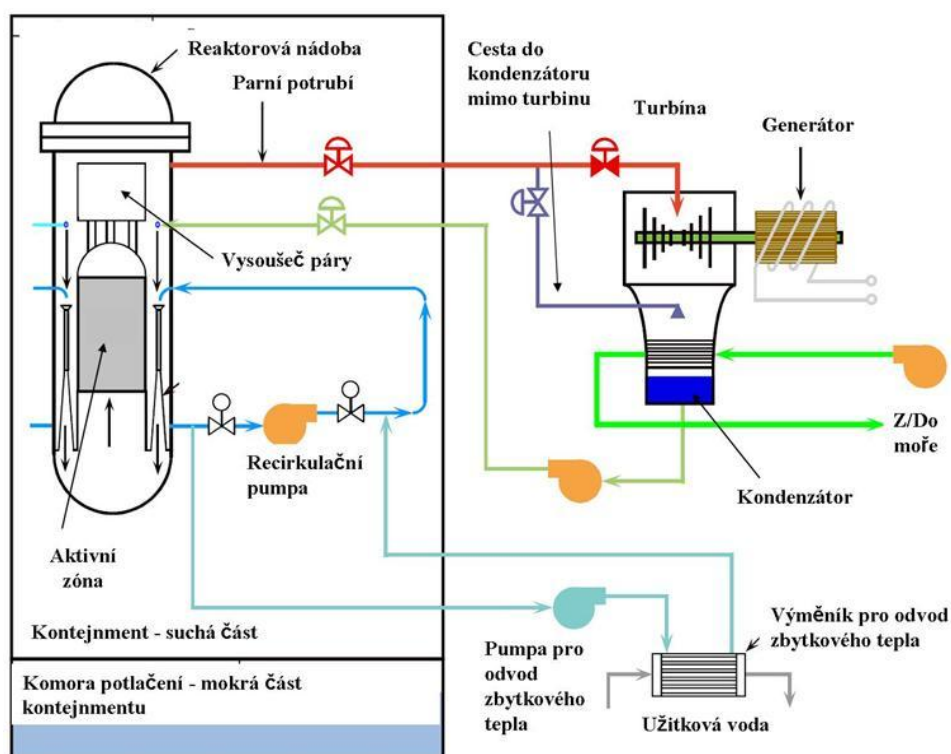
Kontejnment musí být hermetický a velmi odolný, aby ochránil reaktor i před vnějšími vlivy. Většinou má dvě obálky – vnitřní ocelovou a vnější z železobetonu. Fukušimské reaktory prvních pěti bloků používají kontejnment typu MARK I, reaktor šestého bloku má model MARK II. Kontejnment má tvar hrušky a se sestává ze dvou částí. V suché části (Drywell) se nalézá tlaková nádoba reaktoru. Mokrou částí kontejnmentu je označována komora potlačení (Wetwell), která má tvar prstence a je do poloviny výšky naplněna vodou sloužící pro havarijní dochlazování. Suchá část kontejnmentu je s komorou potlačení spojena rourami. Za účelem snížení tlaku a teploty

v suché části je příslušnými rourami vedena pára do komory potlačení, kde zkondenzuje. Komora potlačení však musí být chlazena, aby se nepřehřála. Jinak dochází k růstu tlaku a teploty i zde. V případě nutnosti havarijního vypouštění páry z kontejnmentu je pára průchodem komory potlačení filtrována a její radioaktivita snížena.

Budova reaktoru, v níž je umístěn kontejnment, se také označuje jako tzv. sekundární kontejnment. Není konstrukčně moc odolný a jeho součástí je i bazén s vyhořelým palivem a zavážecí stroje pro manipulaci s palivovými soubory. Vedle budovy reaktoru se nachází strojovna (turbínová hala), kde je umístěna turbína a v suterénu havarijní dieselaagregáty a baterie (Wagner, 2015).

1.5.2 Chlazení reaktoru

Za běžného provozu je reaktor chlazen standardním výše popsaným způsobem. V případě odstavení reaktoru je pára vedena mimo turbínu přímo do kondenzátoru do doby, než přestane vytvářet páru. Dochlazování se provádí pomocí systému odvodu zbytkového tepla přes výměník (obrázek 2).



Obrázek 2: Schéma chladičích okruhů reaktoru BWR, zdroj – Wagner, 2011

Pro případ havarijního chlazení jsou reaktory navíc opatřeny systémem izolovaného dochlazování aktivní zóny (RCIC – Reactor Core Isolation Coolant). Systém je tvořen turbočerpadlem poháněným párou z reaktoru, které čerpá vodu z komory potlačení do tlakové nádoby reaktoru. Voda v komoře se však postupně ohřívá, jakmile dosáhne teploty 100 °C, přestává tento systém dochlazování fungovat (Wagner 2015). Reaktor 1. bloku má pro havarijní chlazení aktivní zóny pouze nouzový kondenzátor (systém IC – Isolation Condenser) (Wagner, 2011). Pro zajištění větších dodávek vody jsou reaktory opatřeny také systémem vysokotlakého vstřikování chladicí vody (HPCI – High-Pressure Coolant Injection). Systém opět využívá turbočerpadlo poháněné párou.

V případě výpadku elektrického proudu jsou k dispozici ještě diesellové generátory a baterie. Systémy havarijního chlazení pracují i při výpadku proudu, ale k jejich ovládání a kontrole jsou zapotřebí baterie.

Jestliže selžou systémy RCIC a HPCI, je nutné vstříkovat vodu do reaktoru z vnějšku. Pokud je v kontejnmentu velmi vysoký tlak, který brání vstřikování vody dovnitř, je nutné provést havarijní vypouštění páry (Wagner, 2015).

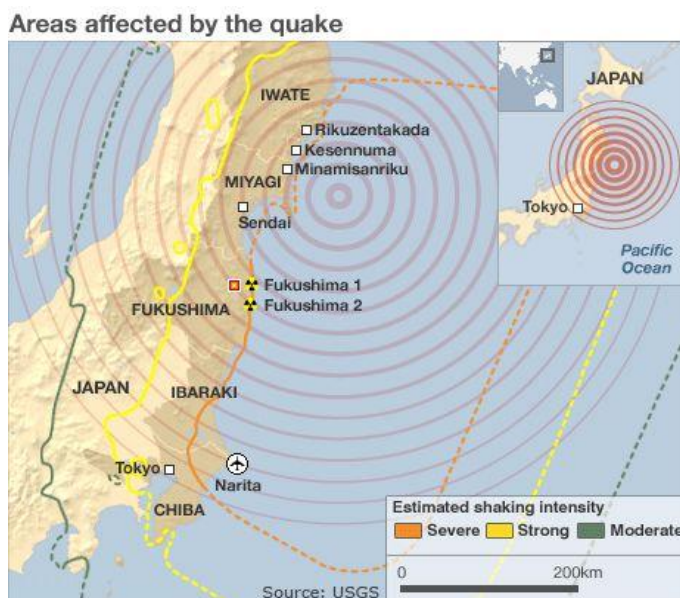
1.6 Havárie jaderné elektrárny Fukušima

Havárie jaderné elektrárny (dále jen JE) Fukušima, která nastala 11. března 2011, patří k poslední nejzávažnější jaderné havárii. Spolu s Černobylem byla klasifikována nejvyšším stupněm mezinárodní stupnice pro klasifikaci radiačních událostí INES. Havárie byla způsobena přírodní katastrofou – zemětřesením a následnou ničivou vlnou tsunami.

1.6.1 Příčiny havárie

Japonsko je charakteristické vysokou seizmickou aktivitou. V této oblasti se nachází dvě tektonické desky – Pacifická a Severoamerická deska. Dne 11. března 2011 ve 14:46 japonského času zasáhlo severovýchodní pobřeží Japonska silné zemětřesení. K zemětřesení došlo v důsledku náhlého uvolnění energie v místě, kde se Pacifická tektonická deska zasouvá pod Severoamerickou tektonickou desku. Jednalo se o nejsilnější zemětřesení Japonska v historii. Hlavní otřes dosáhl velikosti momentového magnituda 9,0 a trval déle než dvě minuty (IAEA, 2015). Epicentrum se

nacházelo 178 km od JE Fukušima a hypocentrum v hloubce 24 km pod povrchem moře (obrázek 3) (TEPCO, 2012). Zemětřesení přestála elektrárna bez větších problémů. Protože jsou zemětřesení v Japonsku častá, budovy a jaderná zařízení se staví tak, aby byla proti otřesům odolná (Wagner, 2015).



Obrázek 3: Epicentrum zemětřesení, zdroj – BBC, 2011

V okamžiku zemětřesení byly v provozu první tři bloky elektrárny. V dalších třech probíhala plánovaná odstávka kvůli údržbě. Na čtvrtém bloku probíhala výměna paliva. Čerstvě vyvezené palivo bylo umístěno v bazénu s vyhořelým palivem. Při zaznamenání seizmických otřesů byly všechny pracující reaktory zasunutím havarijních tyčí automaticky odstaveny. I po zastavení štěpné reakce aktivní zóna produkovala velké množství zbytkového tepla, které bylo potřeba odvádět (Baba, 2013). Následkem zemětřesení došlo k poškození a přerušení elektrického vedení do elektrárny. Okamžitě tak pro zajištění dochlazování reaktorů začaly pracovat havarijní dieselgenerátory (Sugimoto, 2014).

Silné podmořské zemětřesení však vedlo ke vzniku tsunami, a právě to mělo ničivé následky. Tsunami v některých místech dosáhlo výšky až 38 m, proniklo do hloubky až 10 km do vnitrozemí a mělo více než 18 000 obětí. Japonská pobřežní města byla proti tsunami chráněna ochrannými hrázemi, stejně tak byla i JE Fukušima opatřena systémem vlnolamů. Vlnolam jaderné elektrárny ovšem počítal s maximální výškou vlny 5,7 m. Možnost velikosti tsunami se však velmi podcenila (Sugimoto, 2014;

Wagner, 2015). První vlna dorazila k elektrárně asi 40 minut po zemětřesení a dosahovala výšky 4 až 5 m. Vlnolam ji bez problémů odrazil. V čase 15:35 přišla druhá a zničující vlna vysoká 14 až 15 m, která zaplavila areál elektrárny. Voda poškodila čerpadla mořské vody, elektrické rozvody, zaplavila suterény strojoven, kde smetla a zničila i havarijní dieselgenerátory. Došlo ke ztrátě všech zdrojů energie s výjimkou dieselového generátoru na 6. bloku (IAEA, 2015). Bloky 1 a 2, které mají společný velín, ztratily všechny zdroje energie a nebylo možné sledovat stav reaktorů. Veškeré zdroje energie ztratil i blok 4, který má společný velín se 3. blokem, na kterém se zachovalo několik funkčních baterií a bylo možné sledovat alespoň tlak a stav vodní hladiny v reaktoru (Wagner, 2015).

V současné době se jako příčina vzniku havárie, mimo velkou přírodní katastrofu, uvádí také nevhodná konstrukce elektrárny, protože náhradní dieselgenerátory a baterie, jak již bylo zmíněno, byly umístěny v suterénu strojovny a tyto budovy navíc nebyly nijak hermeticky uzavřené. Došlo tak k jejich zaplavení a zničení náhradních zdrojů energie, čímž se ztratila možnost nouzového zásobování elektrárny elektrickou energií.

1.6.2 Průběh havárie

První blok

Reaktor 1. bloku měl pro havarijní chlazení pouze systém nouzového kondenzátoru s malým objemem vody. Následkem zemětřesení došlo k odstavení reaktoru a automatickému naskočení systému IC. Chladicí systém pracoval výborně. Operátoři ho vypnuli a chtěli restartovat podle potřeby (Gisquet a Older, 2015). Pak ale přišla vlna tsunami a způsobila blackout. Situace byla kritická, panovaly obavy z rychlého poklesu vody v reaktorové nádobě a odhalování palivových článků. Bylo potřeba zjistit stav hladiny vody. Jedinou možností bylo použití akumulátorů z autobusů, které neodplavilo tsunami. Po jejich zapojení systém měření hladiny vody na chvíli fungoval a ukázal, že hladina skutečně klesla. Bylo nutné co nejdříve začít do reaktoru pomocí hasičských stříkaček vstříkovat vodu z vnějšku. Aby bylo možné k tomuto kroku přistoupit, muselo nejprve dojít ke snížení tlaku v reaktoru. Jedinou možností bylo vypouštění páry do ovzduší přes havarijní ventily kontejnmentu, které lze v případě ztráty elektrické energie otevřít pouze ručně.

V 18:00, necelé 2,5 h po tsunami, se pracovní skupina bez ochranných oděvů a masek vydala na průzkum do čtvrtého patra budovy reaktoru. Zastavila je však vysoká

radiace a skupina se rychle vrátila zpět do řídicí místnosti. V této době už se pravděpodobně začala odhalovat aktivní zóna a postupně narůstala teplota. Při teplotě nad 800 °C začínala zirkonová vrstva palivových tyčí oxidovat, vznikal oxid zirkoničitý a vodík. Brzy na to docházelo k tavení paliva, které skapávalo na dno reaktorové nádoby (Wagner, 2015) a k uvolňování vzácných plynů a štěpných produktů jako je ^{131}I nebo ^{137}Cs (Sugimoto, 2014).

Ve 20:50 byla vyhlášena evakuace obyvatelstva v okolí do 2 km od elektrárny. Ve 21:23 se tato zóna rozšířila na 3 km a pro obyvatelstvo v oblasti 3–10 km od elektrárny byl vydán příkaz k ukrytí (Gisquet a Older, 2015).

Ve 23:50 se zaměstnancům podařilo pomocí přivezeného mobilního generátoru zprovoznit měření tlaku v kontejnmentu. Naměřený tlak už přesahoval konstrukční limity. V 00:49 druhého dne, tj. 12. března, rozhodl ředitel elektrárny Masao Jošida za účelem snížení tlaku v kontejnmentu o nutnosti vypouštění páry (Wagner, 2015). Nejvyšší hodnota tlaku byla zaznamenána ve 02:45. Zhruba ve 04:00 byl pozorován samovolný pokles tlaku v kontejnmentu a krátce na to zvýšený dávkový příkon měřený u hlavní brány elektrárny. Bylo jasné, že dochází k nekontrolovatelnému úniku radioaktivní páry přes suchou část kontejnmentu do budovy reaktoru (IAEA, 2015; Wagner, 2015). V této době se také díky poklesu tlaku podařilo zprovoznit vstřikování vody do reaktoru.

V 05:44 byla rozšířena evakuační zóna na 10 km od elektrárny. V 09:00, kdy byla evakuace dokončená, začali zaměstnanci elektrárny pracovat na řízeném havarijním vypouštění páry (IAEA, 2015). Přes náročné práce ve tmě a radioaktivním prostředí se jim podařilo otevřít potřebné ventily a ve 14:30 byla zahájena řízená ventilace kontejnmentu přes komoru potlačení, což dokazovala stoupající pára z ventilační věže. Tlak v kontejnmentu a tlakové nádobě reaktoru konečně klesl (Wagner, 2015).

Ve 14:53 došlo k vyčerpání vody chladící reaktor. Pro další chlazení tak bylo nezbytné použít mořskou vodu, která se bude čerpat ze zaplaveného 3. bloku. Když byla tato trasa připravená, nastal v 15:36 výbuch způsobený reakcí nahromaděného vodíku s kyslíkem. Exploze zranila 5 pracovníků, poškodila horní část reaktorové budovy a odhalila bazén s vyhořelým palivem, udělala díru v budově 2. bloku, zničila provizorní vedení elektrické energie a požární hadice zajišťující dodávku mořské vody.

V 18:25 vláda rozšířila evakuační oblast na vzdálenost 20 km od elektrárny.

Po čtyřech hodinách bez chlazení se v 19:04 podařilo do reaktoru začít vstřikovat mořskou vodu, později s příměsí kyseliny borité (IAEA, 2015).

Druhý blok

Na 2. bloku pracoval systém izolovaného dochlazování aktivní zóny RCIC nečekaně dlouho, nepředpokládalo se, že baterie systému budou mít takovou výdrž. K jeho selhání došlo téměř po třech dnech, tj. 14. března ve 13:25. Následně začala voda v reaktoru rychle ubývat. Opět bylo nutné zajistit vstřikování vody do reaktoru z vnějšku, ale ještě před tím snížit tlak havarijním vypouštěním páry. Zaměstnanci elektrárny s těmito kroky dopředu počítali. Připravili si tak cestu s požárními hadicemi pro dodávku vody. Veškerou práci zmařil výbuch vodíku na 3. bloku, ke kterému došlo 14. března dopoledne v 11:01. Se zajišťováním havarijního chlazení tak mohli pracovníci začít nanovo.

K odhalování aktivní zóny reaktoru došlo pravděpodobně už k večeru okolo 17:00 a k jejímu tavení v 19:20.

Krátce před 20:00 začali pracovníci do reaktoru pumpovat mořskou vodu, která se měnila v páru. Tlak v reaktoru rostl a vstřikování vody znemožňoval. Bylo potřeba provést vypouštění páry, které se však nezdařilo (Wagner, 2015).

Následující den, tj. 15. března, v 06:14 došlo k výbuchu v blízkosti komory potlačení, ve které prudce poklesl tlak. Pravděpodobně došlo ke ztrátě hermetičnosti kontejnmentu a k největšímu úniku radioaktivních látek v průběhu celé havárie. Budova reaktoru nebyla poškozena. Na základě této události bylo evakuováno asi 650 zaměstnanců do blízké elektrárny Fukušima Daini a na místě zůstalo přibližně 70 klíčových pracovníků. Kolem poledne se však část evakuovaných vrátila. V 11:00 byl vydán pokyn k ukrytí obyvatelstva v zóně 20–30 km od elektrárny (IAEA, 2015). V této zóně platila dobrovolná evakuace. Evakuovány byly pouze školy nebo nemocnice. Obyvatelé zde ale museli být připraveni na možnost rychlé evakuace v případě zhoršení situace (Wagner, 2015).

Třetí blok

Na 3. bloku se po zemětřesení a tsunami podařilo obnovit systém havarijního chlazení RCIC. Tento systém přestal pracovat druhý den, tj. 12. března, v 11:36 a už se ho nepodařilo zprovoznit. Hladina vody v reaktoru začala klesat a ve 12:35 začal automaticky pracovat systém HPCI (Gisquet a Older, 2015). Později začal mít havarijní chladicí systém HPCI problémy. Pracovníci se ho rozhodli 13. března v 02:42 vypnout a nahradit vstřikováním vody do reaktoru zvenčí. K efektivnějšímu vstřikování vody bylo potřeba snížit tlak v reaktoru. Havarijní ventily se však z ovládacího panelu v řídící

místnosti nepovedlo otevřít a vstřikování vody nebylo možné. Nezdařilo se obnovit ani funkci systému HPCI (Gisquet a Older, 2015; Wagner, 2015).

Teplota a tlak uvnitř reaktoru začaly stoupat. Odhalování aktivní zóny začalo okolo 09:10 a pravděpodobně v 10:40 se aktivní zóna začala tavit.

Nakonec se ventily pracovníkům podařilo otevřít manuálně a bylo možné provést havarijní vypouštění páry (Wagner, 2015). Tlak v kontejnmentu a tlakové nádobě reaktoru poklesl. V 09:25 se přistoupilo k pumpování vody s příměsí kyseliny borité. Poté, co se voda ve 12:20 vyčerpala, začalo se ve 13:12 s pumpováním mořské vody (IAEA, 2015).

Další den, tj. 14. března, došlo v 11:01 v horní části reaktorové budovy k výbuchu vodíku. Exploze zranila 11 pracovníků, poškodila horní část reaktorové budovy a odkryla bazén s vyhořelým palivem, poškodila stříkačky a požární hadice zajišťující dodávku mořské vody do 3. bloku včetně hadic připravovaných pro dodávku vody do 2. bloku. Veškerá práce byla opět zmařena. Kvůli zhoršující se radiační situaci zvýšila vláda povolený limit efektivní dávky pro pracovníky ze 100 mSv na 250 mSv, aby právě klíčoví pracovníci nemuseli elektrárnu opustit (Wagner, 2015).

Čtvrtý blok

V době havárie byl 4. blok bez paliva. Čerstvě vyvezené palivo bylo umístěno do bazénu pro vyhořelé palivo. Pracovníci elektrárny čtvrtému bloku nevěnovali moc pozornosti. Soustředili se především na řešení krizových situací na blocích 1, 2 a 3.

Ráno 15. března, zhruba ve stejnou dobu, kdy nastal výbuch na 2. bloku, došlo v horní části reaktorové budovy k explozi vodíku. Výbuch mohl znamenat potíže s bazénem pro vyhořelé palivo, který po výpadku proudu ztratil možnost cirkulovaného chlazení přes tepelný výměník. Tato exploze pracovníky vyděsila. Později se zjistilo, že se vodík do 4. bloku dostal společným ventilačním systémem se 3. blokem (Wagner, 2015).

V 09:38 zasáhl třetí patro reaktorové budovy požár (TEPCO, 2012). Druhý den, tj. 16. března, došlo k dalšímu požáru. Navíc byl pozorován bílý kouř, který naznačoval, že voda v bazénu s vyhořelým palivem vře, a vypařuje se (SÚJB, 2012). Od 17. března je do bazénu doplňována mořská voda pomocí hasičských stříkaček (Wagner, 2015).

Pátý a šestý blok

Bloky 5 a 6 byly v době katastrofy v odstávce. Uvnitř reaktorů začal v důsledku zbytkového tepelného výkonu růst tlak a dané teplo bylo potřeba odvádět. Naštěstí se na 6. bloku zachoval jeden dieselaagregát, který zajišťoval havarijní chlazení 5. a 6. bloku. Situace tak zde byla pod kontrolou a do stavu studeného odstavení, kdy je teplota v reaktoru pod 100 °C, se dostaly už 20. března (Wagner, 2015).

1.6.3 Stabilizace situace v elektrárně

Po 15. březnu, kdy se situace ve Fukušimě již nezhoršovala, se začalo intenzivně pracovat na stabilizaci jaderné elektrárny. Bylo nutné zajistit obnovu dodávek elektrické energie, zajistit stabilní chlazení reaktorů a bazénů s vyhořelým palivem, odstranit riziko exploze vodíku a snížit únik radioaktivních látek do životního prostředí na minimální úroveň.

Po opravě elektrického vedení se podařilo 22. března všechny bloky elektrárny připojit zpět k elektrické síti a obnovit dodávky energie (Wagner, 2015).

V prvních dnech havárie měli pracovníci plné ruce práce s chlazením reaktorů na blocích 1–3, proto k doplňování vody do bazénů s vyhořelým palivem přistoupili až 17. března (SÚJB, 2012). Nejprve šlo o vodu mořskou, která se doplňovala shazováním pomocí helikoptéry, pak pomocí hasičských stříkaček a speciální pumpy s dlouhým stříkacím ramenem. Od 26. března se k chlazení začala využívat technická voda, kterou přivezly tankery americké armády. V dubnu začaly práce na opravě poškozeného potrubí a obnově cirkulovaného chlazení bazénů přes tepelný výměník. Toto chlazení se poprvé podařilo spustit na druhém bloku 30. května, v průběhu července následoval třetí a čtvrtý blok a začátkem srpna první blok. Ke konci srpna se teplota vody v bazénech ustálila na 30 °C. Do cirkulačního systému bazénů se také nainstalovaly filtry pro čištění, odsolení a dekontaminaci radioaktivní vody.

Reaktory 1–3 byly od 26. března opět chlazeny technickou vodou s příměsí kyseliny borité. Do reaktorů se vhánělo několik tun vody za hodinu. Tato voda se vypařovala a kondenzovala převážně v primárním kontejnmentu. V důsledku tohoto chlazení ovšem docházelo k úniku radioaktivní páry do ovzduší a k hromadění radioaktivní vody. Proto bylo potřeba zajistit dekontaminaci vody a její opětovné využití. Ještě před tím bylo nutné zprovoznit zařízení vhánějící do primárního kontejnmentu dusík, aby se zamezilo možnosti výbuchu vodíku. Dekontaminační

zařízení začalo pracovat od poloviny června a od 27. června se k chlazení reaktorů využívala dekontaminovaná voda. V první fázi dekontaminace vody se odstraňoval olej, následovalo chemické odstranění cesia, další dekontaminace a odsolení. Poté se voda přesouvala do zásobníku vody, odkud mohla být čerpána pro chlazení reaktorů. Koncem září byla teplota všech postižených reaktorů nižší než 100 °C (Wagner, 2015).

Dalším problémem bylo velké množství radioaktivní vody, která se nacházela v suterénu budov. Tato radioaktivní voda se musela přečerpat do nádrží a postupně dekontaminovat. Kapacita těchto nádrží však byla malá a muselo se přistoupit k vypuštění 10 393 tun slabě radioaktivní vody do moře. V moři došlo k velkému naředění a několikrát prováděné měření její radioaktivity nezaznamenalo žádnou změnu. Dále musel být řešen problém s podzemní vodou, která se po přítoku do kontaminovaných míst elektrárny stala radioaktivní, a mohla následně unikat do moře.

Pro stabilizaci situace v elektrárně se také pracovalo na různých bezpečnostních opatřeních. Stavěly se vlnolamy, které by měly v budoucnosti elektrárnu ochránit před tsunami, dále ochranné zdi proti smetení zásobníků s radioaktivní vodou do moře. Dalším důležitým opatřením bylo umístění náhradních dieselgenerátorů, pump a stříkacích zařízení na bezpečná místa.

Na podzim se na zničené budovy 1., 3. a 4. bloku nainstalovaly zastřešovací konstrukce. Jejich funkcí bylo jednak zabránit úniku radioaktivních látek do ovzduší, dále zabránit pronikání dešťové vody dovnitř. Současně se pracovalo na odklizení trosek a dekontaminaci areálu elektrárny. Alespoň částečnému zabránění šíření prachu s radioaktivními částicemi přispěl postřik areálu polymery. Tak, jak postupovaly práce s odklizením trosek a dekontaminací areálu elektrárny, se zlepšovaly i dozimetrické podmínky. Mohlo se tak v listopadu přistoupit ke snížení povoleného limitu efektivní dávky pro pracovníky opět na hodnotu 100 mSv za rok.

16. prosince 2011 bylo ohlášeno dosažení stavu studeného odstavení prvních tří reaktorů a mohlo se tak začít pracovat na likvidaci poškozených bloků, která bude trvat ještě značně dlouho. Nejprve je ale nutné zjistit stav uvnitř kontejnmentů a poškozených reaktorů, zejména lokalizaci roztaveného paliva. K tomu se kvůli stále vysoké radiaci využívají na dálku ovládané roboty, které jsou vybaveny kamerou, dozimetry a přístroji na měření teploty a vlhkosti. Práce ovšem probíhají velmi pomalu, a tak jsou v současné době informace o situaci uvnitř reaktorů pořád omezené (Wagner, 2015).

1.6.4 *Následky havárie*

Následkem výbuchů a řízeného vypouštění páry z kontejnmentů došlo k úniku radioaktivních látek do životního prostředí, a to do atmosféry a oceánu (Juranová a Hanslík, 2012). Převážně se jednalo o radionuklidy ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs a radioaktivní vzácné plyny ^{133}Xe a ^{85}Kr (IAEA, 2015). K největším únikům docházelo od 12. března do konce dubna 2011 (Wagner, 2015). Odhaduje se, že do atmosféry unikla aktivita okolo 150 PBq ^{131}I a 12 PBq ^{137}Cs (Chino et al., 2011). Do oceánu se uvolnilo asi 11 PBq ^{131}I a 4 PBq ^{137}Cs (Kawamura et al., 2011). Jde však pouze o odhady, které se v různých zdrojích liší. Množství radioaktivních látek, které unikly během jaderné havárie ve Fukušimě, se odhaduje asi na 10–15 % z celkového úniku radioaktivních látek po jaderné havárii v Černobylu (Lin et al., 2016).

Radioaktivní spad unášený větrem zasáhl převážně oceán a v menší míře kontaminoval pevninu. Ještě před hlavním únikem radioaktivních látek, ke kterému došlo 15. března, už byla naštěstí provedena evakuace obyvatel z území do 20 km od elektrárny. Tato evakuace se týkala asi 78 000 lidí (Wagner, 2015). Evakuace však neprobíhala bez problémů, někteří obyvatelé se kvůli postupnému rozšiřování evakuované zóny museli přesouvat dokonce vícekrát. Problémy byly s evakuací nemocnic. Evakuace pacientů probíhala tak zmateně a bez dostatečného zabezpečení zdravotní péče, že na následky této evakuace asi 60 pacientů zemřelo (Hirose, 2016). V důsledku povětrnostních podmínek se radioaktivní mrak nad pevninou šířil hlavně na severozápad od elektrárny. Proto musela být tímto směrem provedena ještě dodatečná evakuace ve vzdálenosti větší než 20 km od elektrárny. Dodatečná evakuace čítala něco přes 10 000 obyvatel. Ze zóny mezi 20–30 km od elektrárny, kde platil pohotovostní režim, se dobrovolně evakovalo zhruba 28 000 obyvatel. Obyvatelé, kteří byli evakuováni po úniku radioaktivních látek, prošli měřením kontaminace a v případě potřeby dekontaminací. Celkem se evakuace týkala okolo 116 000 obyvatel. Neprobíhala však bez zmatků a na evakuované měla značné psychické dopady. Evakuace je pro většinu lidí stresovou záležitostí. V případě fukušimské havárie se někteří obyvatelé museli stěhovat vícekrát, jak už bylo zmíněno, což s sebou přinášelo vedle již zmiňovaných psychických problémů a strachu z radiace také zhoršení zdravotního stavu. Začátkem roku 2012 bylo zasažené území rozděleno dle závažnosti dozimetrické situace do tří kategorií. Následně byly vypracovány plány dekontaminačních a rekonstrukčních prací pro méně kontaminovaná území. Na plánech

pro dekontaminaci silně zamořených oblastí se začalo usilovně pracovat až později. Dekontaminace území a návrat obyvatel však stále pomalu probíhá a někteří obyvatelé se do svých domovů už vůbec vrátit nechtějí (Wagner, 2015).

Od samého počátku havárie bylo okolí elektrárny pečlivě monitorováno prostřednictvím měření dávkového příkonu. Již v prvních dnech také nařídilo japonské ministerstvo zdraví, práce a sociálních věcí monitorovat výskyt radioaktivních látek v pitné vodě a v potravinách (Juranová a Hanslík, 2012). Pro vodu byl limit obsahu ^{131}I 300 Bq.l^{-1} (u kojenců 100 Bq.l^{-1}) a obsahu ^{137}Cs 200 Bq.l^{-1} (MHLW, 2011). Z důvodu překročení limitů pro ^{131}I došlo k omezení konzumace pitné vody pro kojence v prefekturách v okolí elektrárny. V samotné prefektuře Fukušima byl na pár dní vydán také zákaz konzumace pitné vody dospělými. Maximální naměřená aktivita ^{131}I byla 965 Bq.l^{-1} (Juranová a Hanslík, 2012). K 31. březnu byla omezení pro využívání vody v okolních prefekturách zrušena. V prefektuře Fukušima tato omezení platila déle (Wagner, 2015). Pečlivě kontrolovány byly v zasažených oblastech také potraviny. Limit pro obsah ^{131}I byl 2 000 Bq.kg^{-1} a ^{137}Cs 500 Bq.kg^{-1} (SÚJB, 2011). Překročení limitů pro ^{131}I bylo zjištěno např. u některých druhů listové zeleniny a ryb. Nadlimitní obsah ^{137}Cs byl naměřen u dobytka, které bylo krmeno kontaminovaným krmivem, dále např. u rýže nebo hub pěstovaných v zasažených oblastech. Sledována byla také možná kontaminace čaje, mléka a mléčných produktů. Množství kontaminovaných potravin bylo malé, a tak se začátkem roku 2012 dokonce limit pro ^{137}Cs snížil na 100 Bq.kg^{-1} . Počet případů s nadlimitním obsahem radioaktivních látek v potravinách byl i tak relativně malý.

Díky včasné informovanosti důležitých orgánů, evakuaci obyvatel a pečlivým kontrolám kontaminace vody a potravin jsou zdravotní dopady na obyvatelstvo minimální. Do značné míry se podařilo zabránit vnitřní kontaminaci ^{131}I (Wagner, 2015). Studie vyšetřování štítné žlázy u obyvatel, kteří byli v době havárie mladší 18 let, sice ukazují zvýšený výskyt rakoviny, pravděpodobně se však nejedná o důsledek ozáření, ale o výsledek intenzivního vyšetřování s využitím sofistikované ultrazvukové techniky. I přesto je však nutné tuto situaci nadále sledovat (Suzuki, 2016). Nikdo neobdržel tak velkou dávku, aby u něj došlo k rozvoji akutní nemoci z ozáření a k úmrtí, jako tomu bylo v případě havárie v Černobylu. Jedinými oběťmi havárie byli 2 pracovníci elektrárny, které zabila vlna tsunami (Wagner, 2015). Při dozimetrické kontrole se zjistilo, že efektivní dávku 100 mSv obdrželo 167 zaměstnanců elektrárny. Nastavený limit 250 mSv překročilo pouze 6 pracovníků

a 2 z nich obdrželi vysokou efektivní dávku přes 600 mSv. K jejich kontaminaci ^{131}I došlo dýcháním vzduchu přes masku, ve které chyběl potřebný filtr (Kun et al., 2014; Wagner, 2015). Dle Světové zdravotnické organizace (WHO) se efektivní dávka, kterou obdrželi obyvatelé zasažených oblastí, pohybovala v rozmezí 1–10 mSv. Výjimečně mohli obyvatelé vesnice Iitate nebo města Namie, které byly více zasaženy a kde se prováděla dodatečná evakuace, obdržet efektivní dávku 10–50 mSv (Rosen, 2012).

Havárie ve Fukušimě znovu rozpoutala ve světě diskusi o bezpečnosti využívání jaderné energie. V řadě zemí, jako např. v Belgii, Itálii, Švýcarsku, byl pozorován pokles podpory jaderné energetiky. Naopak např. ve Velké Británii téměř žádné změny pozorovány nebyly (Latré et al., 2017). Nejradikálnější byl však postoj Německa, které rozhodlo o úplném odstavení všech jaderných elektráren do roku 2022, a již v létě 2011 odstavilo 7 svých nejstarších elektráren (Kunc et al., 2013). Ostatní evropské země se rozhodly prověřit své jaderné elektrárny formou stress testů. Tyto zátěžové testy prověřovaly bezpečnost a odolnost elektráren vůči vlivu extrémních přírodních jevů. Cílem bylo poukázat na slabší místa a zvýšit tak bezpečnostní standard jaderných elektráren. Zaměřily se také na možnosti řešení kompletní ztráty všech zdrojů elektrické energie. Výsledky testů ukázaly, že z hlediska bezpečnosti není nutné odstavit žádný evropský reaktor (Wagner, 2015). Na jaderný program nezanevřely a pokračují v něm i velmoci světa jako USA, Rusko a Čína (Kunc et al., 2013).

1.6.5 Aktuální situace

Společnost TEPCO, ve spolupráci s dalšími firmami, neustále pracuje na likvidaci zničené elektrárny, vyklízení bazénů s vyhořelým palivem a zjišťování situace uvnitř poškozených reaktorů, o jejichž stavu se kvůli značné radiaci stále moc neví. Ve většině areálu elektrárny už se lze pohybovat bez nutnosti využití úplného ochranného oblečení, stále jsou zde však místa, kam je vstup zakázán, jako jsou právě vnitřky reaktorových budov.

Do konce roku 2014 se podařilo vyvézt všechny palivové soubory z bazénu 4. bloku do společného bazénu. Pokročilo se také s přípravou pro vyklízení bazénů s vyhořelým palivem 1., 2. a 3. bloku, které by se mohly začít vyvážet v roce 2020 (Wagner, 2017a).

V průběhu roku 2015 se podařilo prvnímu robotu proniknout do nitra kontejnmentu 1. bloku. Zjistilo se, že aktivní zóna se pravděpodobně roztavila, a stekla ke dnu

reaktorové nádoby. Pravděpodobné je i protavení její dolní části, do těchto míst se však robot už nedostal. V únoru 2017 se podařilo robotu poprvé proniknout do nitra kontejnmentu 2. bloku. Ukázalo se, že se značná část aktivní zóny roztavila a zároveň protavila dnem reaktorové nádoby. Kvůli vysoké radiaci, kdy dávkový příkon byl naměřen v řádech stovek sievertů za hodinu, však musel být robot brzy stažen (Wagner, 2017b).

Neustálým problémem je podzemní voda, která se dostává do kontaminovaných oblastí a stává se radioaktivní. Musí se pak odčerpávat, dekontaminovat a skladovat v nádržích (Wagner, 2015). V roce 2016 proto byla vytvořena ledová stěna, která by měla zmrazit okolní terén, a zabránit pronikání podzemní vody do kontaminovaných míst a jejímu následnému úniku do moře. Tento systém je tvořený vertikálně uloženými trubkami, které sahají až do hloubky 30 m, a jsou naplněny chladicí směsí o teplotě mínus 40 °C, v délce 1,5 km kolem budov zničených reaktorů. Bariéra je zatím zprovozněna ve směru k moři a z druhé strany se postupuje pomalu. Následující období ukáže, do jaké míry se tímto opatřením podaří snížit pronikání podzemní vody do kontaminovaných míst (ČTK, iDNES.cz, 2016; Gallardo a Marui, 2016).

Postupně také dochází k návratu obyvatelstva do svých domovů. V tomto roce by se měla zrušit omezení na většině evakuovaných území mimo nejvíce kontaminovaná místa. Pro trvalý návrat obyvatelstva je kromě dekontaminace důležitá také obnova infrastruktury, na které se v současnosti velmi intenzivně pracuje, a vytváření pracovních příležitostí. Budují se nové dopravní sítě, otevírají obchody, školy, zdravotnická zařízení apod. Obnovují se také tradiční odvětví, jako je např. rybolov. Testování ryb z blízkosti elektrárny ukázalo, že ryby nejsou kontaminované, tedy nepřekračují stanovené limity.

V tomto roce se začalo pracovat na dekontaminaci nejvíce zasažených míst, kterými jsou města Namie, Okuma, Futaba a část vesnice Iitate. Tato místa budou jediná, jejichž silně kontaminované oblasti budou uzavřeny i po roce 2017. Lidé by se sem mohli začít vracet v roce 2022 (Wagner, 2017a).

1.7 Základní statistické metody

Vzhledem ke statistickému zpracovávání datového souboru ve výzkumné části této práce uvádím pro lepší přehled použité základní statistické metody.

Statistika je vědní disciplína, která se zabývá zkoumáním jevů, které mají hromadný charakter. Takový jev je nazýván hromadným náhodným jevem a je charakteristický velkým počtem výsledků, které jsou naměřeny s různou pravděpodobností.

Statistika se tak zabývá zjišťování, zpracováním a hodnocením údajů o hromadném náhodném jevu (Homola, 2014; Záškodný et al., 2016). Statistika se uplatňuje v mnoha oborech a slouží jako nástroj pro vytváření podkladů důležitých pro rozhodování (Cyhelský et al., 1999).

Samotný průběh statistického šetření se skládá ze dvou základních částí. První část využívá metody deskriptivní (popisné) statistiky a zahrnuje formulaci statistického šetření, škálování, měření v deskriptivní statistice a elementární statistické zpracování. Popisná statistika tedy shrnuje informace obsažené ve velkém množství dat pomocí přehledných tabulek, grafů a číselných charakteristik. V další části jsou získané výsledky zpracovány pomocí metod matematické statistiky, která využívá teorii pravděpodobnosti a umožňuje vyjadřovat kvalifikované závěry o sledovaném jevu. Řadí se sem neparametrické testování, teorie odhadů, parametrické testování a měření statistických závislostí (Budíková et al., 2010; Neubauer et al., 2012; Záškodný et al., 2016).

1.7.1 Formulace statistického šetření

Základem této metody je nadefinování základních pojmů, se kterými se bude nadále pracovat. Nejprve je nutné určit hromadný náhodný jev (HNJ). Jedná se o jev, který má mnoho výsledků a je spojen s různou pravděpodobností naměřených statistických dat. Nositelem hromadného náhodného jevu je statistická jednotka (SJ). Statistický znak (SZ) je vlastnost statistické jednotky, která je předmětem statistického šetření. Způsob popisu zkoumaného statistického znaku je hodnotou statistického znaku (HSZ). Množina všech statistických jednotek se nazývá základní statistický soubor (ZSS). Za účelem omezení počtu statistických jednotek se provádí náhodný výběr (NV) např. pomocí generátoru náhodných čísel nebo losováním. Tímto procesem je získán výběrový statistický soubor (VSS). Pokud je u výběrového statistického souboru zkoumán pouze jeden statistický znak, pak je tento soubor jednorozměrný. V případě zkoumání více znaků je vícerozměrný (Záškodný et al., 2016).

1.7.2 Škálování

Pojem škálování vyjadřuje vhodné rozčlenění hodnot statistického znaku do rozumných skupin. Každá skupina pak představuje prvek škály. Souhrn prvků škály se nazývá škála. Dle povahy statistického znaku se rozlišuje škála nominální, ordinální, absolutní metrická a kvantitativní metrická (Záškodný et al., 2016).

1.7.3 Měření v deskriptivní statistice

Měření je proces, který spočívá v přiřazování počtu statistických jednotek výběrového statistického souboru prvkům škály. Výsledkem měření jsou údaje o hodnotách statistického znaku. Jde o absolutní četnosti, které udávají, kolikrát byl daný prvek škály naměřen. Dále relativní četnosti prvků škály, které udávají pravděpodobnost výsledku měření a kumulativní četnosti, které udávají pravděpodobnost, že bude naměřen výsledek měření menší nebo roven danému výsledku (Záškodný et al., 2016).

1.7.4 Elementární statistické zpracování

Prostřednictvím elementárního statistického zpracování lze naměřené výsledky uspořádat do tabulky, graficky vyjádřit a parametrizovat vhodnými empirickými parametry. Výsledkem této metody je tabulka, empirická rozdělení četností a empirické parametry.

Tabulka se skládá z osmi sloupců. První čtyři sloupce tvoří prvky škály, absolutní četnosti, relativní četnosti a kumulativní četnosti. Tyto sloupce jsou potřebné pro znázornění empirických rozdělení. Další čtyři sloupce v tabulce slouží k výpočtu empirických parametrů.

Empirická rozdělení četností přiřazují prvkům škály odpovídající absolutní, relativní a kumulativní četnosti. V případě grafického vyjádření jsou na vodorovnou osu souřadnicového systému nanášeny prvky škály a na svislou osu odpovídající četnosti. Spojením sousedních bodů se získá lomená čára, která se nazývá polygon. Pomocí tohoto grafického vyjádření lze např. usuzovat, kterému teoretickému rozdělení se dané empirické rozdělení přibližuje.

Empirické parametry popisují povahu zkoumaného statistického souboru. Rozdělujeme je podle toho, jaký rys zkoumaného statistického souboru vystihují. Jde

o parametr polohy, proměnlivosti (variability), šikmosti a špičatosti. Parametr polohy je charakterizován obecným momentem 1. řádu O_1 a nazývá se aritmetický průměr. Parametr proměnlivosti je charakterizován centrálním momentem 2. řádu C_2 a nazývá se empirický rozptyl. Parametr šikmosti je charakterizován normovaným momentem 3. řádu N_3 a nazývá se koeficient šikmosti. Parametr špičatosti je charakterizován normovaným momentem 4. řádu N_4 a nazývá se koeficient špičatosti (Záškodný et al., 2016).

1.7.5 *Neparametrické testování*

Smyslem neparametrického testování je ověřit, zda lze empirické rozdělení nahradit zamýšleným teoretickým rozdělením. Podstatou je tedy srovnání empirických a teoretických četností. Empirické četnosti jsou získány prostřednictvím elementárního statistického zpracování a teoretické četnosti jsou vypočítány pomocí pravděpodobnostní funkce nebo hustoty pravděpodobnosti v závislosti na zamýšleném teoretickém rozdělení.

Základem neparametrického testování je použití aparátu nulových hypotéz H_0 a alternativních hypotéz H_a . Nulová hypotéza předpokládá, že empirické rozdělení lze nahradit daným teoretickým rozdělením, v případě alternativní hypotézy nelze. K ověření hypotéz je zapotřebí vybrat vhodné testové kritérium. Nejčastěji se využívá χ^2 -test dobré shody jako test normality. Poté je potřeba určit experimentální hodnotu tohoto kritéria a kritickou teoretickou hodnotu. Pomocí kritické teoretické hodnoty je zapsán kritický obor W daného testového kritéria. Jestliže bude experimentální hodnota vybraného kritéria prvkem kritického oboru, je nezbytné přijmout alternativní hypotézu H_a , v opačném případě lze přijmout nulovou hypotézu H_0 (Záškodný et al., 2016).

1.7.6 *Parametrické testování*

Podstatou parametrického testování je srovnání empirických parametrů zkoumaného statistického souboru s parametry jiného statistického souboru. Základem je opět využití aparátu nulové a alternativní hypotézy a kritického oboru. Je nutné naformulovat hypotézy, vybrat vhodné testové kritérium, nalézt jeho kritickou hodnotu a následně zapsat kritický obor. Poté je zapotřebí vypočítat experimentální hodnotu testového kritéria. Parametrické testování můžeme rozdělit na jednovýběrové

a dvojvýběrové.

Použitím jednovýběrového parametrického testování se zjišťuje, zda zkoumaný výběrový statistický soubor mohl být vybrán z popsaného základního statistického souboru. V případě jednovýběrového testování hypotézy o střední hodnotě jsou využívány jednovýběrové testy u-test a t-test, u testování rozptylu pak jednovýběrový χ^2 -test. H_0 hypotéza předpokládá, že výběrový statistický soubor mohl být vybrán z popsaného základního statistického souboru, H_a hypotéza nikoliv. Je-li vypočítaná experimentální hodnota prvkem kritického oboru, je nutné přijmout H_a hypotézu.

Dvojvýběrové parametrické testování zjišťuje, zda dva výběrové statistické soubory zkoumaly obdobnou otázku a mohou spolu spolupracovat. V případě dvojvýběrového parametrického testování se používají dvojvýběrové testy u-test a t-test pro rovnost středních hodnot a dvojvýběrový F-test pro rovnost rozptylů. H_0 hypotéza předpokládá, že dva zkoumané výběrové statistické soubory mohly být vybrány z jednoho a téhož základního statistického souboru. H_a hypotéza předpokládá, že nikoliv. Pokud je vypočítaná experimentální hodnota prvkem kritického oboru, je zapotřebí přijmout H_a hypotézu (Záškodný et al., 2016).

2 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

Praktická část diplomové práce je zaměřena na zjištění míry informovanosti obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina.

2.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je vyhodnotit úroveň znalostí obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina a porovnat znalosti obyvatel ve věku 18–44 let se znalostmi obyvatel starších 45 let.

2.2 Hypotézy

Ke splnění výše vymezených cílů byly stanoveny následující hypotézy:

H1: Znalosti obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě se budou blížit normálnímu rozdělení.

H2: Osoby mladší 45 let budou mít statisticky významně vyšší znalosti než osoby starší.

3 METODIKA VÝZKUMU

Pro zpracování teoretické části diplomové práce byla provedena rešerše odborné literatury, a to nejen české, ale i zahraniční, a příslušných právních předpisů, které se týkají dané problematiky.

Pro zpracování praktické části diplomové práce byl proveden kvantitativní výzkum. Data byla získána prostřednictvím dotazníkového šetření, které proběhlo v období únor a březen 2017 mezi obyvateli Kraje Vysočina. Dotazník byl zkonstruován ve formě testu. Obsahoval 1 otázku informativního charakteru (věk respondenta) a 11 otázek zaměřených na danou problematiku, viz Příloha A. Každá testová otázka nabízela 4 možné odpovědi, z nichž pouze 1 odpověď byla správná.

Výběr měst pro uskutečnění dotazníkového šetření byl proveden prostřednictvím náhodného výběru. Z každého okresu Kraje Vysočina bylo vylosováno 1 město, kde následně proběhl výzkum. Jednalo se o města Pacov, Chotěboř, Jihlava, Třebíč a Nové Město na Moravě. Celkem bylo rozdáno a vyplněno 200 dotazníků. Z toho 100 dotazníků bylo vyplněno respondenty ve věku 18–44 let a 100 dotazníků respondenty staršími 45 let.

Získaná data byla zpracována za pomoci programu Microsoft Office Excel do grafů a tabulek a vyhodnocena prostřednictvím metod deskriptivní a matematické statistiky. Výsledky statistického šetření byly porovnány s výsledky statistického šetření bakalářské práce Nikoly Orthové z roku 2015 „Vnímání obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima“. Porovnání obdobně zaměřených otázek je uvedeno v kapitole s názvem diskuse.

3.1 Statistické zpracování

Formulace statistického šetření

HNJ – informovanost obyvatel o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina.

SJ – obyvatel Kraje Vysočina.

SZ – počet správných odpovědí.

HSZ – 0 až 11 správných odpovědí.

ZSS – 100 obyvatel.

VSS = ZSS.

NV – nebyl prováděn.

Škálování a měření

Pro škálování byla použita kvantitativní metrická škála. Ke stanovení počtu k prvků škály bylo využito Sturgesovo pravidlo $k = 1 + 3,3 \log_{10} n$, kde n je rozsah VSS.

Výsledky měření byly vyjádřeny údaji o absolutních, relativních a kumulativních četnostech.

Elementární statistické zpracování

Výsledky měření byly prostřednictvím elementárního statistického zpracování vyjádřeny tabulkou, empirickým rozdělením četností a empirickými parametry.

Tabulku tvoří:

- sloupec značený x_i – prvky škály;
- sloupec značený n_i – absolutní četnosti prvků škály;
- sloupec značený n_i/n – relativní četnosti prvků škály;
- sloupec značený $\sum n_i/n$ – kumulativní četnosti;
- sloupec značený $x_i n_i$ – součin pro výpočet empirických parametrů;
- sloupec značený $x_i^2 n_i$ – součin pro výpočet empirických parametrů;
- sloupec značený $x_i^3 n_i$ – součin pro výpočet empirických parametrů;
- sloupec značený $x_i^4 n_i$ – součin pro výpočet empirických parametrů.

Empirická rozdělení četností byla vyjádřena graficky, kdy prvkům škály x_i byly přiřazeny odpovídající absolutní četnosti n_i , relativní četnosti n_i/n a kumulativní četnosti $\sum n_i/n$.

Empirické parametry byly vypočítány prostřednictvím obecných momentů, centrálních momentů a normovaných momentů. Vztahy, pomocí kterých byly vypočítány všechny potřebné momenty, jsou uvedeny níže. Dále byla vypočítána směrodatná odchylka S_x , která poukazuje na výpovědní hodnotu aritmetického průměru, *exces*, který srovnává špičatost empirického rozdělení se špičatostí známého normovaného normálního rozdělení a variační koeficient V_k , který udává, kolik procent z aritmetického průměru tvoří směrodatná odchylka.

- Vztahy pro obecné momenty

$$O_1 = \frac{1}{n} \sum x_i n_i$$

$$O_2 = \frac{1}{n} \sum x_i^2 n_i$$

$$O_3 = \frac{1}{n} \sum x_i^3 n_i$$

$$O_4 = \frac{1}{n} \sum x_i^4 n_i$$

- Vztahy pro centrální momenty

$$C_2 = O_2 - O_1^2$$

$$C_3 = O_3 - 3O_2O_1 + 2O_1^3$$

$$C_4 = O_4 - 4O_3O_1 + 6O_2O_1^2 - 3O_1^4$$

- Vztahy pro normované momenty

$$N_3 = \frac{C_3}{C_2\sqrt{C_2}}$$

$$N_4 = \frac{C_4}{C_2^2}$$

- Vztah pro směrodatnou odchylku

$$S_x = \sqrt{C_2}$$

- Vztah pro exces

$$exces = N_4 - 3$$

- Vztah pro variační koeficient

$$V_k = \frac{S_x}{O_1}$$

Neparametrické testování

Neparametrické testování bylo zahájeno provedením intervalového rozdělení četností, kdy bylo využito 7 stejně dlouhých intervalů. Následně bylo zapotřebí provést několik dílčích výpočtů. Byly zavedeny a vypočítány normované náhodné veličiny u_i a prostřednictvím nich zjištěny ve statistických tabulkách hodnoty Laplaceovy funkce $F(u_i)$. Následoval výpočet jednotlivých integrálů (ploch pod křivkou). K ověření hypotézy H1 byl použit χ^2 -test dobré shody, kdy bylo potřeba určit χ_{exp}^2 a χ_{teor}^2 .

- Vztah pro normovanou náhodnou veličinu

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

- Vztah pro Laplaceovu funkci

$$F(-u) = 1 - F(u)$$

- Vztah pro výpočet jednotlivých ploch

$$p_i = \int_{dm}^{hm} \rho(u) du = F(u_i) - F(u_{i-1})$$

- Vztah pro experimentální hodnotu χ^2 -testu

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

- Vztah pro kritickou teoretickou hodnotu χ^2 -testu

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_v^2$$

Parametrické testování

K ověření zvolené hypotézy H2 bylo použito dvojitýbřerové parametrické testování, konkrétně dvojitýbřerový t-test.

- Vztah pro dvojitýbřerový t-test

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

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

4 VÝSLEDKY

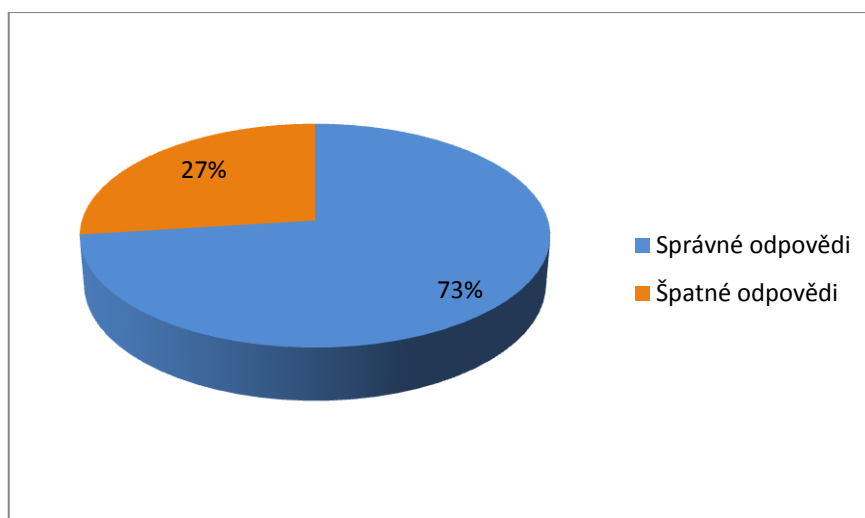
V této kapitole budou prezentovány výsledky z dotazníkového šetření a následného statistického zpracování.

4.1 Výsledky dotazníkového šetření

Tato část uvádí výsledky odpovědí na jednotlivé otázky dotazníkového průzkumu. U každé otázky je uveden jeden graf znázorňující procentuální zastoupení správných a špatných odpovědí a druhý graf znázorňující procentuální zastoupení správných a špatných odpovědí u osob ve věku 18–44 let a u osob nad 45 let. Výsledky jsou uvedeny na grafech 1 až 22.

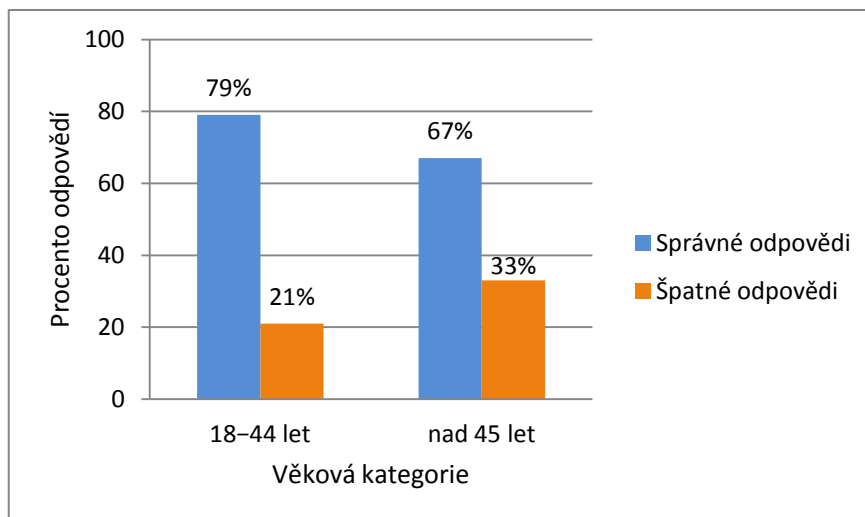
1. V jakém roce došlo k havárii jaderné elektrárny Fukušima Daiiči?

- a) 1998
- b) 2004
- c) **2011**
- d) 2015



Graf 1: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 1, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 1 odpovědělo správně 73 % respondentů, tj. celkem 146 oslovených osob. Chybně odpovědělo 27 % respondentů, tj. 54 osob z obou věkových skupin.

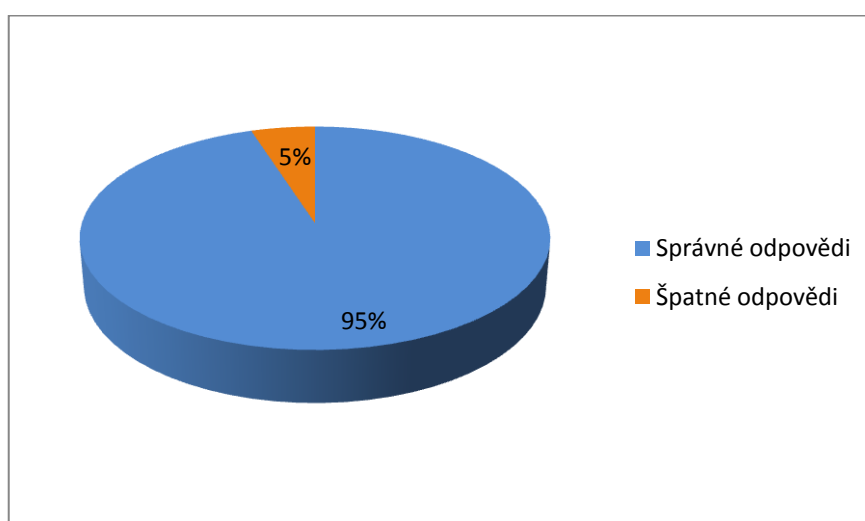


Graf 2: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 1, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 1 odpovědělo správně 79 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 67 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

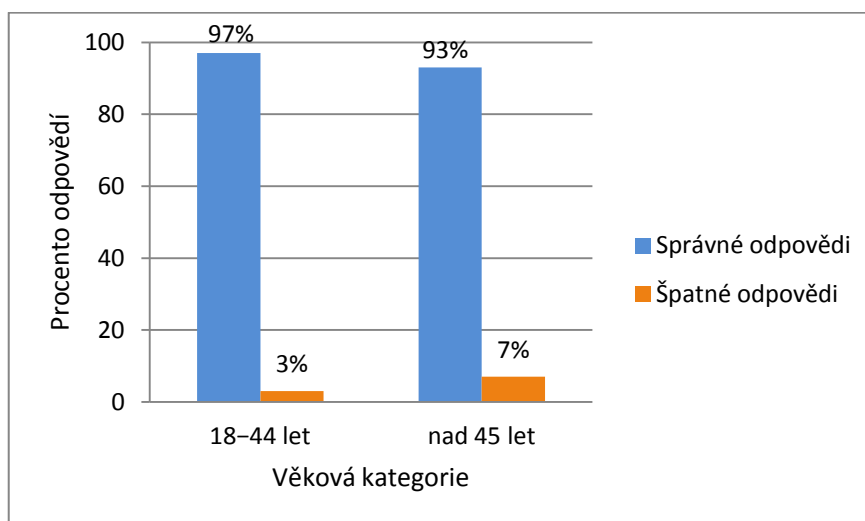
2. Ve kterém státě k této havárii došlo?

- a) Čína
- b) Japonsko**
- c) Rusko
- d) USA



Graf 3: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 2, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 2 odpovědělo správně 95 % respondentů, tj. celkem 190 oslovených osob. Chybně odpovědělo 5 %, tj. 10 osob z obou věkových skupin.

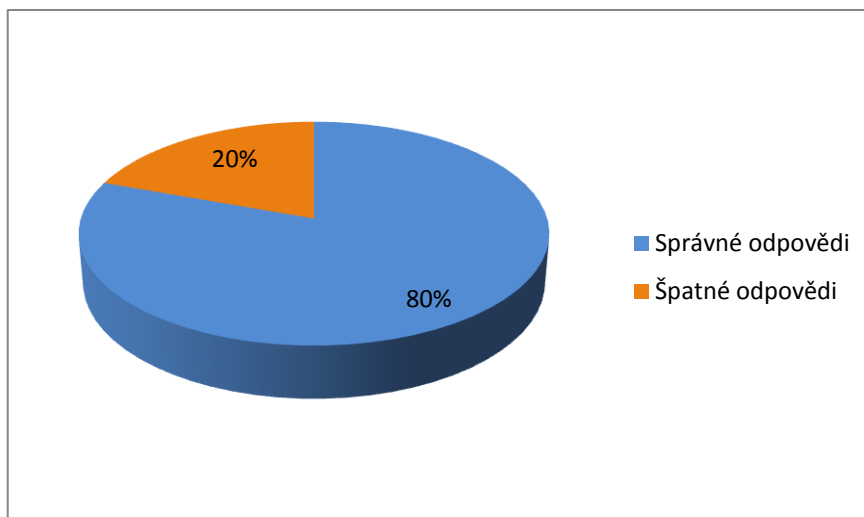


Graf 4: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 2, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 2 odpovědělo správně 97 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 93 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

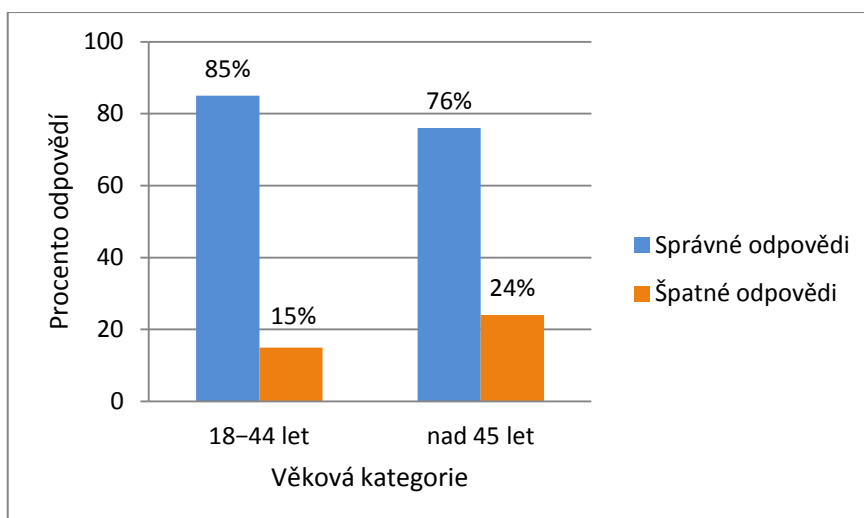
3. Co bylo primární příčinou vzniku havárie?

- a) nevydařený experiment
- b) přírodní katastrofa**
- c) technická závada
- d) lidská chyba



Graf 5: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 3, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 3 odpovědělo správně 80 % respondentů, tj. celkem 161 oslovených osob. Chybně odpovědělo 20 %, tj. 39 osob z obou věkových skupin.

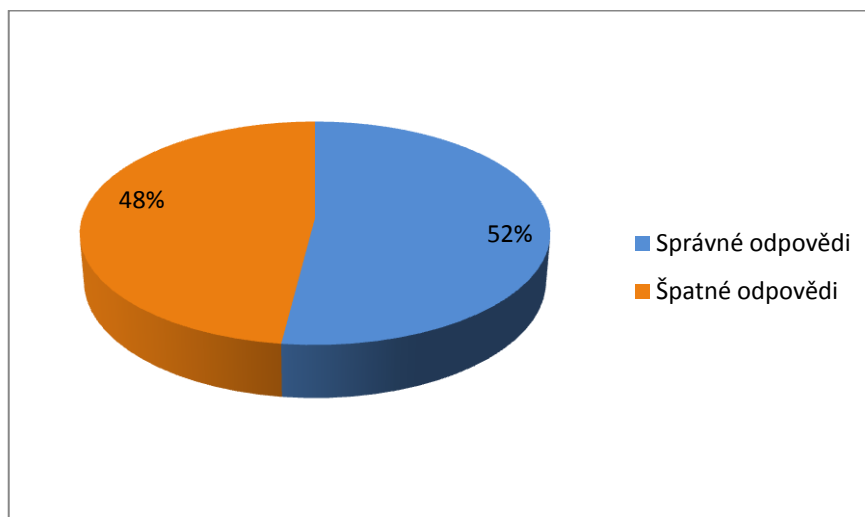


Graf 6: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 3, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 3 odpovědělo správně 85 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 76 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

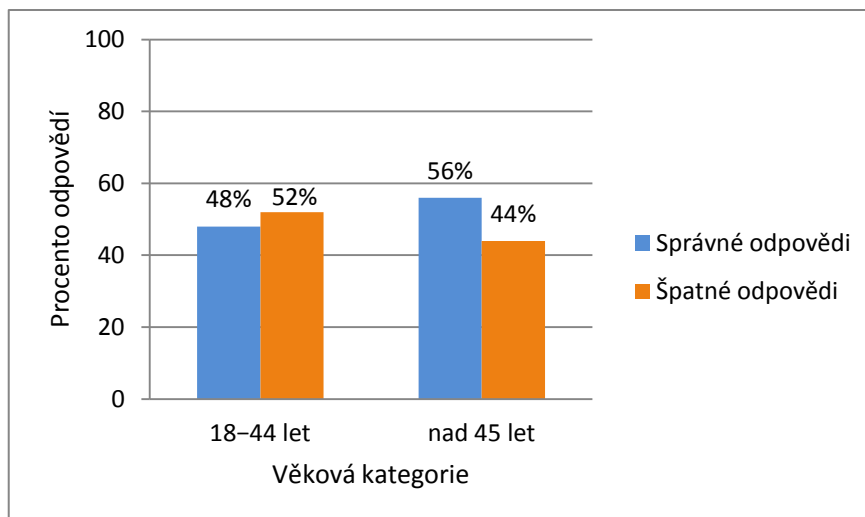
4. Jakým stupněm závažnosti pomocí mezinárodní stupnice INES byla tato havárie ohodnocena? (stupeň 0 – nejnižší závažnost, stupeň 7 – nejvyšší závažnost)

- a) stupeň 1
- b) stupeň 3
- c) stupeň 4
- d) stupeň 7**



Graf 7: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 4, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 4 odpovědělo správně 52 % respondentů, tj. celkem 104 oslovených osob. Chybně odpovědělo 48 %, tj. 96 osob z obou věkových skupin.

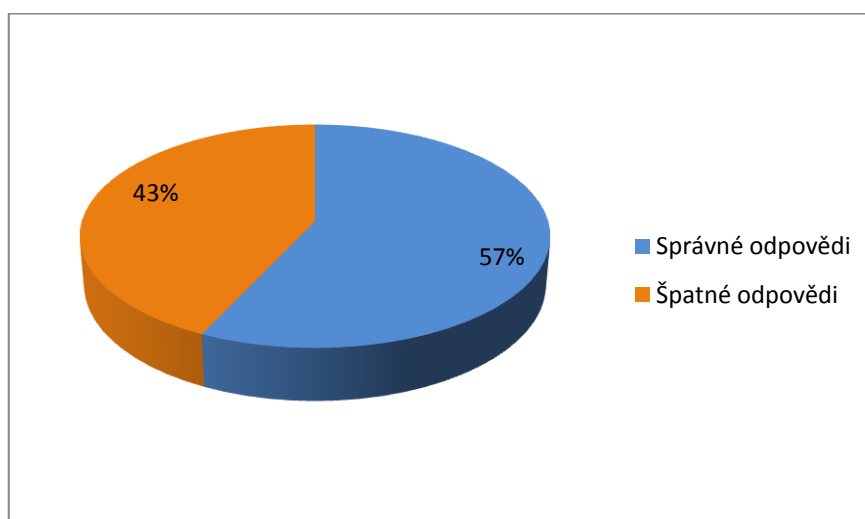


Graf 8: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 4, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 4 odpovědělo správně 48 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 56 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

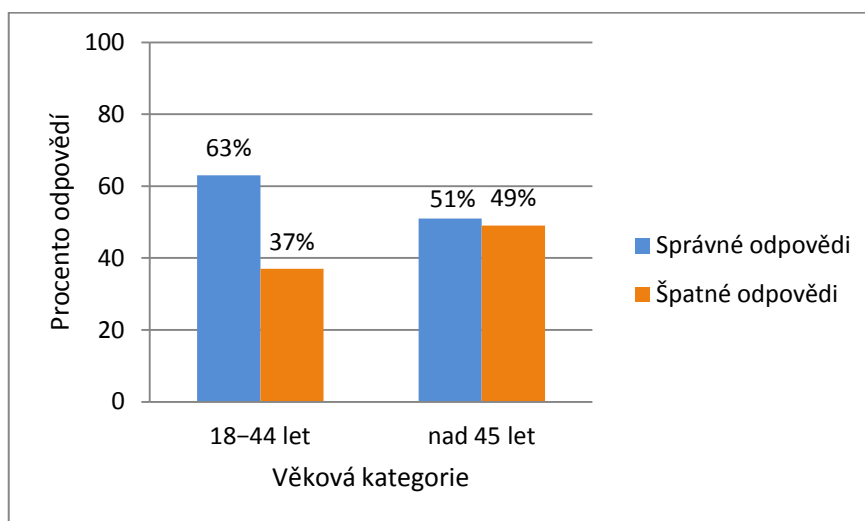
5. Kolik reaktorů bylo v době havárie v provozu?

- a) všech 6 reaktorů
- b) 3 reaktory**
- c) 1 reaktor
- d) žádný



Graf 9: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 5, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 5 odpovědělo správně 57 % respondentů, tj. celkem 114 oslovených osob. Chybně odpovědělo 43 %, tj. 86 osob z obou věkových skupin.

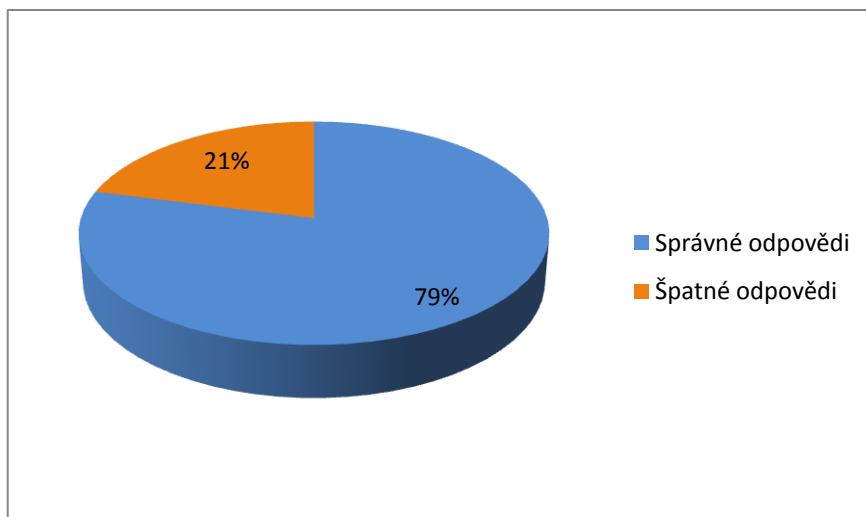


Graf 10: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 5, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 5 odpovědělo správně 63 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 51 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

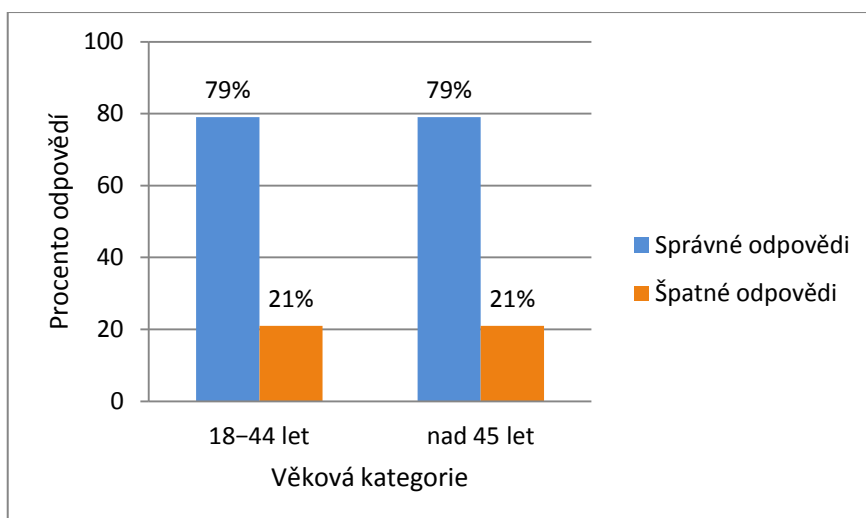
6. Jak velké území zasáhl radioaktivní spád z této havárie?

- a) areál elektrárny a širší okolí
- b) areál elektrárny
- c) celou Asii
- d) celou Severní Ameriku



Graf 11: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 6, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 6 odpovědělo správně 79 % respondentů, tj. celkem 158 oslovených osob. Chybně odpovědělo 21 %, tj. 42 osob z obou věkových skupin.

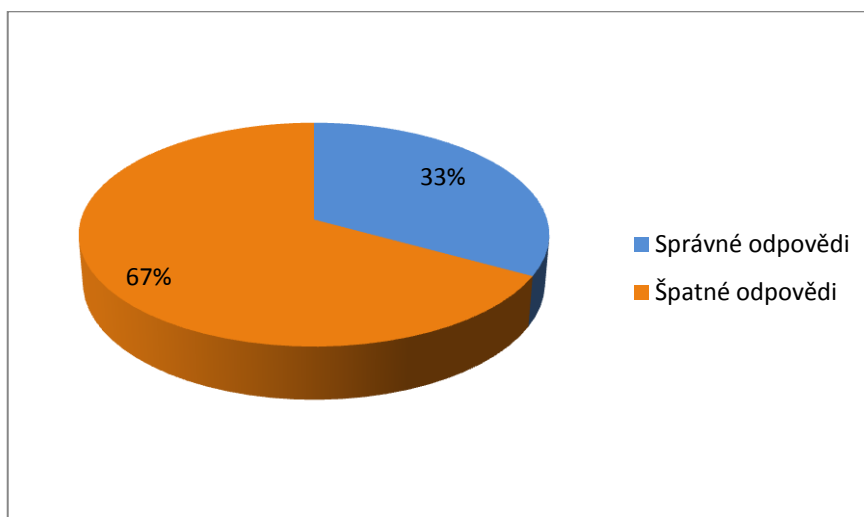


Graf 12: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 6, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 6 odpovědělo správně 79 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a rovněž 79 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

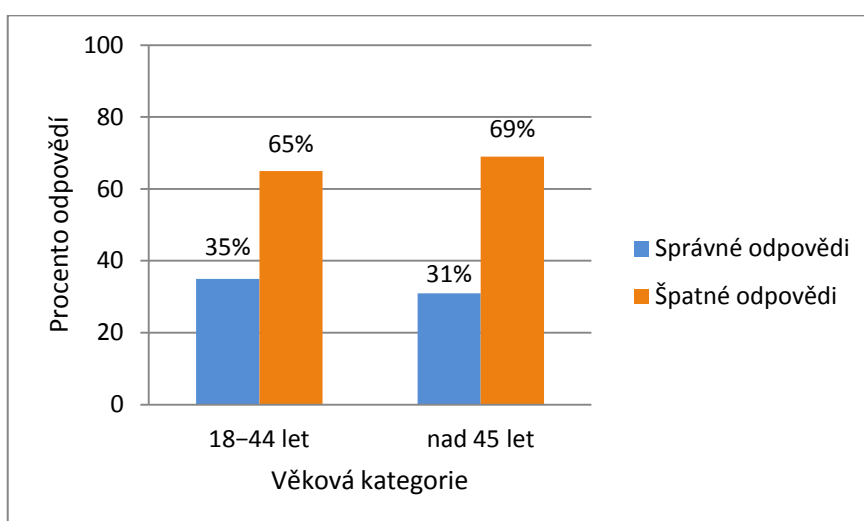
7. Jak rozlehlá byla tzv. zakázaná zóna v okolí elektrárny?

- a) okruh 130 km
- b) okruh 70 km
- c) okruh 20 km**
- d) okruh 3 km



Graf 13: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 7, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 7 odpovědělo správně 33 % respondentů, tj. celkem 66 oslovených osob. Chybně odpovědělo 67 %, tj. 134 osob z obou věkových skupin.

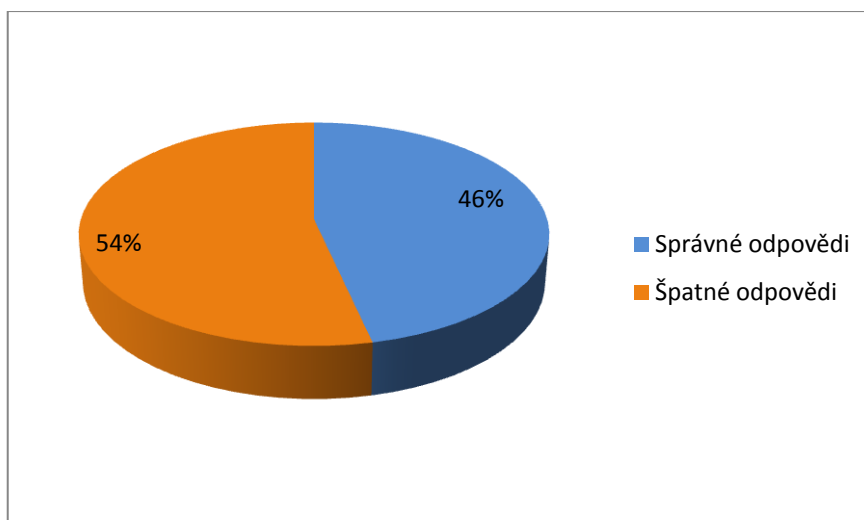


Graf 14: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 7, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 7 odpovědělo správně 35 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 31 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

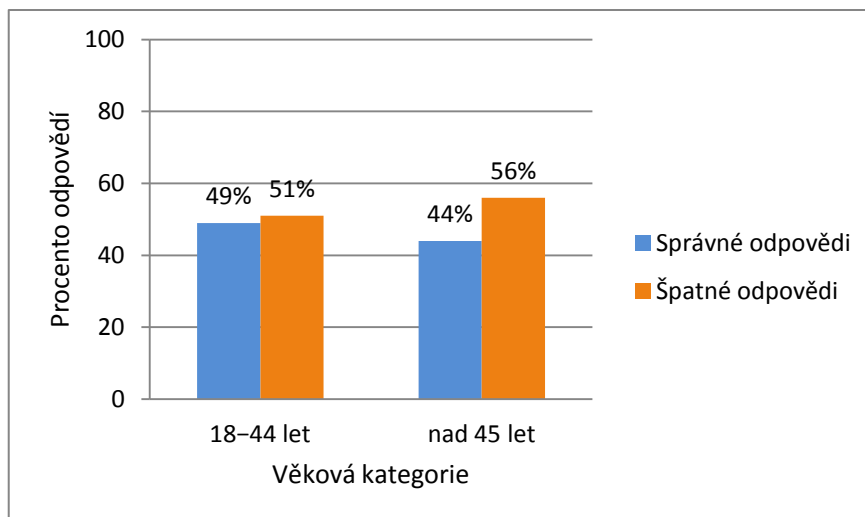
8. Kolik obyvatel se v okolí elektrárny evakovalo?

- a) asi 11 000
- b) asi 116 000**
- c) asi 602 000
- d) asi 1 000 000



Graf 15: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 8, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 8 odpovědělo správně 46 % respondentů, tj. celkem 93 oslovených osob. Chybně odpovědělo 54 %, tj. 107 osob z obou věkových skupin.

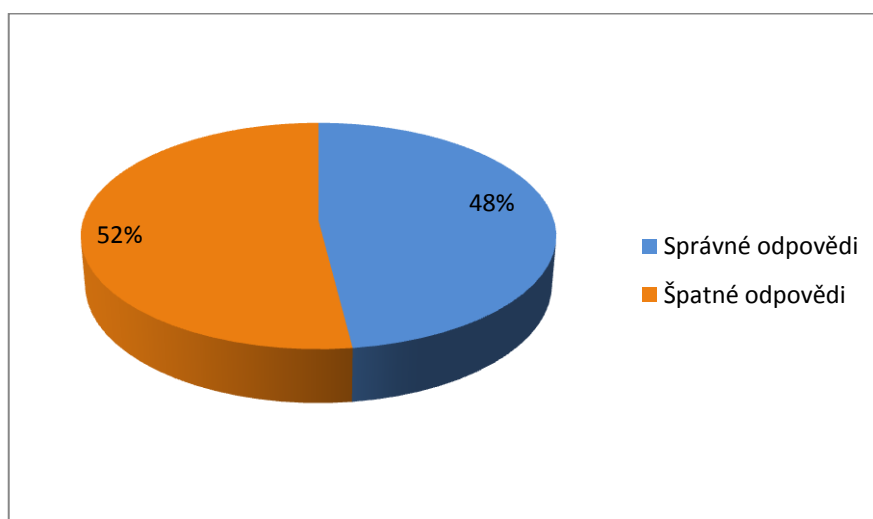


Graf 16: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 8, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 8 odpovědělo správně 49 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 44 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

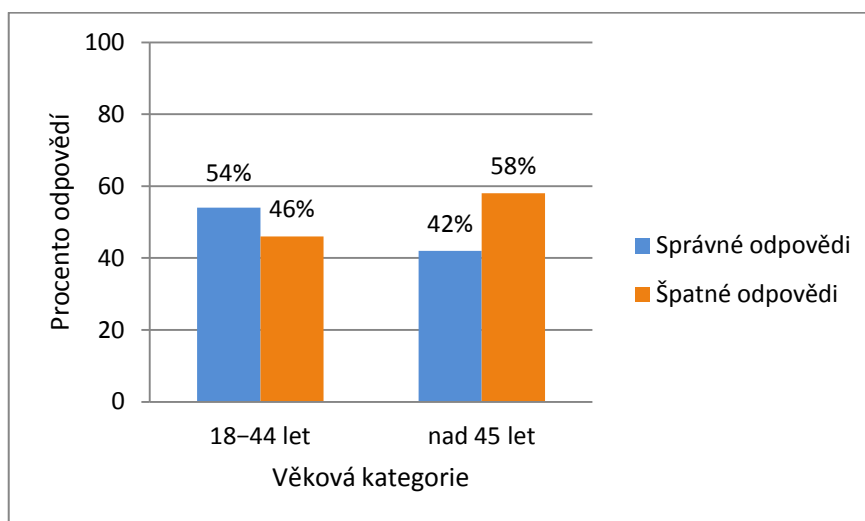
9. Kolik osob zemřelo bezprostředně po havárii na následky ozáření?

- a) žádná
- b) 31 osob
- c) 88 osob
- d) 145 osob



Graf 17: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 9, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 9 odpovědělo správně 48 % respondentů, tj. celkem 96 oslovených osob. Chybně odpovědělo 52 %, tj. 104 osob z obou věkových skupin.

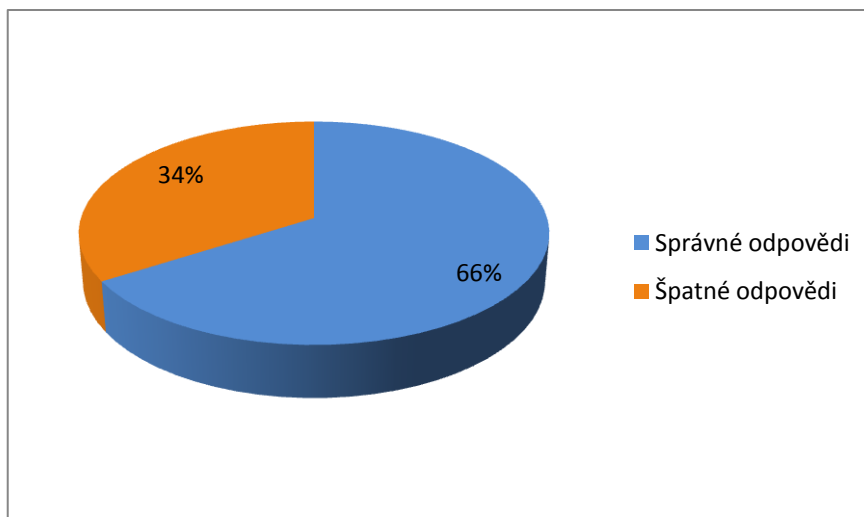


Graf 18: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 9, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 9 odpovědělo správně 54 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 42 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

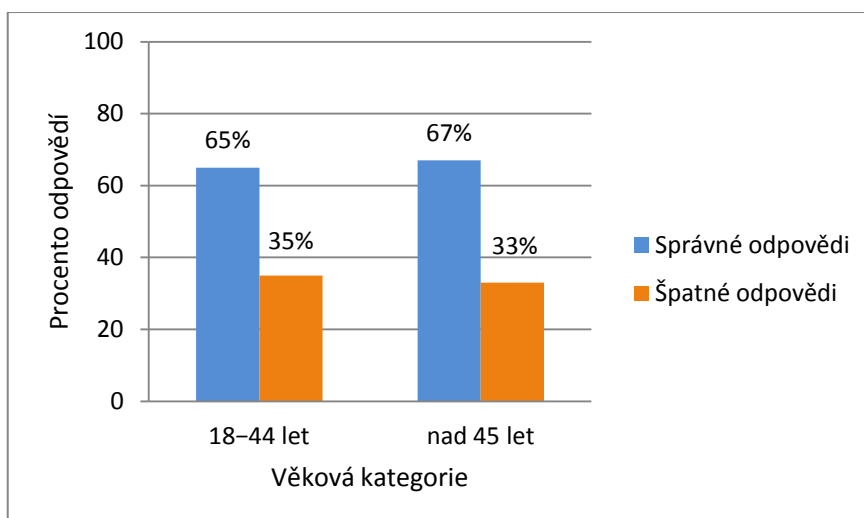
10. Jaké radioaktivní látky představují z hlediska ozáření obyvatelstva největší zdravotní riziko?

- a) radioaktivní vzácné plyny krypton a xenon
- b) radioaktivní vzácný plyn argon
- c) radioaktivní jód a cesium**
- d) radioaktivní dusík



Graf 19: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 10, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 10 odpovědělo správně 66 % respondentů, tj. celkem 132 oslovených osob. Chybně odpovědělo 34 %, tj. 68 osob z obou věkových skupin.

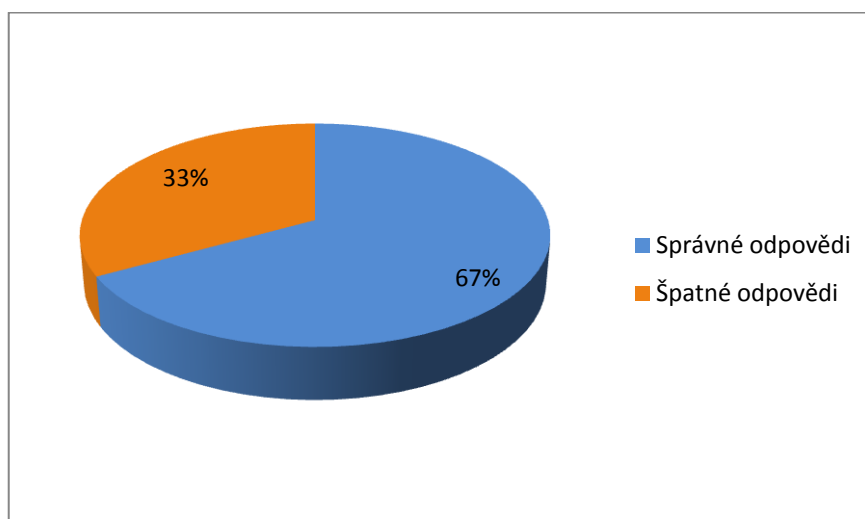


Graf 20: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 10, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 10 odpovědělo správně 65 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 67 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

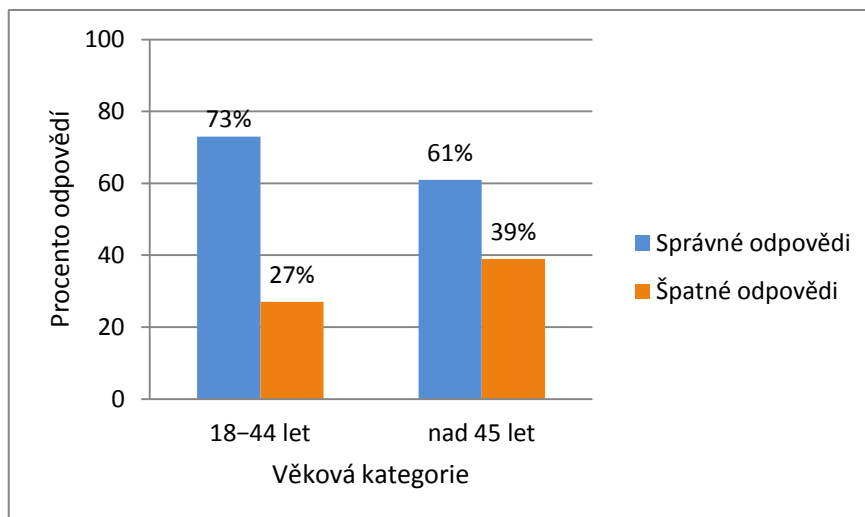
11. Který orgán je nejvíce ohrožen ozářením v důsledku uvolnění radioaktivního jódu?

- a) plíce
- b) ledviny
- c) mozek
- d) štítná žláza**



Graf 21: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 11, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 11 odpovědělo správně 67 % respondentů, tj. celkem 134 oslovených osob. Chybně odpovědělo 33 %, tj. 66 osob z obou věkových skupin.



Graf 22: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 11, zdroj – vlastní výzkum

Na otázku č. 11 odpovědělo správně 73 % respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 61 % respondentů ze skupiny nad 45 let.

Přehled četností jednotlivých odpovědí respondentů z věkové skupiny 18–44 let, ze skupiny nad 45 let a následně všech respondentů uvádí tabulky 2, 3 a 4.

Tabulka 2: Přehled jednotlivých odpovědí respondentů ve věkové kategorii 18–44 let

Otázka	Varianta odpovědi				% správných odpovědí
	a	b	c	d	
1	6	8	79	7	79
2	3	97	0	0	97
3	2	85	8	5	85
4	2	11	39	48	48
5	22	63	13	2	63
6	79	10	9	2	79
7	18	43	35	4	35
8	23	49	26	2	49
9	54	24	17	5	54
10	17	9	65	9	65
11	16	7	4	73	73

Zdroj – vlastní výzkum

Tabulka 3: Přehled jednotlivých odpovědí respondentů ve věkové kategorii nad 45 let

Otázka	Varianta odpovědi				% správných odpovědí
	a	b	c	d	
1	10	17	67	6	67
2	3	93	4	0	93
3	8	76	11	5	76
4	5	13	26	56	56
5	40	51	9	0	51
6	79	12	9	0	79
7	22	39	31	8	31
8	22	44	31	3	44
9	42	32	17	9	42
10	16	9	67	8	67
11	30	2	7	61	61

Zdroj – vlastní výzkum

Tabulka 4: Přehled jednotlivých odpovědí všech respondentů

Otázka	Varianta odpovědi				% správných odpovědí
	a	b	c	d	
1	16	25	146	13	73
2	6	190	4	0	95
3	10	161	19	10	80
4	7	24	65	104	52
5	62	114	22	2	57
6	158	22	18	2	79
7	40	82	66	12	33
8	45	93	57	5	46
9	96	56	34	14	48
10	33	18	132	17	66
11	46	9	11	134	67

Zdroj – vlastní výzkum

4.2 Statistické šetření u obyvatel ve věkové kategorii 18–44 let

V této části jsou prezentovány výsledky statistického šetření informovanosti obyvatel ve věku 18–44 let.

4.2.1 Formulace statistického šetření

HNJ – informovanost obyvatel ve věku 18–44 let o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina.

SJ – obyvatel ve věku 18–44 let.

SZ – počet správných odpovědí.

HSZ – 0 až 11 správných odpovědí.

ZSS – 100 obyvatel.

VSS = ZSS.

NV – nebyl prováděn.

4.2.2 Škálování a měření

Dle Sturgesova pravidla, kde $k = 1 + 3,3 \log_{10} 100 = 7,6$, bylo zvoleno 7 prvků škály. Zároveň byla použita robustní analýza, která slouží k likvidaci odlehlých dat.

Tabulka 5: Škálování výsledků z dotazníkového šetření u obyvatel ve věku 18–44 let

Skupiny	Počet správných odpovědí	Počet obyvatel ve věku 18–44 let
1	4 a méně	13
2	5	6
3	6	13
4	7	18
5	8	22
6	9	15
7	10 a více	13

Zdroj – vlastní výzkum

4.2.3 Elementární statistické zpracování

Výsledky elementárního statistického zpracování jsou vyjádřeny tabulkami 6 a 7 a grafy 23, 24 a 25.

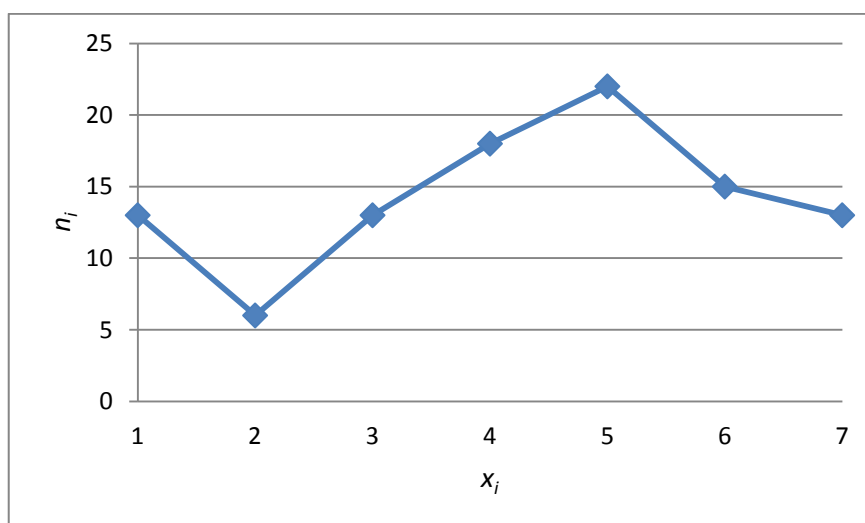
➤ **Tabulka**

Tabulka 6: Výsledky měření (obyvatelé ve věku 18–44 let)

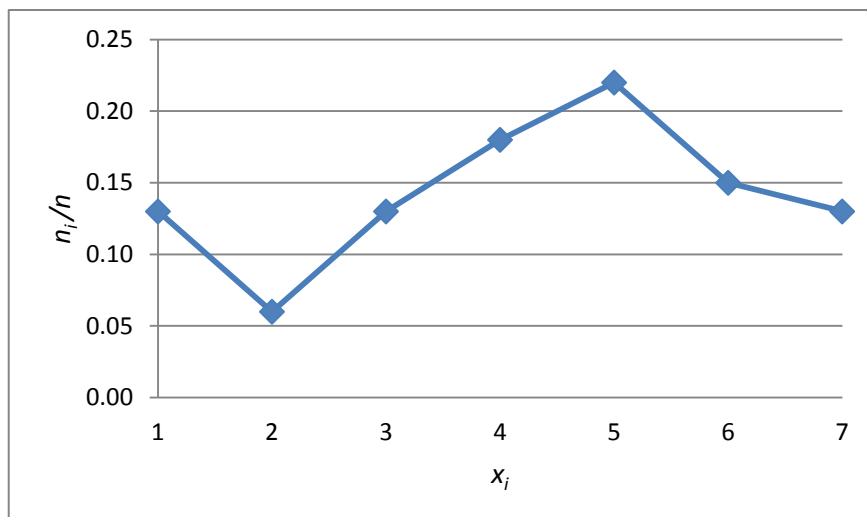
x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	13	0,13	0,13	13	13	13	13
2	6	0,06	0,19	12	24	48	96
3	13	0,13	0,32	39	117	351	1053
4	18	0,18	0,5	72	288	1152	4608
5	22	0,22	0,72	110	550	2750	13750
6	15	0,15	0,87	90	540	3240	19440
7	13	0,13	1	91	637	4459	31213
Σ	100	1		427	2169	12013	70173

Zdroj – vlastní výzkum

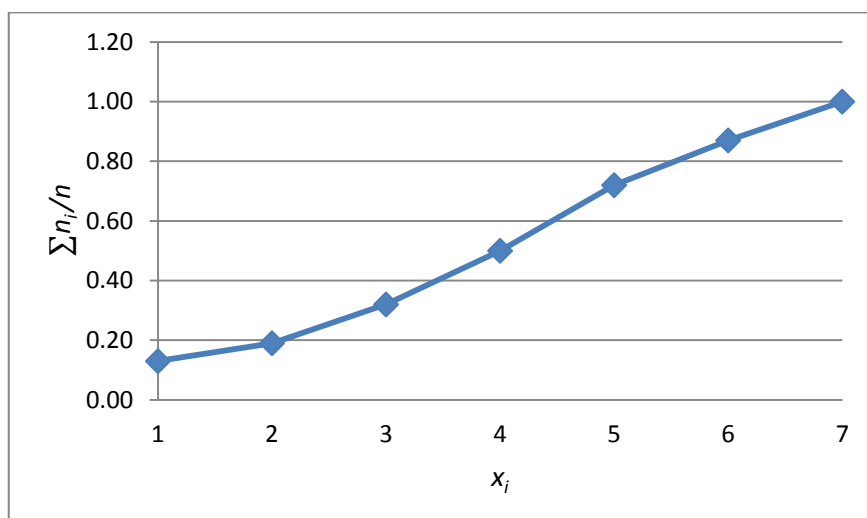
➤ **Empirická rozdělení četností**



Graf 23: Polygon empirického rozdělení absolutních četností (obyvatelé ve věku 18–44 let), zdroj – vlastní výzkum



Graf 24: Polygon empirického rozdělení relativních četností (obyvatelé ve věku 18–44 let), zdroj – vlastní výzkum



Graf 25: Polygon empirického rozdělení kumulativních četností (obyvatelé ve věku 18–44 let), zdroj – vlastní výzkum

➤ **Empirické parametry**

Tabulka 7: Empirické parametry (obyvatelé ve věku 18–44 let)

Empirický parametr	Výsledek
O_1	4,27
O_2	21,69
O_3	120,13
O_4	701,73
C_2	3,46
C_3	-2,01
C_4	25,42
N_3	-0,31
N_4	2,13
S_x	1,86
<i>exces</i>	-0,87
V_k	0,44

Zdroj – vlastní výzkum

4.2.4 *Neparametrické testování*

Intervalové rozdělení četností, přechod k normovanému normálnímu rozdělení zobrazuje tabulka 8, hodnoty jednotlivých ploch tabulka 9 a dílčí výsledky umožňující stanovit experimentální hodnotu testu dobré shody tabulka 10.

➤ **Intervalové rozdělení četností, přechod k normovanému normálnímu rozdělení**

Tabulka 8: Intervalové rozdělení četností výsledků obyvatel ve věku 18–44 let

x_i	interval	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	$(-\infty; 1,5)$	13	0,13	0,13	13	13	13	13
2	$(1,5; 2,5)$	6	0,06	0,19	12	24	48	96
3	$(2,5; 3,5)$	13	0,13	0,32	39	117	351	1053
4	$(3,5; 4,5)$	18	0,18	0,5	72	288	1152	4608
5	$(4,5; 5,5)$	22	0,22	0,72	110	550	2750	13750
6	$(5,5; 6,5)$	15	0,15	0,87	90	540	3240	19440
7	$(6,5; \infty)$	13	0,13	1	91	637	4459	31213
Σ		100	1		427	2169	12013	70173

Zdroj – vlastní výzkum

➤ **Výpočet jednotlivých integrálů – jednotlivých ploch**

a) Výpočet normované náhodné veličiny u_i

$$u_1 = -1,49$$

$$u_2 = -0,95$$

$$u_3 = -0,41$$

$$u_4 = 0,12$$

$$u_5 = 0,66$$

$$u_6 = 1,20$$

$$u_7 = \infty$$

b) Laplaceova funkce $F(u_i)$

$$F(u_1 = -1,49) = 0,06811$$

$$F(u_2 = -0,95) = 0,17106$$

$$F(u_3 = -0,41) = 0,34090$$

$$F(u_4 = 0,12) = 0,54776$$

$$F(u_5 = 0,66) = 0,74537$$

$$F(u_6 = 1,20) = 0,88493$$

$$F(u_7 = \infty) = 1$$

c) Hodnoty jednotlivých ploch

Tabulka 9: Plochy jednotlivých integrálů pro testování znalostí obyvatel ve věku 18–44 let

x_i	interval	n_i	u_i	$F(u_i)$	p_i	np_i
1	$(-\infty; 1,5)$	13	-1,49	0,07	0,07	6,81
2	$(1,5; 2,5)$	6	-0,95	0,17	0,10	10,30
3	$(2,5; 3,5)$	13	-0,41	0,34	0,17	16,98
4	$(3,5; 4,5)$	18	0,12	0,55	0,21	20,69
5	$(4,5; 5,5)$	22	0,66	0,75	0,20	19,76
6	$(5,5; 6,5)$	15	1,20	0,88	0,14	13,96
7	$(6,5; \infty)$	13	∞	1	0,12	11,51

Zdroj – vlastní výzkum

➤ Aplikace χ^2 -testu dobré shody

Tabulka 10: Výsledky testu dobré shody (obyvatelé ve věku 18–44 let)

x_i	n_i	np_i	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
1	13	6,81	5,62
2	6	10,30	1,79
3	13	16,98	0,93
4	18	20,69	0,35
5	22	19,76	0,25
6	15	13,96	0,08
7	13	11,51	0,19

Zdroj – vlastní výzkum

Výpočet experimentální hodnoty χ^2 -testu:

$$\chi_{\text{exp}}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 9,22$$

Výpočet kritické teoretické hodnoty χ^2 -testu ($\alpha = 0,05$):

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_v^2$$

$$v = k - r - 1$$

v = počet stupňů volnosti

k = počet prvků škály

r = počet teoretických parametrů zkoumaného teoretického rozdělení

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_v^2 = \chi_{k-r-1}^2 = \chi_{7-2-1}^2 = \chi_4^2 (\alpha = 0,05) = 9,49$$

Určení kritického oboru W :

$$W = (\chi_4^2 (0,05); \infty) = (9,49; \infty)$$

Výsledek aplikace χ^2 -testu dobré shody:

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

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

4.3 Statistické šetření u obyvatel ve věkové kategorii nad 45 let

V této části jsou prezentovány výsledky statistického šetření informovanosti obyvatel z věkové skupiny nad 45 let.

4.3.1 Formulace statistického šetření

HNJ – informovanost obyvatel ve věku nad 45 let o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina.

SJ – obyvatel ve věku nad 45 let.

SZ – počet správných odpovědí.

HSZ – 0 až 11 správných odpovědí.

ZSS – 100 obyvatel.

VSS = ZSS.

NV – nebyl prováděn.

4.3.2 Škálování a měření

Dle Sturgesova pravidla, kde $k = 1 + 3,3 \log_{10} 100 = 7,6$, bylo zvoleno 7 prvků škály. Zároveň byla použita robustní analýza, která slouží k likvidaci odlehlých dat.

Tabulka 11: Škálování výsledků z dotazníkového šetření u obyvatel ve věku nad 45 let

Skupiny	Počet správných odpovědí	Počet obyvatel ve věku nad 45 let
1	4 a méně	11
2	5	14
3	6	14
4	7	33
5	8	15
6	9	8
7	10 a více	5

Zdroj – vlastní výzkum

4.3.3 Elementární statistické zpracování

Výsledky elementárního statistického zpracování jsou vyjádřeny tabulkami 12 a 13 a grafy 26, 27 a 28.

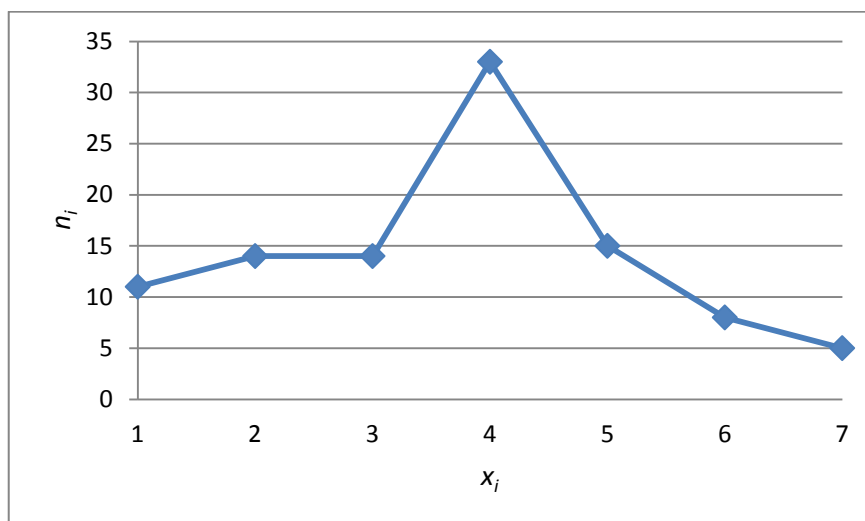
➤ **Tabulka**

Tabulka 12: Výsledky měření (obyvatelé ve věku nad 45 let)

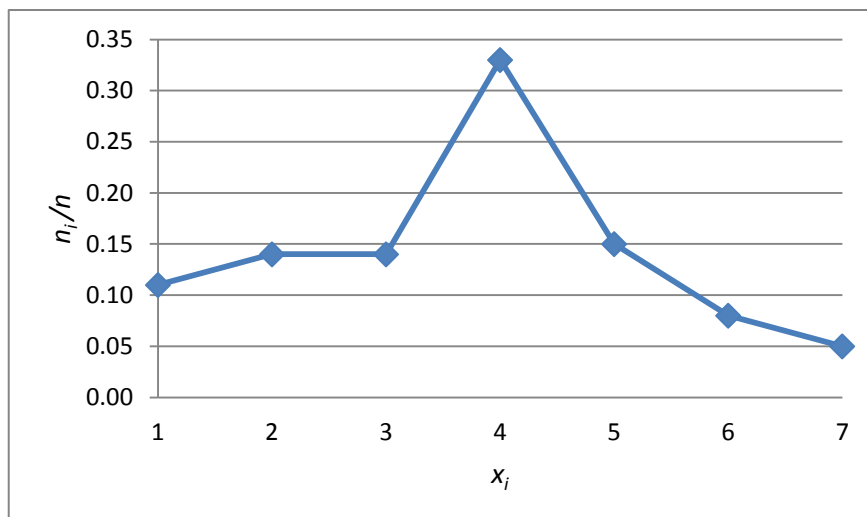
x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	11	0,11	0,11	11	11	11	11
2	14	0,14	0,25	28	56	112	224
3	14	0,14	0,39	42	126	378	1134
4	33	0,33	0,72	132	528	2112	8448
5	15	0,15	0,87	75	375	1875	9375
6	8	0,08	0,95	48	288	1728	10368
7	5	0,05	1	35	245	1715	12005
Σ	100	1		371	1629	7931	41565

Zdroj – vlastní výzkum

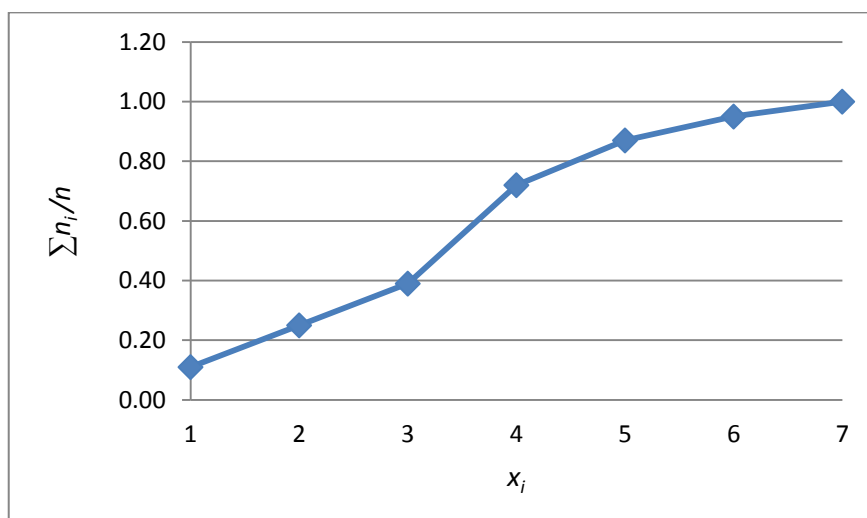
➤ **Empirická rozdělení četností**



Graf 26: Polygon empirického rozdělení absolutních četností (obyvatelé ve věku nad 45 let), zdroj – vlastní výzkum



Graf 27: Polygon empirického rozdělení relativních četností (obyvatelé ve věku nad 45 let), zdroj – vlastní výzkum



Graf 28: Polygon empirického rozdělení kumulativních četností (obyvatelé ve věku nad 45 let), zdroj – vlastní výzkum

➤ **Empirické parametry**

Tabulka 13: Empirické parametry (obyvatelé ve věku nad 45 let)

Empirický parametr	Výsledek
O_1	3,71
O_2	16,29
O_3	79,31
O_4	415,65
C_2	2,53
C_3	0,13
C_4	15,64
N_3	0,03
N_4	2,45
S_x	1,59
<i>exces</i>	-0,55
V_k	0,43

Zdroj – vlastní výzkum

4.3.4 *Neparametrické testování*

Intervalové rozdělení četností, přechod k normovanému normálnímu rozdělení zobrazuje tabulka 14, hodnoty jednotlivých ploch tabulka 15 a dílčí výsledky umožňující stanovit experimentální hodnotu testu dobré shody tabulka 16.

➤ **Intervalové rozdělení četností, přechod k normovanému normálnímu rozdělení**

Tabulka 14: Intervalové rozdělení četností výsledků obyvatel ve věku nad 45 let

x_i	interval	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	$(-\infty; 1,5)$	11	0,11	0,11	11	11	11	11
2	$(1,5; 2,5)$	14	0,14	0,25	28	56	112	224
3	$(2,5; 3,5)$	14	0,14	0,39	42	126	378	1134
4	$(3,5; 4,5)$	33	0,33	0,72	132	528	2112	8448
5	$(4,5; 5,5)$	15	0,15	0,87	75	375	1875	9375
6	$(5,5; 6,5)$	8	0,08	0,95	48	288	1728	10368
7	$(6,5; \infty)$	5	0,05	1	35	245	1715	12005
Σ		100	1		371	1629	7931	41565

Zdroj – vlastní výzkum

➤ **Výpočet jednotlivých integrálů – jednotlivých ploch**

a) Výpočet normované náhodné veličiny u_i

$$u_1 = -1,39$$

$$u_2 = -0,76$$

$$u_3 = -0,13$$

$$u_4 = 0,50$$

$$u_5 = 1,13$$

$$u_6 = 1,76$$

$$u_7 = \infty$$

b) Laplaceova funkce $F(u_i)$

$$F(u_1 = -1,39) = 0,08226$$

$$F(u_2 = -0,76) = 0,22363$$

$$F(u_3 = -0,13) = 0,44828$$

$$F(u_4 = 0,50) = 0,69146$$

$$F(u_5 = 1,13) = 0,87076$$

$$F(u_6 = 1,76) = 0,96080$$

$$F(u_7 = \infty) = 1$$

c) Hodnoty jednotlivých ploch

Tabulka 15: Plochy jednotlivých integrálů pro testování znalostí obyvatel ve věku nad 45 let

x_i	interval	n_i	u_i	$F(u_i)$	p_i	np_i
1	$(-\infty; 1,5)$	11	-1,39	0,08	0,08	8,23
2	$(1,5; 2,5)$	14	-0,76	0,22	0,14	14,14
3	$(2,5; 3,5)$	14	-0,13	0,45	0,22	22,47
4	$(3,5; 4,5)$	33	0,50	0,69	0,24	24,32
5	$(4,5; 5,5)$	15	1,13	0,87	0,18	17,93
6	$(5,5; 6,5)$	8	1,76	0,96	0,09	9,00
7	$(6,5; \infty)$	5	∞	1	0,04	3,92

Zdroj – vlastní výzkum

➤ Aplikace χ^2 -testu dobré shody

Tabulka 16: Výsledky testu dobré shody (obyvatelé ve věku nad 45 let)

x_i	n_i	np_i	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
1	11	8,23	0,94
2	14	14,14	0,00
3	14	22,47	3,19
4	33	24,32	3,10
5	15	17,93	0,48
6	8	9,00	0,11
7	5	3,92	0,30

➤ Zdroj – vlastní výzkum

Výpočet experimentální hodnoty χ^2 -testu:

$$\chi_{\text{exp}}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 8,11$$

Výpočet kritické teoretické hodnoty χ^2 -testu ($\alpha = 0,05$):

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_v^2$$

$$v = k - r - 1$$

v = počet stupňů volnosti

k = počet prvků škály

r = počet teoretických parametrů zkoumaného teoretického rozdělení

$$\chi_{\text{teor}}^2 = \chi_v^2 = \chi_{k-r-1}^2 = \chi_{7-2-1}^2 = \chi_4^2 (\alpha = 0,05) = 9,49$$

Určení kritického oboru W :

$$W = (\chi_4^2 (0,05); \infty) = (9,49; \infty)$$

Výsledek aplikace χ^2 -testu dobré shody:

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

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

4.4 Parametrické testování - aplikace dvojvýběrového t-testu

Pro ověření stanovené hypotézy H_2 byl použit aparát nulové a alternativní hypotézy.

H_0 : Mezi znalostmi obyvatel ve věkové kategorii 18–44 let a ve věkové kategorii nad 45 let o jaderné havárii ve Fukušimě není statisticky významný rozdíl.

H_a : Mezi znalostmi obyvatel ve věkové kategorii 18–44 let a ve věkové kategorii nad 45 let o jaderné havárii ve Fukušimě je statisticky významný rozdíl.

K výpočtu byly použity empirické parametry označené indexem 1, které jsou spojené s obyvateli ve věkové skupině 18–44 let a empirické parametry označené indexem 2, které se pojí s obyvateli ve věkové skupině nad 45 let.

Pro VSS_1 platí:

$$\mu_1 = O_1 = 4,27$$

$$\sigma_1 = S_{x_1} = 1,86$$

Pro VSS_2 platí:

$$\mu_2 = O_2 = 3,71$$

$$\sigma_2 = S_{x_2} = 1,59$$

Výpočet experimentální hodnoty dvojvýběrového t-testu:

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{x_1}^2 + (n_2 - 1)S_{x_2}^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} = 2,29$$

Určení kritického oboru W :

$$W = (-\infty; -t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2)) \cup (t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2); \infty) = (-\infty; -t_{198}(0,025)) \cup$$

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

Výsledek:

$$t_{\text{exp}} \in W$$

Jelikož je t_{exp} prvkem kritického oboru W , lze přijmout hypotézu H_a : mezi znalostmi obyvatel ve věkové kategorii 18–44 let a ve věkové kategorii nad 45 let o jaderné havárii ve Fukušimě je statisticky významný rozdíl.

5 DISKUSE

Praktická část diplomové práce se zabývala zjištěním úrovně znalostí obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina. Havárie ve Fukušimě patří vedle Černobylu k nejhorším jaderným haváriím v historii, a proto by o ní veřejnost měla mít alespoň základní informace.

Ke zjištění míry informovanosti obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina a následnému potvrzení či vyvrácení stanovených hypotéz bylo provedeno dotazníkové šetření. Dotazníkového průzkumu se zúčastnilo celkem 200 obyvatel Kraje Vysočina. Výzkumný soubor byl tvořen 100 obyvateli ve věku 18–44 let a 100 obyvateli ve věku nad 45 let.

5.1 Diskuse k jednotlivým otázkám dotazníku

Dotazník předložený obyvatelům Kraje Vysočina byl zkonstruován z uzavřených otázek. Obsahoval 1 otázku informativního charakteru, která zařadila respondenta do příslušné věkové kategorie, a umožnila tak následně porovnat znalosti obyvatel ve věku 18–44 let a obyvatel ve věku nad 45 let a ověřit stanovenou hypotézu H2. Následovalo 11 testových otázek zaměřených na problematiku jaderné havárie ve Fukušimě a z ní vyplývajících souvislostí. Každá otázka nabízela 4 varianty odpovědi, z nichž pouze 1 varianta byla správná. Celkem bylo možné dosáhnout 11 správných odpovědí.

První otázka zjišťovala základní poznatek o jaderné havárii ve Fukušimě. Konkrétně v kterém roce k této události došlo. Správná odpověď byla varianta c) 2011. Tuto odpověď zvolilo 73 % respondentů, tj. 146 osob. Z věkové skupiny 18–44 let zvolilo správnou odpověď 79 respondentů a z věkové skupiny nad 45 let 67 respondentů. Výsledek této otázky lze považovat za uspokojivý, ale myslím, že úspěšnost mohla být o něco vyšší zejména proto, že v loňském roce 2016 uplynulo 5 let od havárie, a tato skutečnost byla v médiích často připomínána. V porovnání s bakalářskou prací Nikoly Orthové (2015), která prováděla internetový průzkum mezi obyvateli České republiky o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima, vyplývá, že úroveň informovanosti obyvatel o letopočtu havárie je velmi podobná. V jejím šetření správnou odpověď zvolilo 77 % respondentů.

Druhá otázka byla zaměřena na stát, ve kterém k jaderné havárii došlo. Správná odpověď byla b) *Japonsko*. Tato otázka patřila k nejlépe zodpovězeným otázkám

v celém dotazníku. Její úspěšnost dosahovala 95 %, tzn., že na ni správně odpovědělo 190 respondentů. Dalších 6 respondentů vědělo, že k havárii došlo v Asii, ale zvolili chybnou možnost *a) Čína*, další 4 respondenti pak odpověděli *c) Rusko*. Z věkové skupiny 18–44 let správnou variantu zvolilo 97 respondentů a z věkové skupiny nad 45 let pak 93 respondentů. Vzhledem k tomu, že se jedná o lehkou otázku, a patří k všeobecným znalostem, jsem předpokládala, že úspěšnost jejího zodpovězení bude vysoká.

Na třetí otázku, která se tázala na primární příčinu havárie, správně odpovědělo *b) přírodní katastrofa* 80 % respondentů, tj. 161 osob. Výsledek tak lze považovat za velmi uspokojivý. Z věkové skupiny 18–44 let správnou variantu zvolilo 85 respondentů a z věkové skupiny nad 45 let pak 76 respondentů. Druhou nejčastější, ale chybnou odpověď, byla varianta *c) technická závada*. V případě statistického šetření v bakalářské práci Nikoly Orthové (2015) dosahovala úroveň informovanosti obyvatelstva o primární příčině havárie 70 %. Myslím, že oba výsledky můžeme považovat jen za mírně rozdílné.

Na čtvrtou otázku, která zjišťovala jakým stupněm závažnosti pomocí mezinárodní stupnice INES byla havárie ve Fukušimě ohodnocena, odpovědělo správně *d) stupeň 7* 52 % respondentů, tj. 104 osob. Z věkové skupiny 18–44 let se konkrétně jednalo o 48 respondentů a z věkové skupiny nad 45 let o 56 respondentů. Výsledek této otázky mě celkem překvapil, protože jsem očekávala, že variantu nejvyššího možného stupně zvolí větší počet respondentů. Výsledek tak považuji spíše za podprůměrný a neuspokojivý.

Pátá otázka byla zaměřena na počet reaktorů, které byly v době havárie v provozu. Ke správnému zodpovězení této otázky už je potřeba větší znalost a zájem o danou problematiku. Správnou odpověď *b) 3 reaktory* zvolilo 57 % respondentů, tj. 114 osob. Z věkové skupiny 18–44 let tuto možnost volilo 63 respondentů a z věkové skupiny nad 45 let pak 51 respondentů. Výsledek považuji spíše za průměrný, ale v konečném důsledku za uspokojivý.

Šestá otázka zjišťovala, jak velké území zasáhl radioaktivní spád pocházející z této havárie. Správná odpověď byla *a) areál elektrárny a širší okolí*. Tato otázka se také řadila k těm nejlépe zodpovězeným. Správně na ni odpovědělo 79 % respondentů, tj. 158 osob. Výsledek je velice uspokojivý. Znalosti obou věkových kategorií zde byly vyrovnané. Z věkové skupiny 18–44 let tuto možnost volilo 79 respondentů a z věkové skupiny nad 45 let také 79 respondentů. Nejčastější chybnou odpověď byla možnost

b) areál elektrárny. Ve statistickém šetření Nikoly Orthové (2015) zvolilo správnou variantu 59 % respondentů. Zde už je rozdíl v informovanosti docela velký. V jejím průzkumu měli obyvatelé velmi zkreslené představy, až 20 % respondentů volilo možnost zasažení celého světa.

Sedmá otázka se dotazovala na velikost tzv. zakázané zóny v okolí elektrárny. Zde se naplnily mé předpoklady a úspěšnost této otázky byla nejnižší. Správnou odpověď *c) okruh 20 km* volilo pouze 33 % respondentů, tj. 66 osob. Výsledek je podprůměrný. Vzhledem k tomu, že laická veřejnost nemá podrobnější povědomí o této problematice, byl takový výsledek očekáván. Ve věkové skupině 18–44 let zvolilo správnou odpověď 35 respondentů a ve věkové skupině nad 45 let 31 respondentů. Nejvíce volenou chybnou variantou odpovědi byla u obou věkových skupin možnost *b) okruh 70 km*.

Na osmou otázku, kolik obyvatel se v okolí elektrárny evakovalo, odpovědělo správně *b) asi 116 000* 46 % respondentů, tj. 93 osob. Konkrétně 49 z věkové skupiny 18–44 let a 44 z věkové skupiny nad 45 let. Myslím, že výsledek lze považovat za průměrný. Opět, stejně jako u otázky č. 7, nebyly prokázány hlubší znalosti.

Devátá otázka zjišťovala, kolik osob zemřelo bezprostředně po havárii na následky ozáření. Správnou odpověď *a) žádná* zvolilo 48 % respondentů, tj. 96 osob. Tuto možnost zvolilo 54 respondentů ve věku 18–44 let a 42 respondentů ve věku nad 45 let. Výsledek je opět průměrný. Zhruba polovina dotázaných, konkrétně 104 respondentů, předpokládalo, že na ozáření několik osob zemřelo a nejčastěji volili variantu *b) 31 osob*. Ve statistickém šetření Nikoly Orthové (2015) správnou variantu zvolilo pouze 22 % respondentů, což je velice znepokojivé.

Desátá otázka se zaměřovala na to, jestli má laická veřejnost základní povědomí o tom, jaké radioaktivní látky představují z hlediska ozáření obyvatelstva největší zdravotní riziko. Správná odpověď byla varianta *c) radioaktivní jód a cesium*. Tuto možnost zvolilo 66 % respondentů, tj. 132 osob. Konkrétně 65 respondentů z věkové skupiny 18–44 let a 67 respondentů z věkové skupiny nad 45 let. Musím říct, že výsledek této otázky mě mile překvapil, protože jsem úspěšnost čekala nižší.

Poslední jedenáctá otázka zjišťovala, který orgán je nejvíce ohrožen ozářením v důsledku uvolnění radioaktivního jódu. Správnou odpovědí byla možnost *a) štítná žláza*, kterou volilo 67 % respondentů, tj. 134 osob. Z věkové skupiny 18–44 let se pro správnou možnost rozhodlo 73 respondentů a z věkové skupiny nad 45 let pak 61 respondentů. Výsledek považuji za průměrný. Myslím, že štítné žláze a problematice jodové profylaxe je nejen ve sdělovacích prostředcích, ve škole, ale zejména v zónách

havarijního plánování jaderných zařízení věnován značný prostor. Na území Kraje Vysočina se navíc nachází jaderná elektrárna Dukovany, a tak bych ze strany obyvatel očekávala vyšší úroveň znalostí. Nižší úroveň informovanosti předvedli také respondenti ve statistickém šetření Nikoly Orthové (2015), kde správnou variantu zvolilo 53 % respondentů.

Celková úspěšnost zodpovězených otázek byla 63,3 %. Myslím, že tento výsledek lze považovat za mírně nadprůměrný. Respondenti ve věku 18–44 let odpověděli na všechny otázky v 66,1 % správně a respondenti ve věku nad 45 let v 60,6 %. Lze konstatovat, že výsledky respondentů z obou věkových skupin jsou poměrně vyrovnané, přesto jsou však respondenti z věkové skupiny 18–44 let o 5,5 % lepší. Podrobnější srovnání informovanosti obyvatel z obou věkových kategorií bylo provedeno prostřednictvím dvojvýběrového t-testu.

Nejúspěšnějšími otázkami v obou věkových skupinách byly otázky týkající se základních znalostí. Tedy letopočet a stát, ve kterém k jaderné havárii došlo, příčina havárie, ale také jaké území zasáhl radioaktivní spad. Naopak nejméně úspěšnými otázkami byly otázky, které už vyžadovaly větší zaslíbení do dané problematiky, konkrétně otázky týkající se rozlohy zakázané zóny či počtu evakuovaných obyvatel. Asi nejvíce překvapivý byl pro mě výsledek 4. otázky, která byla zaměřena na určení závažnosti jaderné havárie pomocí stupnice INES. I přesto, že byla v otázce klasifikační stupnice vysvětlena, protože jsem předpokládala, že ji respondenti nebudou znát, správnou odpověď zvolilo jen 52 % respondentů, což je z mého pohledu docela málo.

5.2 Diskuse ke statistickému šetření

V rámci neparametrického testování u respondentů ve věkové skupině 18–44 let bylo zjištěno, že na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ lze empirické rozdělení četností nahradit normálním rozdělením, tzv. Gaussovou křivkou. To znamená, že v dotazníkovém šetření existuje střední počet správných odpovědí, který má nejvyšší pravděpodobnost. Hodnotu středního počtu správných odpovědí lze získat převodem obecného momentu 1. řádu O_1 z prvků škály na hodnoty statistického znaku. U respondentů ve věku 18–44 let činí střední počet správných odpovědí 7,27 z 11 možných. Koeficient šikmosti vyšel záporný, tzn., že prvky škály ležící od

aritmetického průměru vpravo mají vyšší četnosti. V šetření se tedy vyskytuje větší počet správných odpovědí, než udává aritmetický průměr.

V rámci neparametrického testování u respondentů ve věkové skupině nad 45 let bylo zjištěno, že na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ lze rovněž empirické rozdělení četností nahradit normálním rozdělením. Střední počet správných odpovědí vychází na 6,67 z 11 možných. Koeficient šikmosti vyšel kladný, tzn., že prvky škály ležící od aritmetického průměru vlevo mají vyšší četnosti.

Druhá hypotéza byla ověřena pomocí dvojvýběrového t-testu. Z výsledku je patrné, že experimentální hodnota daného testového kritéria je prvkem kritického oboru. Hypotéza tak byla potvrzena. Mezi znalostmi obyvatel ve věkové kategorii 18–44 let a ve věkové kategorii nad 45 let o jaderné havárii ve Fukušimě je statisticky významný rozdíl.

5.3 Shrnutí výzkumné části

Pomocí metod deskriptivní a matematické statistiky byla potvrzena první hypotéza. Rozdělení znalostí obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě je blízké normálnímu rozdělení.

Rovněž se podařilo potvrdit i druhou hypotézu. Obyvatelé ve věkové kategorii 18–44 let v Kraji Vysočina mají statisticky významně vyšší znalosti o jaderné havárii ve Fukušimě než obyvatelé ve věkové kategorii nad 45 let. Tyto rozdíly jsou však malé.

Ze získaných výsledků lze usoudit, že znalosti obyvatel Kraje Vysočina o jaderné havárii ve Fukušimě jsou lehce nadprůměrné. Důležité je, že znalost základních faktů o jaderné havárii je celkem na dobré úrovni. Svědčí to o tom, že obyvatelé nemají k jaderné energetice lhostejný přístup, a alespoň částečně se o tuto problematiku zajímají. Zejména kvůli tomu, že na našem území se nachází 2 jaderné elektrárny Dukovany a Temelín. Hlubší znalosti však prokázány nebyly. Ke zlepšení situace by mohla přispět větší podpora preventivně výchovné činnosti. Konání různých přednášek a besed, které by vzbudily zájem o danou problematiku, a především podpora vzdělávání dětí a mládeže v oblasti ochrany obyvatelstva za mimořádných událostí.

Z výsledku porovnání znalostí obyvatel ve věku 18–44 let a ve věku nad 45 let je patrné, že mladší osoby mají znalosti vyšší. Myslím, že se na tom podílí skutečnost, že

mladí lidé ve větší míře využívají internet, kde lze vyhledat o jaderné havárii ve Fukušimě mnoho článků, a také fakt, že část z nich se o havárii již učila ve škole.

6 ZÁVĚR

Diplomová práce s názvem „Informovanost obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina“ byla rozdělena do teoretické a praktické části.

V teoretické části byly uvedeny obecné poznatky týkající se ionizujícího záření, havarijní připravenosti, ochranných opatření a mezinárodní stupnice INES. Hlavní část tvořil popis jaderné elektrárny a průběh havárie. Součástí je také popis základních statistických metod, které byly použity ve výzkumné části práce.

Cílem praktické části diplomové práce bylo zjistit míru informovanosti obyvatel Kraje Vysočina o jaderné havárii ve Fukušimě a následně porovnat úroveň znalostí mezi obyvateli ve věku 18–44 let a ve věku nad 45 let. Pro splnění stanovených cílů byly zformulovány hypotézy, zkonstruován dotazník, proveden dotazníkový průzkum a následně statisticky vyhodnoceny výsledky. První hypotéza, která předpokládala, že znalosti obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě se budou blížit normálnímu rozdělení, byla potvrzena. Druhá hypotéza předpokládala, že obyvatelé ve věkové kategorii 18–44 let v Kraji Vysočina budou mít statisticky významně vyšší znalosti o jaderné havárii ve Fukušimě než obyvatelé ve věkové kategorii nad 45 let. Tato hypotéza byla pomocí dvojvýběrového t-testu také potvrzena. Stanovených cílů se tak podařilo dosáhnout a výsledky jednotlivých otázek dotazníkového průzkumu byly shrnuty v diskusi.

Diplomová práce může být využita jako studijní materiál pro odbornou i laickou veřejnost. Výsledky výzkumu mohou sloužit orgánům krizového řízení ke zhodnocení stavu informovanosti obyvatel. Ve výzkumu lze nadále pokračovat např. srovnáním informovanosti obyvatel v zóně havarijního plánování jaderné elektrárny Dukovany a mimo zónu havarijního plánování.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

BABA, M., 2013. Fukushima accident: What happened? In: *Radiation Measurements* [online]. 55, s. 17-21 [cit. 2017-03-24]. DOI: 10.1016/j.radmeas.2013.01.013. ISSN 13504487. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350448713000267>

BBC, 2011. Japan earthquake: Explosion at Fukushima nuclear plant. In: *Bbc.com* [online]. [cit. 2016-09-10]. Dostupné z: <http://www.bbc.com/news/world-asia-pacific-12720219>

BLAŽKOVÁ, K., BUČEK, D., DITTRICH, D., DITTRICHOVÁ, Z., HRUBÁ, A., KOLEŇÁK, I., LUKEŠ, M., MENŠÍKOVÁ, D., MUSÍLEK, J., PEICHOVÁ, M., ROSINOVÁ, M., ŠIMAN, J., TILCEROVÁ, E., 2015. *Ochrana obyvatelstva a krizové řízení: skripta*. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-86466-62-0.

BREHOVSKÁ, L., CHARVÁTOVÁ, M., KARDA, L., FREITINGER SKALICKÁ, Z., ZÖLZER, F., KUDLÁK, A., MENŠÍK, M., HAVRÁNKOVÁ, R., ŠTOREK, J., LÍBAL, L., MIKLÓS, D., ZÁŠKODNÝ, P., 2016. *Evakuace ze zón havarijního plánování v závislosti na diferenciaci populace*. Praha: NLN, Nakladatelství Lidové noviny. ISBN 978-80-7422-466-9.

BUDÍKOVÁ, M., KRÁLOVÁ, M., MAROŠ, B., 2010. *Průvodce základními statistickými metodami*. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3243-5.

CYHELSKÝ, L., KAHOUNOVÁ, J., HINDLS, R., 1999. *Elementární statistická analýza*. Vyd. 2., dopl. Praha: Management Press. ISBN 80-726-1003-1.

ČTK, iDNES.CZ, 2016. Japonci zmrazují půdu u Fukušimy, chtějí zabránit šíření kontaminace. In: *iDNES.cz* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: http://zpravy.idnes.cz/japonci-zmrazuji-pudu-fukushima-d38-/zahranicni.aspx?c=A160331_123853_zahranicni_hro

- GALLARDO, A. H., MARUI, A., 2016. The aftermath of the Fukushima nuclear accident: Measures to contain groundwater contamination. In: *Science of The Total Environment* [online]. **547**, s. 261-268 [cit. 2017-03-07]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.129. ISSN 00489697. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969715312845>
- GISQUET, E., OLDER, M., 2015. *A Human and Organizational Factors Perspective on the Fukushima Nuclear Accident* [online]. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN-PSN-SRDS-SFOHREX_2015-01_Fukushima-Human-Organizational.pdf
- HÁLA, J., 1998. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. 1. vyd. Brno: Konvoj. ISBN 80-856-1556-8.
- HIROSE, K., 2016. Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident: Atmospheric and oceanic impacts over the five years. In: *Journal of Environmental Radioactivity* [online]. **157**, s. 113-130 [cit. 2017-03-15]. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.01.011. ISSN 0265931x. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X1630011X>
- HOMOLA, V., 2014. Úvod do statistiky. In: *Homel.vsb.cz* [online]. [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~hom50/SLBSTATS/UST/GS02.HTM>
- HUŠÁK, V., 2009. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-2350-0.
- CHINO, M., NAKAYAMA, H., NAGAI, H., TERADA, H., KATATA, G., YAMAZAWA, H., 2011. Preliminary Estimation of Release Amounts of ¹³¹I and ¹³⁷Cs Accidentally Discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the Atmosphere: Sequences, Fission Products Released, Lessons Learned. In: *Journal of Nuclear Science and Technology* [online]. Tokyo: Springer Japan, **48**(7), s. 1129-1134 [cit. 2016-09-25]. DOI: 10.1080/18811248.2011.9711799. ISBN 978-4-431-54582-8. ISSN 0022-3131. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/18811248.2011.9711799>

IAEA, 2013. *INES The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual 2008 Edition* [online]. Vienna: International Atomic Energy Agency [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/INES2013web.pdf>

IAEA, 2015. *The Fukushima Daiichi Accident* [online]. Vienna: International Atomic Energy Agency [cit. 2016-09-10]. ISBN 978-92-0-107015-9. Dostupné z: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf>

JANTI, 2011. *Examination of Accident at Tokyo Electric Power Co., Inc.'s Fukushima Daiichi Nuclear Power Station and Proposal of Countermeasures* [online]. Japan Nuclear Technology Institute [cit. 2016-09-09]. Dostupné z: http://www.gengikyo.jp/english/shokai/Tohoku_Jishin/report_20120914.pdf

JURANOVÁ, E., HANSLÍK, E., 2012 Havárie jaderné elektrárny Fukušima Daiiči a její vliv na životní prostředí. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, **54**(6). ISSN 0322 - 8916.

KAWAMURA, H., KOBAYASHI, T., FURUNO, A., IN, T., ISHIKAWA, Y., NAKAYAMA, T., SHIMA, S., AWAJI, T., 2011. Preliminary Numerical Experiments on Oceanic Dispersion of ¹³¹I and ¹³⁷Cs Discharged into the Ocean because of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Disaster: Sequences, Fission Products Released, Lessons Learned. In: *Journal of Nuclear Science and Technology* [online]. Tokyo: Springer Japan, **48**(11), s. 1349-1356 [cit. 2016-09-25]. DOI: 10.1080/18811248.2011.9711826. ISBN 978-4-431-54582-8. ISSN 0022-3131. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/18811248.2011.9711826>

KLENER, V. (ed.), 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost. ISBN 80-238-3703-6.

KRATOCHVÍLOVÁ, D., 2005. *Ochrana obyvatelstva*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 80-866-3470-1.

KROUPA, M., ŘÍHA, M., 2007. *Průmyslové havárie*. Vyd. 1. Praha: Armex. Skripta pro střední a vyšší odborné školy. ISBN 978-80-86795-49-2.

KUN, L., HIROSE, K., KATSUMI, B., ALBIN, M., PRENDERGAST K., MENDOZA, M., 2014. The impact of Fukushima on global health: lessons learned from man-made and natural disasters. In: *Health and Technology* [online]. **4**(2), s. 177-203 [cit. 2017-03-16]. DOI: 10.1007/s12553-014-0090-y. ISSN 2190-7188. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12553-014-0090-y>

KUNA, P., NAVRÁTIL, L., 2005. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus. ISBN 80-865-7109-2.

KUNC, J., HOLEČKOVÁ, V., SEDLÁŘ, J., 2013. Postoje zemí k jaderné energii: změny po Fukušimě. In: *XVI. mezinárodní kolokvium o regionálních vědách. Sborník příspěvků* [online]. Brno: Masarykova univerzita, s. 297-302. [cit. 2016-09-29]. ISBN 978-80-210-6257-3. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/econ/soubory/katedry/kres/4884317/41725568/37_2013.pdf

LATRÉ, E., PERKO, T., THIJSEN, P., 2017. Public opinion change after the Fukushima nuclear accident: The role of national context revisited. In: *Energy Policy* [online]. **104**, s. 124-133 [cit. 2017-03-16]. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.01.027. ISSN 03014215. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030142151730037X>

LIN, W., CHEN, L., YU, W., MA, H., ZENG, Z., ZENG, S., 2016. Radioactive source terms for the Fukushima nuclear accident. *Science China Earth Sciences* [online]. **59**(1), 214-222 [cit. 2017-03-24]. DOI: 10.1007/s11430-015-5112-8. ISSN 1674-7313. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11430-015-5112-8>

MHLW, 2011. *Handling of the Index Levels on Radioactive Materials in Tap Water, etc.* [online]. Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan [cit. 2016-09-26]. Dostupné z: http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/april_8_01.pdf

NAVRÁTIL, L., FREITINGER SKALICKÁ, Z., HALAŠKA, J., HAVRÁNKOVÁ, R., KUBEŠ, J., NAVRÁTIL, V., SABOL, J., SIROVÝ, L., ZÖLZER, F., 2010. Radiobiologie (výukový program). In: *Fbmi.sirdik.org* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>

NEUBAUER, J., SEDLAČÍK, M., KŘÍŽ, O., 2012. *Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech*. Praha: Grada. ISBN 978-802-4742-731.

ORTHOVÁ, N., 2015. *Vnímání obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima* [online]. České Budějovice [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://theses.cz/id/o9vr70/Bakal_sk_prce_Nikola_Orthov.pdf. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, Ústav radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva.

PROUZA, Z., ŠVEC, J., 2008. *Zásahy při radiační mimořádné události*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-046-3.

ROSEN, A., 2012. Analysis of WHO report on Fukushima catastrophe. In: *Fukushima Disaster* [online]. [cit. 2016-09-28]. Dostupné z: http://www.fukushima-disaster.de/fileadmin/user_upload/pdf/english/ippnw_analysis_WHO-report_fukushima.pdf

SKUPINA ČEZ, 2016. *Příručka pro ochranu obyvatel v případě radiační havárie JE Dukovany pro období 2016-2017* [online]. ČEZ, a. s. [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/dukovany/hav_prirucka_edu_2016_2017.pdf

SMETANA, M., KRATOCHVÍLOVÁ, D., 2010. *Havarijní plánování: varování, evakuace, poplachové plány, povodňové plány*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-2989-0.

SUGIMOTO, J., 2014. Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Sequences, Fission Products Released, Lessons Learned. In: *Radiation Monitoring and Dose Estimation of the Fukushima Nuclear Accident*. Tokyo: Springer Japan, s. 17. DOI: 10.1007/978-4-431-54583-5_3. ISBN 978-4-431-54582-8. Dostupné také z: http://link.springer.com/10.1007/978-4-431-54583-5_3

- SUZUKI, S., 2016. Childhood and Adolescent Thyroid Cancer in Fukushima after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: 5 Years On. In: *Clinical Oncology* [online]. **28**(4), s. 263-271 [cit. 2017-03-25]. DOI: 10.1016/j.clon.2015.12.027. ISSN 09366555. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0936655516000029>
- SÚJB, 2001. *INES - Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí* [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2016-09-30]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES.pdf>
- SÚJB, 2011. *Kontrola potravin a jiných produktů dovezených z Japonska* [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2016-09-27]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/kontrola-potravin-a-jinych-produktu-dovezenych-z-japonska/>
- SÚJB, 2012. *Stručné shrnutí vývoje stavu postižené fukušimské elektrárny* [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2016-09-17]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/Fukusima/Vznikhavarie.pdf>
- SÚRO, 2000-2016a. *Biologické účinky ionizujícího záření* [online]. Státní ústav radiační ochrany [cit. 2016-10-22]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni>
- SÚRO, 2000-2016b. *Radiační havárie* [online]. Státní ústav radiační ochrany [cit. 2016-11-26]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/radiacni-havarie>
- SYTAŘOVÁ, I., 2003. Základní reaktorové typy. In: *Physics.muni.cz* [online]. [cit. 2016-09-09]. Dostupné z: <http://www.physics.muni.cz/~blazkova/dp/index.htm>
- ŠTĚTINA, J., 2014. *Zdravotnictví a integrovaný záchranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4578-7.
- ŠVEC, J., 2005. *Radioaktivita a ionizující záření: doplňující učební text pro předměty Bakalářská fyzika, Aplikovaná fyzika, Ochrana před zářením* [online]. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství [cit. 2016-10-20]. ISBN 80-866-3462-0. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/050/.content/sys-cs/resource/PDF/studijni-materialy/zareni.pdf>

TEPCO, 2012. *Fukushima Nuclear Accident Analysis Report* [online]. Tokyo Electric Power Company [cit. 2016-09-10]. Dostupné z: http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu12_e/images/120620e0104.pdf

ULLMANN, V., 2002. Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření: Ionizující záření. In: *Astronuklfyzika.cz* [online]. [cit. 2016-10-21]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>

Vyhláška č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému, 2001. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 127, str. 7447-7464.

Vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události, 2016. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 143, str. 5613-5641.

Vyhláška č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva, 2002. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 133, str. 7730-7745.

WAGNER, V., 2011. Jak se chladí reaktory jaderné elektrárny Fukušima 1. In: *Objective Source E-Learning* [online]. [cit. 2016-09-10]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/5681-jak-se-chladi-reaktory-jaderne-elektrarny-fukusima-1.html>

WAGNER, V., 2015. *Fukušima I poté*. Praha: Novela bohémica. 358 s. ISBN 978-80-87683-45-3.

WAGNER, V., 2017a. Fukušima I na počátku roku 2017. In: *Ojs.ujf.cas.cz* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: https://ojs.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/fukusima/Fukusima_leden_2017.htm

WAGNER, V., 2017b. Šest let od havárie ve Fukušimě I. In: *Ojs.ujf.cas.cz* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: https://ojs.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/fukusima/Fukusima_sest_let.htm

YURMAN, D., 2011. Decommissioning Fukushima. In: *ANS Nuclear Cafe* [online]. [cit. 2016-09-18]. Dostupné z: <https://ansnuclearcafe.wordpress.com/2011/04/07/decommissioning-fukushima/>

Zákon č. 263/2016 Sb., zákon atomový zákon, 2016. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 102, str. 3938-4060.

ZÁŠKODNÝ, P., HAVRÁNKOVÁ, R., HAVRÁNEK J., VURM, V., 2016. *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. 3. vyd. Praha: Curriculum. ISBN 978-80-87894-12-5.

8 SEZNAM ZKRATEK

BWR	Boiling Water Reactor (varný reaktor)
HPCI	High-Pressure Coolant Injection (systém vysokotlakého vstřikování chladicí vody)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii)
IC	Isolation Condenser (nouzový kondenzátor)
INES	The International Nuclear Event Scale (Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí)
IZ	ionizující záření
IZS	integrovaný záchranný systém
JE	jaderná elektrárna
JSVV	Jednotný systém varování a vyrozumění
OECD/NEA	Organisation for Economic Co-operation and Development/The Nuclear Energy Agency (Agentura pro atomovou energii při Organizaci pro ekonomickou spolupráci a rozvoj)
RCIC	Reactor Core Isolation Coolant (systém izolovaného dochlazování aktivní zóny)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TEPCO	Tokyo Electric Power Company
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: JE Fukušima.....	21
Obrázek 2: Schéma chladících okruhů reaktoru BWR.....	24
Obrázek 3: Epicentrum zemětřesení.....	26

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled bloků JE Fukušima.....	22
Tabulka 2: Přehled jednotlivých odpovědí respondentů ve věkové kategorii 18–44 let.....	61
Tabulka 3: Přehled jednotlivých odpovědí respondentů ve věkové kategorii nad 45 let.....	61
Tabulka 4: Přehled jednotlivých odpovědí všech respondentů.....	62
Tabulka 5: Škálování výsledků z dotazníkového šetření u obyvatel ve věku 18–44 let.....	63
Tabulka 6: Výsledky měření (obyvatelé ve věku 18–44 let).....	64
Tabulka 7: Empirické parametry (obyvatelé ve věku 18–44 let).....	66
Tabulka 8: Intervalové rozdělení četností výsledků obyvatel ve věku 18–44 let.....	67
Tabulka 9: Plochy jednotlivých integrálů pro testování znalostí obyvatel ve věku 18–44 let.....	68
Tabulka 10: Výsledky testu dobré shody (obyvatelé ve věku 18–44 let).....	68
Tabulka 11: Škálování výsledků z dotazníkového šetření u obyvatel ve věku nad 45 let.....	70
Tabulka 12: Výsledky měření (obyvatelé ve věku nad 45 let).....	71
Tabulka 13: Empirické parametry (obyvatelé ve věku nad 45 let).....	73
Tabulka 14: Intervalové rozdělení četností výsledků obyvatel ve věku nad 45 let.....	74
Tabulka 15: Plochy jednotlivých integrálů pro testování znalostí obyvatel ve věku nad 45 let.....	75
Tabulka 16: Výsledky testu dobré shody (obyvatelé ve věku nad 45 let).....	75

11 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 1.....	46
Graf 2: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 1.....	47
Graf 3: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 2.....	47
Graf 4: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 2.....	48
Graf 5: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 3.....	49
Graf 6: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 3.....	49
Graf 7: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 4.....	50
Graf 8: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 4.....	51
Graf 9: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 5.....	51
Graf 10: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 5.....	52
Graf 11: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 6.....	53
Graf 12: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 6.....	53
Graf 13: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 7.....	54
Graf 14: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 7.....	54
Graf 15: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 8.....	55
Graf 16: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 8.....	56
Graf 17: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 9.....	56
Graf 18: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 9.....	57
Graf 19: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 10.....	58
Graf 20: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 10.....	58
Graf 21: Zastoupení správných a špatných odpovědí u otázky č. 11.....	59

Graf 22: Zastoupení správných a špatných odpovědí u jednotlivých věkových kategorií u otázky č. 11.....	60
Graf 23: Polygon empirického rozdělení absolutních četností (obyvatelé ve věku 18–44 let).....	64
Graf 24: Polygon empirického rozdělení relativních četností (obyvatelé ve věku 18–44 let).....	65
Graf 25: Polygon empirického rozdělení kumulativních četností (obyvatelé ve věku 18–44 let).....	65
Graf 26: Polygon empirického rozdělení absolutních četností (obyvatelé ve věku nad 45 let).....	71
Graf 27: Polygon empirického rozdělení relativních četností (obyvatelé ve věku nad 45 let).....	72
Graf 28: Polygon empirického rozdělení kumulativních četností (obyvatelé ve věku nad 45 let).....	72

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Dotazník

Dotazník

Dobrý den,

jmenuji se Tereza Černá a studuji Zdravotně sociální fakultu Jihočeské univerzity. Tento dotazník je součástí mé diplomové práce na téma „Informovanost obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina“. Dotazník je anonymní a bude sloužit pouze pro potřeby diplomové práce.

U každé otázky označte pouze jednu správnou odpověď. Předem děkuji za ochotu při jeho vyplňování.

Označte prosím svou věkovou kategorii:

- a) 18 – 44 let
- b) nad 45 let

1. V jakém roce došlo k havárii jaderné elektrárny Fukušima Daiiči?

- a) 1998
- b) 2004
- c) 2011
- d) 2015

2. Ve kterém státě k této havárii došlo?

- a) Čína
- b) Japonsko
- c) Rusko
- d) USA

3. Co bylo primární příčinou vzniku havárie?

- a) nevydařený experiment
- b) přírodní katastrofa
- c) technická závada
- d) lidská chyba

4. Jakým stupněm závažnosti pomocí mezinárodní stupnice INES byla tato havárie ohodnocena? (stupeň 0 – nejnižší závažnost, stupeň 7 – nejvyšší závažnost)

- a) stupeň 1
- b) stupeň 3
- c) stupeň 4
- d) stupeň 7

5. Kolik reaktorů bylo v době havárie v provozu?

- a) všech 6 reaktorů
- b) 3 reaktory
- c) 1 reaktor
- d) žádný

6. Jak velké území zasáhl radioaktivní spad z této havárie?

- a) areál elektrárny a širší okolí
- b) areál elektrárny
- c) celou Asii
- d) celou Severní Ameriku

7. Jak rozlehlá byla tzv. zakázaná zóna v okolí elektrárny?

- a) okruh 130 km
- b) okruh 70 km
- c) okruh 20 km
- d) okruh 3 km

8. Kolik obyvatel se v okolí elektrárny evakovalo?

- a) asi 11 000
- b) asi 116 000
- c) asi 602 000
- d) asi 1 000 000

9. Kolik osob zemřelo bezprostředně po havárii na následky ozáření?

- a) žádná
- b) 31 osob
- c) 88 osob
- d) 145 osob

10. Jaké radioaktivní látky představují z hlediska ozáření obyvatelstva největší zdravotní riziko?

- a) radioaktivní vzácné plyny krypton a xenon
- b) radioaktivní vzácný plyn argon
- c) radioaktivní jód a cesium
- d) radioaktivní dusík

11. Který orgán je nejvíce ohrožen ozářením v důsledku uvolnění radioaktivního jódu?

- a) plíce
- b) ledviny
- c) mozek
- d) štítná žláza