



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

Autor: Bc. Tereza Třešničková

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

České Budějovice 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem **Úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech** jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne 9. 8. 2022

.....

Tereza Třešničková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala v první řadě vedoucí mé diplomové práce Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D., za její odborné vedení, cenné rady a jistou dávku trpělivosti. Dále bych ráda poděkovala mé rodině a všem blízkým, kteří mi byli po celou dobu mého studia oporou a vždy mě podporovali. Nakonec patří můj dík všem zúčastněným na dotazníkovém šetření za jejich ochotu a čas při vyplnění dotazníku.

Úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech

Abstrakt

Tato diplomová práce je zpracována na téma Úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech.

Cílem práce je zjistit úroveň znalostí obyvatelstva o vybraných radiačních mimořádných událostech a následně porovnat znalosti obyvatelstva o havárii v Černobylu, Fukušimě a ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech. V rámci práce byly stanoveny dvě hypotézy: H1: Úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech budou dosahovat alespoň 70 % a H2: Znalosti obyvatelstva o haváriích v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima budou statisticky významně vyšší než informovanost o ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech.

K dosažení vymezených cílů a ověření hypotéz byl sestaven dotazník, proveden dotazníkový průzkum a následně pomocí metod deskriptivní a matematické statistiky vyhodnoceny výsledky. Dotazník obsahoval 16 otázek, první část se týkala havárií v Černobylu a Fukušimě, druhá část ostatních vybraných radiačních mimořádných událostí. Výzkumný soubor tvořilo 126 obyvatel žijících v Jihočeském kraji. Z výsledku šetření vyplývá, že celková úspěšnost zodpovězených otázek byla 55 %, což může být považováno za průměrný výsledek. První část dotazníku dosáhla úspěšnosti 72 %, druhá část měla 37% úspěšnost. Stanovených cílů bylo dosaženo. První hypotéza byla vyvrácena, druhá potvrzena.

Přínosem této diplomové práce je především získaný přehled o stavu úrovně znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech. Získané výsledky mohou být použity jako informační materiál.

Klíčová slova

Radiační mimořádná událost; radioaktivita; jaderná elektrárna; Černobyl; Fukušima

The level of population knowledge about selected radiation accidents in South Bohemian region

Abstract

This diploma thesis deals with the level of population knowledge about selected radiation accidents in South Bohemian region.

The goal is to determine the level of population knowledge about selected radiation accidents and then compare the knowledge about disaster in Chernobyl, Fukushima and the others selected radiation accidents. In the thesis were set two hypotheses: H1: The level of population knowledge about selected radiation accidents in South Bohemian region will reach at least 70 % and H2: The level of population knowledge about disasters in Chernobyl and Fukushima will be statistically significantly higher than the knowledge about the others selected radiation accidents.

To achieve the stated 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 16 questions. The first part of questionnaire was about disasters in Chernobyl and Fukushima, the second part was about the others selected radiation accidents. The survey consisted of 126 people living in South Bohemian region. The results of the survey show that the overall percentage of correctly answered questions was 55 %, which can be considered as an average result. 72 % of people answered the questions correctly in first part of questionnaire and 37 % in the second part. The set goals were achieved, first hypothesis was refuted and the second was confirmed.

The benefit of this diploma thesis is to obtain a summary of level of population knowledge about selected radiation accident in South Bohemian region. The results can be used as information material.

Key words

Radiation accident; radioactivity; nuclear power plant; Chernobyl; Fukushima

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 TEORETICKÁ ČÁST	9
1.1 Radioaktivita a ionizující záření.....	9
1.2 Biologické účinky ionizujícího záření	10
1.2.1 Tkáňové účinky záření.....	11
1.2.2 Stochastické účinky záření.....	13
1.3 Kontaminace radioaktivními látkami.....	14
1.3.1 Vnější kontaminace.....	14
1.3.2 Vnitřní kontaminace	15
1.4 Radiační mimořádná událost.....	16
1.5 Zvládání radiační mimořádné události.....	18
1.5.1 Ochranná opatření při RMU	18
1.5.2 Monitorování radiační situace v ČR	20
1.6 Vybrané radiační mimořádné události	21
1.6.1 Chalk River, Kanada 1952.....	21
1.6.2 Kyštym, Sovětský svaz 1957	22
1.6.3 Windscale, Velká Británie 1957	25
1.6.4 Jaslovské Bohunice A1, Československo 1976 a 1977	26
1.6.5 Three Mile Island, USA 1979.....	27
1.6.6 Černobyl, Ukrajina 1986.....	29
1.6.7 Goiânia, Brazílie 1987	36
1.6.8 Tokaimura, Japonsko 1988	37
1.6.9 Fukušima I, Japonsko 2011	38
2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY	41
2.1 Cíle práce	41
2.2 Hypotézy	41

3	METODIKA VÝZKUMU.....	42
3.1	Dotazníkové šetření.....	42
3.2	Statistické metody	42
4	VÝSLEDKY	44
4.1	Výsledky dotazníkového šetření	44
4.2	Parametrické testování – jednovýběrový t-test	55
4.3	Parametrické testování – dvouvýběrový t-test	56
5	DISKUSE.....	58
5.1	Diskuse k jednotlivým otázkám	58
5.2	Diskuse ke statistickému šetření	63
6	ZÁVĚR	65
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	66
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	73
9	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	74
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	76

ÚVOD

První jaderná elektrárna vyrábějící elektrickou energii byla zprovozněna v roce 1954 v bývalém Sovětském svazu ve městě Obninsk. Na konci roku 2019 bylo na celém světě v provozu celkem 447 výrobních bloků s jadernými reaktory a dalších 54 bloků bylo ve výstavbě (Oenergetice, 2020). Mezi první významnou havárii, při které došlo k rozsáhlé kontaminaci životního prostředí, se řadí událost z roku 1957 v jaderném komplexu Majak v Sovětském svazu. Tato havárie je řazena jako třetí nejvážnější na světě se stupněm 6 na Mezinárodní stupnici hodnocení závažnosti jaderných událostí INES. Před událost v Majaku jsou řazeny havárie na jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima, které dosáhly nejvyššího 7. stupně.

Jaderná energie je využívána i v jiných odvětvích, například se jedná o lékařské a průmyslové využití nebo jako pohon určitých dopravních prostředků, například jaderných ponorek a ledoborců či letadlových lodí. Příkladem radiační mimořádné události se zdrojem ionizujícího záření používaného ve zdravotnictví je incident z brazilské Goiâнии v roce 1987.

Cílem diplomové práce je zjistit úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech a následně porovnat znalosti obyvatelstva o havárii v Černobylu, Fukušimě a ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech.

Práce je rozdělena na teoretickou a výzkumnou část. V teoretické části jsou uvedeny základní pojmy v oblasti radioaktivity a ionizujícího záření. Vliv ionizujícího záření na lidské tělo, definice radiační mimořádné události, ochranná opatření a popis mezinárodní stupnice hodnocení jaderných událostí. Dále jsou zde popsány vybrané radiační mimořádné události, jejich příčiny, průběh i následky. Ve výzkumné části bylo za účelem dosažení stanovených cílů provedeno dotazníkové šetření mezi obyvateli Jihočeského kraje, jehož výsledky byly vyhodnoceny pomocí metod deskriptivní a matematické statistiky.

1 TEORETICKÁ ČÁST

V první polovině teoretické části jsou uvedeny obecné pojmy týkající se radioaktivity, ionizujícího záření, jeho vlivu na lidské tělo a radiačních mimořádných událostí a jejich řešení. Druhá část se zabývá samotnými vybranými radiačními mimořádnými událostmi, jejich příčinami, průběhem i důsledky.

1.1 Radioaktivita a ionizující záření

Přirozená radioaktivita je vlastnost některých atomů samovolně se přeměňovat na jádra jiných izotopů či prvků. Při této přeměně dochází k emitování vysokoenergetického ionizujícího záření, které je schopno při průchodu látkou způsobit její ionizaci, tzn. vytvořit z původně elektricky neutrálních atomů kladné a záporné ionty. Radioaktivní přeměna může být vyvolána i uměle například řízenou štěpnou reakcí. Ionizující záření se dělí na přímo a nepřímo ionizující. **Přímo ionizující záření** je tvořeno nabitými částicemi (protony, elektrony, pozitrony), které mají samy dostatečnou kinetickou energii k vyvolání ionizace prostředí. **Nepřímo ionizující záření** obsahuje nenabité částice (neutrony a fotony), které látky samy ionizovat nemohou, ale uvolňují sekundární přímo ionizující částice, které prostředí ionizují. Ionizující záření má tzv. duální charakter, tedy má vlastnosti částic i elektromagnetického vlnění. Mezi částicové (korpuskulární) záření patří alfa částice, beta částice a neutrony. Elektromagnetické vlnění zprostředkovává rentgenové a gama záření (Klener 2000; Matoušek, Österreicher a Linhart, 2007; Prouza a Švec, 2008).

Záření alfa je tvořeno rychle letícími kladnými jádry helia, tzv. heliony. Většina přirozeně radioaktivních prvků vydává právě záření alfa. Záření má schopnost silně ionizovat plyny, jeho pronikavost je velmi malá a může být odstíněno i obyčejným papírem. **Záření beta** tvoří proud elektronů a pozitronů rychle se pohybujících z jader. Jeho ionizační schopnost je nižší než u alfa záření. K odstínění beta záření je potřeba tenká vrstva například hliníku. **Záření gama** je velmi pronikavé elektromagnetické záření tvořeno krátkými vlnami. K odstínění gama částic je třeba silné vrstvy prvků s vysokým protonovým číslem. **Rentgenové záření** je také tvořeno fotony s krátkými vlnovými délkami. Jeho vlastnosti jsou podobné gama záření. **Neutrony** jsou elektricky neutrální částice nacházející se v jádře atomů. Při nárazu neutronu do jádra jiného atomu může být

neutron zcela zachycen (záchyt neutronu), odrazit jej v různých úhlech, nebo se jádro může vlivem neutronu rozštěpit na dva různě velké nestabilní fragmenty (Kusala, 2005; Prouza a Švec, 2008).

Jako **ochrana před ionizujícím zářením** jsou využívány 3 základní způsoby: ochrana časem, vzdáleností a stíněním. Hlavním cílem je snížení či úplné eliminování vzniku tkáňových a stochastických účinků. Nejúčinnější v ochraně před ionizujícím zářením je kombinace všech těchto tří způsobů (Klener, 2000).

V případě **ochrany vzdáleností** platí pravidlo, že dávkový příkon klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření. Tedy čím dále je člověk od zdroje ionizujícího záření, tím bezpečnější to pro něj je. Velikost dávky, které tělo absorbuje při vystavení ionizujícímu záření je závislá na době expozice. **Ochrana časem** tedy v praxi znamená, strávit u zdroje záření co nejkratší dobu. Při **ochraně stíněním** se využívají různé materiály v závislosti na druhu ionizujícího záření. (Klener, 2000).

1.2 Biologické účinky ionizujícího záření

Na buněčné úrovni se poškození ionizujícím zářením může projevit smrt buňky nebo změnou její cytogenetické informace. Tyto děje dále mohou vést k tkáňovým (deterministickým) či stochastickým účinkům záření (Havránková, 2020).

V prvotním ozáření organismu atomy a molekuly absorbují energii ze záření. Tato fáze je tzv. fyzikální. Následuje fáze fyzikálně-chemická, kdy v organismu vznikají volné radikály. Poté v chemické fázi vzniklé radikály a další produkty reagují s důležitými molekulami jako například s DNA a RNA a mění jejich složení a funkci. V poslední biologické fázi mohou nastat změny v buňkách, orgánech i organismu jako celku (Havránková, 2020).

Ionizující záření může poškodit téměř všechny buněčné orgány, nejzávažnější je však vliv na jadernou DNA. Záření způsobí jednoduché i dvojité zlomy dvoušroubovice. Jednoduché zlomy je buňka schopna si sama opravit, v případě dvojitých zlomů je reparace složitější a pokud jich záření způsobí více, může dojít k úplnému zničení buňky (Havránková, 2020).

1.2.1 Tkáňové účinky záření

Vznik tkáňových, dříve deterministických účinků po ozáření je podmíněn překročením určité prahové dávky. Současně s rostoucí dávkou roste i důsledek poškození. Tkáň tak svým projevem reaguje na ozáření. V souvislosti s velikostí dávky, kterou organismus obdrží, se rozlišuje několik akutních i pozdních klinických tkáňových projevů (Navrátil et al., 2011):

- akutní nemoc z ozáření,
- akutní poškození kůže,
- pokles fertility,
- účinky na plod,
- nenádorová pozdní poškození.

Akutní nemoc z ozáření (dále ANO) vzniká po celotělovém jednorázovém ozáření těla dávkou vyšší než 0,7 Gy. Klinické projevy ANO závisí nejen na dávce ale i na celkovém zdravotním stavu člověka, věku, pohlaví, dalších zraněních a onemocněních. Na základě velikosti absorbované dávky se ANO dělí na čtyři formy: dřevňová (hematopoetická), střevní, toxemická (cévní) a cerebrální. Průběh nemoci zahrnuje čtyři fáze: prodromální, kdy se objevují první nespecifické reakce na ozáření, latentní, tzv. bezpříznaková, manifestní, ve které dochází k plnému rozvoji specifických příznaků pro danou formu a fáze rekonvalescence. Ovšem k poslední fázi dochází pouze u dřevňové formy, u ostatních vzhledem k velikosti dávky neexistuje léčba (Navrátil et al., 2011; Havránková et al., 2020).

Dřevňová forma ANO se objevuje po ozáření dávkou od 0,7 do 10 Gy. Tato forma je nejpříznivější a pacient má šanci dostat se do fáze rekonvalescence. V prvotní tedy prodromální fázi se objevuje při nižších dávkách nechutenství, zvracení, průjem, při dávkách vyšších než 2 Gy malátnost, vysoké pocení, hypertermie, bolest hlavy, závratě, a další. Zároveň s vyšší dávkou příznaky nastupují rychleji. V latentní fázi nebývají pozorovány žádné příznaky, maximálně mohou nastat bolesti hlavy, únava. Délka této fáze je opět závislá na velikosti dávky. Při nízké dávce záření může trvat až 30 dní, při těžkém stupni onemocnění pouze 5 dnů. Pokud je pacient ozářen velmi vysokými dávkami, může latentní fáze zcela chybět. V manifestní fázi se naplno projeví příznaky dřevňové formy ANO, tedy hemoragický syndrom a infekce. Infekční onemocnění se projeví zpočátku celkovým zhoršením zdravotního stavu, dále slabostí, závratí, bolestmi

hlavy, zimnicí a nadměrným pocením. Dále nastávají poruchy spánku, nechutenství, nekrotické změny na kůži a sliznici úst a nosu. Klinickými příznaky hemoragického syndromu jsou krevní výrony v oblasti ústní sliznice a na kůži. Při těžké formě onemocnění může dojít i k letálnímu krvácení z nosu. Také se v manifestní fázi může objevit celková radiační intoxikace, autoimunitní poruchy či radiační alopecie, avšak příčinou úmrtí v této formě ANO bývá těžká infekce nebo vnitřní krvácení. Pokud u pacienta nastane fáze rekonvalescence dochází k úplné nebo částečné obnově funkcí organismu. Postupně se snižuje náchylnost ke krvácení, mizí nechutenství, zlepšuje se funkce gastrointestinálního traktu, člověk nabírá hmotnost. Délka léčby dřeňové formy ANO bývá od 3 do 6 měsíců, ovšem u člověka může docházet k pozdním změnám spojeným s ozářením (Havránková et al., 2020).

Střevní forma ANO vzniká při ozáření od 10 do 20 Gy. Při této formě je nejvíce zasaženo tenké střevo a tomu také odpovídá klinický obraz nemoci. Prodromální fáze je zpočátku podobná dřeňové formě, dochází k nechutenství, zvracení a průjmům. Časem se přidá silící slabost a již se začíná projevovat poškození střev. Pacient trpí silnými bolestmi břicha, průjmy, může dojít k oslabení žaludku a střev. Objevuje se také dlouho přetrvávající erytém na kůži a projevuje se její hypertermií. Délka prodromální fáze je v tomto případě asi 2–3 dny. Latentní fáze je v této formě velmi krátká, trvá maximálně 2 dny. V manifestní fázi nastává extrémní zhoršení zdravotního stavu, nastávají silné průjmy, vysoké teploty, funkce žaludku je oslabena, ve střevě dochází k poruchám resorpce živin. Člověk tím pádem rychle ubývá na váze, nastává dehydratace a intoxikace. Horšímu stavu pacienta přispívají střevní hemoragie a infekční onemocnění. Smrt nastává do 18. dne po ozáření v důsledku nefunkčnosti žaludku, střev, jejich neprůchodnosti, poruch homeostázy a kardiovaskulárního selhání (Havránková et al., 2020).

Toxemická (cévní) forma ANO nastává, pokud je člověk ozářen dávkou 20–50 Gy. Dochází při ní k poruchám proudění krve v krevním oběhu, tzv. hemodynamiky. Další příznaky, které se objevují jsou například vysoká propustnost cév, celková intoxikace organismu a rozpad tkání. Následují poruchy krevního oběhu v mozku, které mají za následek jeho otok, který neustupuje. Pacient má také málo okysličené nervové buňky. Jediná léčba toxemické formy ANO je symptomatická, tzn. snižování druhotných symptomů onemocnění. Smrt jedince nastává do 7. dne po ozáření (Havránková et al., 2020).

Po ozáření dávkou vyšší než 50 Gy nastává u člověka **cerebrální forma ANO**. Klinický příznak onemocnění je rozvoj tzv. cerebrálního radiačního syndromu, který je spojen s přímým radiačním poškozením buněk a poruchami hemodynamiky v mozku. Po ozáření takto vysokou dávkou jsou v těle nenávratně poškozeny neurony a cévy. Pacient trpí těžkým zvracením, průjmami, únavou a ztrácí vědomí. Projevují se příznaky otoku mozku, dochází k psychomotorickému neklidu, dezorientaci, ke křečím, k poruchám dýchání, a nakonec člověk upadá do kómatu. Jako terapie jsou člověku podávána například analgetika proti bolesti, antiemetika proti zvracení, ovšem smrt nastává do 48 hodin po ozáření z důvodu paralýzy dýchacího centra (Havránková et al., 2020).

Při **akutním poškození kůže** v důsledku radiačního ozáření může být poškozeno i podkožní vazivo, svaly, cévy a nervy. Akutní neboli časná radiační dermatitida vzniká po ozáření prahovou dávkou nad 3 Gy. V prvotní fázi onemocnění se na kůži objeví erytém, který ale při velmi nízkých dávkách může chybět. Poté následuje fáze latence, kdy kůže vypadá nepoškozena. V manifestní fázi se v závislosti na dávce objevuje vlhká dermatitida, otok kůže, sekundární erytém, puchýře, vředy, lokální krvácivost a nekróza. V nejzávažnějších případech se přistupuje k chirurgickému ošetření či amputaci (Havránková et al., 2020).

Poruchy fertility znamenají pokles plodnosti. Prahová dávka se liší v závislosti na pohlaví. U mužů nastává pokles při překročení 0,5 Gy, u žen nad 2 Gy. Při **účinku na plod** závisí prahová dávka na době uplynuté od početí, ale může být již od 100 mGy (Navrátil et al., 2011).

Mezi **pozdní nenádorová poškození** se řadí chronické poškození kůže, které se projevuje její suchostí, praskáním a křehkostí. Dále mezi tato poškození patří zákal oční čočky, jehož vznik je pozorován již po jednorázové dávce 1 Gy (SÚJB, b. rc.).

1.2.2 Stochastické účinky záření

K výskytu stochastických účinků dochází až po poměrně dlouhé době od ozáření. Objevují se s určitou pravděpodobností úměrnou ozáření. Tyto účinky jsou vyvolány mutacemi, tedy změnami v genetické informaci buňky. Mají bezprahový charakter, tzn., že pro jejich vznik existuje mezi dávkou a účinkem lineární vztah a s dávkou tedy roste pravděpodobnost poškození. Stochastické účinky jsou tedy pravděpodobné

či náhodné a nikdy se nedá na 100 % určit, že vznik poškození je zapříčiněn právě ionizujícím zářením. Do stochastických účinků ionizujícího záření můžeme zařadit zhoubné nádory, genetické změny v dalších generacích a mutace (Navrátil, 2011; SÚJB, b. rc.).

1.3 Kontaminace radioaktivními látkami

Kromě zevního ozáření je další expoziční cestou kontaminace radionuklidy. Kontaminace znamená přítomnost radionuklidu na povrchu nebo uvnitř organismu. Při jaderné havárii dochází současně k celotělovému ozáření i k vnější a vnitřní kontaminaci radionuklidy, které mají různé fyzikální i metabolické vlastnosti, a tím pádem i rozlišné biologické následky (Havránková et al., 2020).

Klinický a laboratorní obraz je ovlivněn kombinací celotělového ozáření a kontaminace. První projevy poškození jsou způsobeny zevním ozářením, s určitým časovým zpožděním pak nastupují projevy poškození po vnější a vnitřní kontaminaci. K těmto projevům ozáření se často připojují i popáleniny či jiná poranění a vzniká tzv. kombinované radiační poškození organismu (mixty) (Havránková et al., 2020).

1.3.1 Vnější kontaminace

K vnější neboli povrchové kontaminaci dochází při znečištění povrchu těla radionuklidy. V tomto případě může jít o přírodní zdroje, například radionuklidy draslíku 40, radium 226 nebo radon 222. Mnohem nebezpečnější jsou ale radionuklidy uvolněné při radiačních mimořádných událostech nebo po výbuchu jaderné zbraně. Těmi jsou například jód 131, cesium 134 a 137, stroncium 89 a 90, kobalt 60 a plutonium 239. Poškození v případě vnější kontaminace hrozí na ozářené kůži, očních spojivkách a na sliznicích úst a nosu. Samotná kůže vykazuje na různých místech odlišnou radiosenzitivitu. Dalšími faktory, které mohou ovlivnit kožní reakci jsou celkový zdravotní stav organismu, složení kontaminantů a stav kůže – záleží na tom, jestli je porušená či nikoliv (Havránková et al., 2020).

1.3.2 Vnitřní kontaminace

K vnitřní kontaminaci organismu dochází v případě vdechnutí či požití radioaktivní látky nebo pokud projdou do těla přes poraněnou kůži nebo sliznice. V případě průniku radioaktivní látky do lidského organismu je její účinnost snižována jejich fyzikální přeměnou a biologickým vyloučením. Proto jsou pro člověka v okamžiku vnitřní kontaminace nebezpečnější radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu a s pomalým vylučováním. Některé radionuklidy v těle působí specificky, příkladem může být jód 131, který je absorbován štítnou žlázou, nebo stroncium 90 vstupující do kostí (Havránková et al., 2020).

V případě **inhalační kontaminace** radioaktivními látkami jsou radionuklidy vdechovány ve formě plynů a aerosolů spolu se vzduchem. Asi polovina vdechnutých částic je zachycena v horních cestách dýchacích, odkud putují do dutiny ústní a odsud do zažívacího traktu. U zbytku částic záleží na jejich velikosti. Velké částice jsou zachyceny již v nosní dutině a hltanu, nejmenší se mohou dostat až do plicních sklípků odkud putují krevním či lymfatickým řečištěm do tělesných orgánů (Havránková et al., 2020).

Ke **kontaminaci zažívacím traktem**, k tzv. *ingesci* dochází v případě požití kontaminovaných tekutin či potravy. Většina radioaktivních látek se do těla vstřebává přes stěnu tenkého střeva a jen malé množství přes stěnu tlustého. Téměř 100% vstřebatelnost má jód 131 a cesium 137, ze 60 % se vstřebává stroncium 90. Pokud se izotop není schopen dostat do těla ani přes stěnu tlustého střeva, působí negativně ve formě zánětu právě tam (Havránková et al., 2020).

Ke **kontaminaci kůží** může dojít jen tehdy, pokud je kůže poraněna. Přes neporušenou kůži se radionuklidy do organismu nejsou schopny dostat. Radioaktivní látka se dostane ránou na kůži přes krevní řečiště do celého těla, a navíc může zhoršit průběh hojení poraněného místa. Sliznice, přes které se do těla radionuklidy mohou dostat jsou v nose a ústech (Havránková et al., 2020).

Vlastnosti radionuklidů určují jejich další osud v organismu. Vylučování těchto látek probíhá především močí, stolicí, mazovými a potními žlázami, slinami a popřípadě mateřským mlékem. Látky lehce rozpustné jsou vyloučeny močí, látky nerozpustné se dostávají žlučí z jater do tenkého střeva a dále do stolice. Radionuklidy se dají dle jejich distribuce v organismu rozdělit do čtyř skupin na látky (Havránková et al., 2020):

- rovnoměrně rozdělené – sodík, draslík, cesium;
- deponované v kostech – vápník, stroncium, plutonium;
- deponované v retikuloendoteliálním systému – lanthan, cer;
- deponované selektivně – jód ve štítné žláze.

1.4 **Radiační mimořádná událost**

Dle § 4 zákona 263/2016 Sb., atomový zákon (dále jen atomový zákon), se pojmem radiační mimořádná událost (dále jen RMU) označuje „*událost, která vede nebo může vést k překročení limitů ozáření a která vyžaduje opatření, jež by zabránila jejich překročení nebo zhoršování situace z pohledu zajištění radiační ochrany.*“ Dle atomového zákona se RMU dělí na:

- radiační mimořádnou událost prvního stupně,
- radiační nehodu,
- radiační havárii.

RMU prvního stupně je dle atomového zákona § 4 odst. 1 písm. b) „*radiační mimořádná událost zvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla.*“ Radiační nehodou se rozumí dle atomového zákona § 4 odst. 1 písm. c) „*radiační mimořádná událost nezvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla, nebo vzniklá v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, která nevyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.*“ Radiační havárie je dle atomového zákona § 4 odst. 1 písm. d) „*radiační mimořádná událost nezvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla, nebo vzniklá v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, která vyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.*“

Pro možnost hodnocení závažnosti jaderných událostí byla zavedena Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA) v roce 1991 ve Vídni tzv. **stupnice INES** (z anglického International Nuclear Event Scale). Slouží především pro objektivní, rychlé

a srozumitelné zhodnocení jaderné události a informování obyvatelstva o její závažnosti. Stupnice má 7 stupňů (obr. 1), přičemž 7. stupeň je nejhorší. Události, které nemají žádný bezpečnostní význam, jsou označeny jako odchylka stupněm 0, pod stupnicí. Události zařazené do stupňů 1 až 3 se nazývají nehody a události od 4. do 7. stupně havárie (Kolektiv autorů, 2015).



Obr. 1: Mezinárodní stupnice hodnocení jaderných událostí (Eduportál, b. ra.)

Dle atomového zákona jsou kategorizována jaderná zařízení, pracoviště se zdroji ionizujícího záření nebo činnosti v rámci expozičních situací do **kategorie ohrožení A** až **E** (Zákon č. 263/2016). Pravidla pro zařazení do jednotlivé kategorie jsou podrobně vypsána v § 2 ve vyhlášce č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události:

„do kategorie ohrožení A se zařazuje energetické jaderné zařízení,

do kategorie ohrožení B se zařazuje jaderné zařízení, které nepatří do kategorie ohrožení A, a pracoviště IV. kategorie, kromě pracoviště s jaderným zařízením, na němž může vzniknout radiační havárie,

do kategorie ohrožení C se zařazuje jaderné zařízení nebo pracoviště se zdroji ionizujícího záření, na němž nemůže vzniknout radiační havárie,

do kategorie ohrožení D se zařazuje činnost v rámci expozičních situací, včetně nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje nebo přepravy radioaktivní nebo štěpné látky, která může být příčinou vzniku radiační nehody nebo radiační havárie na nepředvídatelném místě, a tím i havarijního ozáření,

do kategorie ohrožení E se zařazují oblasti na území České republiky, na kterých mohou být realizována ochranná opatření pro obyvatelstvo v důsledku radiační havárie vzniklé na jaderném zařízení nebo pracovišti se zdroji ionizujícího záření umístěném na území státu sousedícího s Českou republikou.“

1.5 Zvládání radiační mimořádné události

Při zvládání RMU se uplatňují především mezinárodní dokumenty a doporučení, které vydává Mezinárodní agentura pro atomovou energii se sídlem ve Vídni. V České republice radiační ochranu a jadernou bezpečnost a implementaci těchto doporučení zajišťuje Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) spolu se Státním ústavem radiační ochrany (SÚRO). Základním legislativním dokumentem v této oblasti je Vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládání radiační mimořádné události. V této vyhlášce jsou například zpracovány předpisy Evropského společenství pro atomovou energii (Euratom), dále jsou zde uvedena pravidla pro zařazení jaderného zařízení do kategorie ohrožení nebo postupy a opatření pro zvládnutí RMU (Prouza a Švec 2008; Vyhláška č. 359/2016 Sb.).

1.5.1 Ochranná opatření při RMU

Ochranná opatření při RMU jsou souborem akcí, které mají v případě radiační havárie za úkol vyloučit či snížit možnost ozáření obyvatelstva. Z hlediska časové naléhavosti se ochranná opatření dělí na **neodkladná** a **následná**. Mezi neodkladná opatření se řadí ukrytí, jodová profylaxe a evakuace obyvatelstva. Následná opatření se zavádějí především pro sledování regulace vnějšího ozáření osob ze zamořeného okolí a ozáření vnitřního z kontaminované potravy a vody. Řadíme sem například regulace vybraných potravin, krmiv, jejich kontrola, dále regulace zemědělské rostlinné produkce a v případě vysoké kontaminace a zamoření okolí radioaktivními látkami je nutné přechodné či trvalé

přesídlení obyvatelstva. Poslední ze jmenovaných ochranných opatření, tedy trvalé přesídlení obyvatelstva, bylo použito v okolí jaderné elektrárny Černobyl po havárii v dubnu roku 1986 (Vyhláška č. 422/2016 Sb.; SÚRO, 2022).

Neodkladné opatření **ukrytí** je zvoleno v případě, že hrozí, či již nastal únik radioaktivních látek a dále se atmosférou šíří k obydlím lidí. Obyvatelům je v tomto případě doporučeno provést ukrytí improvizovaným způsobem, tedy s využitím přirozených ochranných vlastností budov. Případně je také možno provést úpravy, které zabrání průniku radioaktivních látek, jakými jsou: utěsnění oken a dveří např. lepicí páskou, či vypnutí ventilace. Pokud se člověk v okamžiku vyhlášení ukrytí nachází venku, musí urychleně vyhledat nejbližší budovu a ukrýt se. V domě je žádoucí ukrýt se ve sklepních prostorech nebo v místnosti bez oken na odvrácené straně od úniku radioaktivních látek (Kolektiv autorů, 2015; SUJB, b. ra.).

Jodová profylaxe je způsob, jak zamezit poškození štítné žlázy radioaktivním jódem. Radioaktivní jód je jedním z radionuklidů unikajících v případě havárie na jaderném zařízení. Abychom předešli akumulaci radioaktivního jódu ve štítné žláze, jsou podány tablety jodidu draselného (obr. 2), který obsahuje neradioaktivní jód, který zasytí štítnou žlázu. Úplná ochrana jodovou profylaxí nastane v případě, pokud jsou tablety jodidu draselného podány v dostatečném předstihu, před příjmem radioaktivního jódu. Tablety by neměly být podány osobám, u kterých byla dříve prokázána vysoká citlivost na jodové preparáty, nebo které se léčí anebo léčily s poruchou štítné žlázy (KŘ Vysočina, 2022).



Obr. 2: Tablety jodidu draselného (TV Piešťany, 2017)

Evakuace je definována v § 12 vyhlášky Ministerstva vnitra č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva. Dle této vyhlášky *se evakuací zabezpečuje přemístění osob, zvířat, předmětů kulturní hodnoty, technického zařízení, případně strojů a materiálů k zachování nutné výroby a nebezpečných látek z míst ohrožených mimořádnou událostí.*

Dle vyhlášky č. 380/2002 Sb. můžeme evakuaci rozdělit podle několika různých hledisek.

Dle evakuovaného prostoru na:

- **objektovou**, tedy evakuaci jedné budovy, malého počtu budov, technologických provozů nebo celků;
- **plošnou**, která se provádí z větších územních celků.

Dle doby trvání na:

- **krátkodobou**, v případech, kdy událost nevyžaduje dlouhodobé opuštění obydlí a není nutné pro evakuované osoby zajišťovat náhradní ubytování;
- **dlouhodobou**, kdy událost vyžaduje opuštění domova na déle než 24 hodin a je zajišťováno nouzové ubytování a opatření k zajištění nouzového přežití.

Dle způsobu realizace na:

- **neřízenou**, kterou provádí obyvatelé z vlastní vůle pomocí vlastních prostředků;
- **řízenou**, kdy evakuaci zajišťují orgány za ni zodpovědné.

Dle provedení předchozího ukrytí na:

- **přímou**, která se provádí bez předchozího ukrytí;
- **s ukrytím.**

1.5.2 Monitorování radiační situace v ČR

Státní úřad pro jadernou bezpečnost řídí celostátní Radiační monitorovací síť, která zajišťuje hodnocení radiační situace v případě radiační havárie a tím pádem umožňuje snazší rozhodování o opatřeních vedoucí ke snižování či odvrácení možného ozáření. Samotné monitorování zajišťuje vedle SÚJB i SÚRO, provozovatelé jaderných

elektráren, ministerstvo financí, ministerstvo obrany, ministerstvo vnitra, ministerstvo zemědělství a ministerstvo životního prostředí. Data získaná z monitorování jsou shromažďována v prostředí nazvaném MonRaS, neboli **Monitorování Radiační Situace**. V systému jsou také výsledky měření vzorků životního prostředí, obsah radionuklidů v ovzduší a potravinách, pitné vodě a krmivech, Zveřejňování dat z tohoto systému v rámci Evropy a dalších míst světa je umožněno prostřednictvím evropské databáze EURDEP (The European Radiological Data Exchange Platform). Členské státy Evropské unie musí data zveřejňovat dle rozhodnutí Rady EU č. 87/600/Euratom a doporučením komise EU 2000/473/Euratom. Zveřejňování dat ostatních zemí je na dobrovolném rozhodnutí (SUJB, 2019).

1.6 Vybrané radiační mimořádné události

Mezi první významné havárie, při kterých došlo ke kontaminaci životního prostředí, patří událost z roku 1952 ve výzkumném středisku Chalk River v Kanadě a v jaderném komplexu Majak v Sovětském svazu v roce 1957. K nejzávažnějším událostem se řadí havárie jaderných elektráren Černobyl a Fukušima.

1.6.1 Chalk River, Kanada 1952

První závažná jaderná havárie se odehrála v laboratorním výzkumném středisku Chalk River ležící v Kanadě zhruba 200 kilometrů od města Ottawa. Tento komplex vznikl za spolupráce Kanadčanů, Američanů a Britů při vývoji atomové bomby v období II. světové války (Havránková et al., 2020).

Ve středisku byly prováděny pokusy na dvou těžkovodních reaktorech. První závažná havárie se odehrála 12. prosince roku 1952, kdy se jeden ze zaměstnanců pokusil vytáhnout z reaktoru regulační tyče a tím zvýšit výkon reaktoru. Tyče se mu však nepodařilo zasunout zpátky, zůstaly v horní poloze, následkem čehož se začala přehřívat aktivní zóna a tavit palivové elementy. V důsledku vysokých teplot na povrchu palivových článků došlo k rozkladu vody na kyslík a vodík, jenž spolu vytvořily výbušnou směs, která asi o jeden metr posunula víko reaktoru. Do sklepení reaktorové budovy se dostalo přes 4 000 litrů kontaminované vody, ze které se část dostala přes

kanály do řeky Ottawy. Celkový únik radionuklidů z elektrárny byl odhadnut na 370 TBq (Oenergetice, 2015).

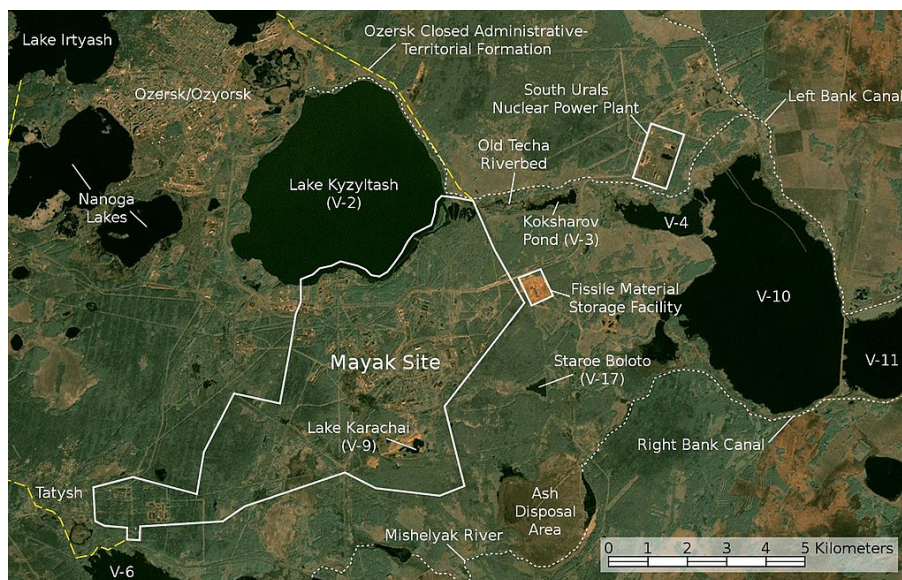
Při havárii, která byla na stupnici INES zařazena do 5. stupně nepřišel nikdo o život. Pracovníci elektrárny byli dlouhodobě sledováni, ale u žádného z nich se neobjevily zdravotní potíže, které by mohly být spojeny s havárií. V současné době slouží komplex laboratoří Chalk River stále k jadernému výzkumu, avšak reaktor, na kterém se havárie odehrála je již vyřazen z provozu (Oenergetice, 2015).

1.6.2 Kyštym, Sovětský svaz 1957

Kyštymská havárie, která se odehrála 29. září 1957 v jaderném komplexu Majak v Sovětském svazu, patří mezi první významnou událost, při které došlo k rozsáhlé kontaminaci životního prostředí radioaktivním materiálem. Zároveň je řazena jako třetí nejvážnější havárie na světě se stupněm 6 na Mezinárodní stupnici hodnocení závažnosti jaderných událostí INES. Před tuto událost jsou řazeny havárie na jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima, které dosáhly nejvyššího 7. stupně. (VTM, 2019).

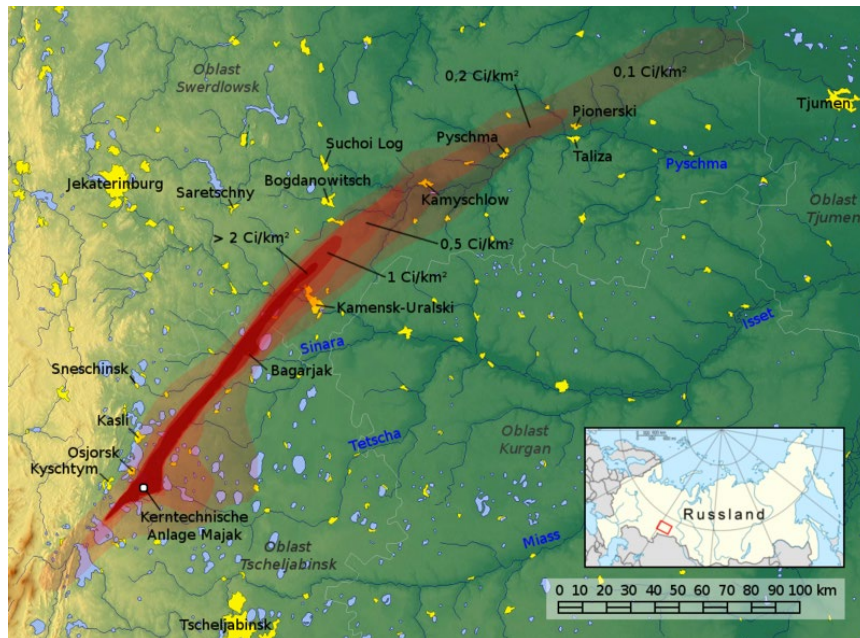
Majak je závod zpracovávající radioaktivní materiál nacházející se poblíž města Ozjorsk (obr. 3) v Čeljabinské oblasti v dnešní Ruské federaci, dříve Sovětský svaz. Do provozu byl uveden již v roce 1948 a zpočátku zde probíhalo především přepracování vyhořelého paliva z jaderných elektráren, ponorek a ledoborců, dále výroba radioizotopů či izotopových zdrojů, zejména obohacený uran pro jaderné elektrárny a plutonium pro jaderné zbraně. Od konce 80. let 20. stol. se Majak zabývá i obranným průmyslem, a to díky politickým a ekonomickým změnám (US-Russian Joint Coordinating Committee for Environmental Restoration and Waste Management, 2013).

Samotné město Ozjorsk bylo v době havárie tzv. uzavřeným městem, a platily zde přísné podmínky pro pobyt a pohyb osob. Často se u těchto měst tajila i jejich poloha kvůli vojenským a průmyslovým zařízením. Stejně tak bylo utajováno i město Ozjorsk, které nebylo k nalezení v mapách. Z tohoto důvodu je také havárie nazývána Kyštymská, podle nejbližšího veřejného města, Kyštym, vzdáleného asi patnáct kilometrů od závodu (VTM, 2019).



Obr. 3: Areál jaderného komplexu Majak (Wikipedia, 2010)

Nejspíše v roce 1953 bylo v areálu postaveno zařízení na skladování kapalného jaderného odpadu. Do této doby byla jako odpadiště využívána nedaleká jezera Kyzyltaš a Karačaj a řeka Teča. Zařízení na jaderný odpad se skládalo z ocelové nádrže na betonovém podkladu umístěném asi osm metrů pod zemí. Nádrže byly kvůli rozpadovému teplu neustále zahřívány, proto bylo kolem každé z nich dvacet chladících tanků. O tři roky později, tedy v roce 1956, v jedné z nádrží, která obsahovala asi 80 tun kapalného radioaktivního odpadu, selhal systém chlazení, opraven však nebyl. Teplota v nádrži stoupala, začalo docházet k odpařování a následně k chemické explozi nádrže. Síla výbuchu je odhadována na 70–100 tun TNT a do ovzduší uniklo odhadem 800 PBq radioaktivity, z nichž se většina usadila v nejbližším okolí, ale radioaktivní mrak o aktivitě asi 80 PBq se pohyboval dále směrem na severovýchod. V následujících 10 hodinách se radioaktivní oblak dostal až do vzdálenosti 350 km a dlouhodobě kontaminoval plochu o rozloze 800–20 000 km², především radioizotopy cesia 137 a stroncia 90. Oblast, kterou radioaktivní oblak kontaminoval (obr. 4) je nazývána Východouralská radioaktivní stopa (EURT) (VTM, 2019).



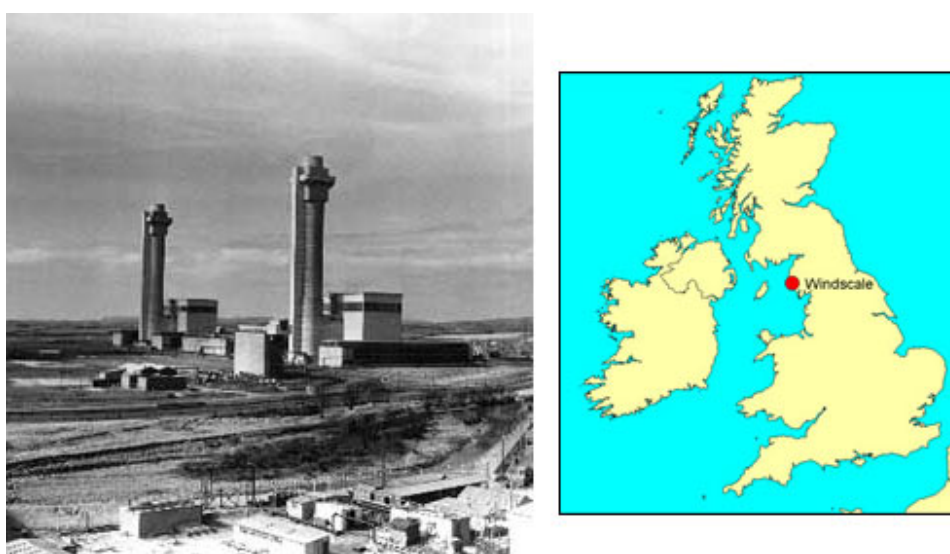
Obr. 4: Mapa Východouralské radioaktivní stopy (Wikipedia, 2010)

Po týdnu byly tajně evakuovány čtyři vesnice zasažené radioaktivitou, další evakuace proběhla až 250 dní po havárii. Celkem bylo evakuováno přibližně 10 tisíc obyvatel z 22 vesnic. Úplně poslední lidé byli vystěhováni až téměř 2 roky po havárii. Ozářeno bylo s jistotou několik tisíc lidí, ale přesný počet obětí havárie není znám. Sovětská vláda plánovala havárii pro celý svět utajit. Zprávy o události se v západním tisku začaly lehce objevovat v roce 1958. Nicméně až v roce 1976 havárii potvrdil sovětský biochemik Žores Medveděv, v té době emigrant žijící ve Velké Británii. Navíc po zveřejnění některých svazků CIA v 70. letech minulého století vyšlo najevo, že americká vláda věděla o havárii již od roku 1959, tajila ji ale z důvodu ochrany svého jaderného průmyslu (Echo24, 2014).

V současnosti je Majak součástí ruské Státní korporace pro atomovou energii Rosatom a zaměstnává zhruba 14 tisíc lidí. Rosatom je komplex propojených výrobních závodů zabývajících se například chemickou, hutní a radiochemickou výrobou, výrobou radioizotopů pro lékařské účely, reaktorů nebo přepracováním jaderného paliva (Mayak, 2022).

1.6.3 Windscale, Velká Británie 1957

Po II. světové válce usilovala Velká Británie s pomocí USA o získání jaderné zbraně. Roku 1952 byl proveden první úspěšný test britské plutoniové bomby. Za účelem výroby plutonia byly v severozápadní části Británie ve vojenském jaderném komplexu Sellafield, vybudovány dva reaktory – Windscale 1 a 2 (obr. 5). Krátce po objevení vodíkové bomby byly tyto dva reaktory přebudovány na výrobu tritia. Kvůli velkému tlaku vlády na rychlé dokončení výstavby spolu s minimálními zkušenostmi s jadernými reaktory byly zanedbány některé faktory jaderné bezpečnosti a možné hrozby byly záměrně zlehčovány (Oenergetice, 2015).



Obr. 5: Komplex jaderných reaktorů Windscale a jejich poloha (Radioactivity, b. r.)

8. října roku 1957 došlo v důsledku lidské chyby k přehřátí palivových článků v aktivní zóně. Poté se vznítily jejich povrchy z hořčikové slitiny a následný požár trval 4 dny. Po uhašení bylo zjištěno, že bylo zničeno 8 % paliva v reaktoru a do okolí komplexu uniklo přes 13 000 TBq radioaktivních látek. Havárie je řazena na 5. stupeň stupnice INES, podobně jako havárie elektrárny Three Mile Island (Havránková et al., 2020).

12. října byl v návaznosti na havárii vydán zákaz konzumace mléka v okolí elektrárny, odvolán byl po 44 dnech. Reaktor po havárii nebyl nikdy znovu spuštěn a v současné době se zaměřuje na konec palivového cyklu, především na nakládání s radioaktivním odpadem a použitým jaderným palivem (Radioactivity, b. r., Oenergetice, 2015).

1.6.4 Jaslovské Bohunice A1, Československo 1976 a 1977

Jaderná elektrárna Jaslovské Bohunice A1 je součástí komplexu tří jaderných elektráren s celkem pěti reaktory. Nachází se u stejnojmenné obce na území Slovenské republiky asi 20 km od krajského města Trnava (obr. 6). Části elektrárny jsou označovány A1, V1 a V2, přičemž A1 byla tvořena jedním reaktorem KS-150, V1 dvěma reaktory VVER 440/V230 a V2 dvěma reaktory VVER 440/V213. První dvě části jsou již vyřazeny z provozu a jejich reaktory jsou tudíž odstavené (Atominfo, 2015).



Obr. 6: Poloha jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice (Wikimedia Commons, 2005)

Reaktor KS-150, použitý v části elektrárny A1, byl sovětské konstrukce, vyroben kompletně v ČSR. Jeho výstavba začala v roce 1958 a připojení na elektrickou síť proběhlo v roce 1972 a stal se tak první jadernou elektrárnou na území tehdejšího Československa (Atominfo, 2015).

V 70. letech minulého století se v elektrárně udály dvě závažné havárie. První událost proběhla 5. ledna 1976. V tento den kvůli nedostatečně zasunutým palivovým článkům unikl z reaktoru radioaktivní oxid uhličitý. Celý objekt byl okamžitě evakuován, ale z důvodu uzamčení nouzového východu ve spodní části budovy se dva ze zaměstnanců udusili (Havránková et al., 2020).

Ke druhé události v elektrárně došlo o rok později – 22. února 1977. Pracovníci elektrárny zjistili, že v jednom palivovém článku je roztržený sáček se silikagelem, určeným

k vysoušení vlhkosti. Vysypaný materiál okamžitě uklidili, ovšem nedostatečně. Zbýlý silikagel utěsnil kanály, skrz které proudilo chladivo, reaktor se v těchto místech začal přehřívat a následně se začal tavit palivový článek. Nakonec se roztavila i stěna kanálku, ve kterém se nacházel článek, začala unikat radioaktivní voda a její nedostatek způsobil roztavení dalších článků. Radioaktivní vodou byl kontaminován primární i sekundární okruh elektrárny a havárie byla na stupnici INES ohodnocena stupněm 4 (Atominfo, 2015; Havránková et al., 2020).

Po vyhodnocení druhé havárie bylo rozhodnuto o ukončení provozu elektrárny A1. Vyřazování elektrárny A1 bylo rozděleno do pěti etap, které by měly být dokončeny v roce 2033. V současnosti jsou hotovy práce z druhé etapy, které zahrnovaly především likvidace technologických zařízení elektrárny a stavebních konstrukcí a zpracování radioaktivních odpadů. Nyní mohou riziko představovat nádrže s radioaktivními kaly a pevné radioaktivní odpady (Atominfo, 2015).

1.6.5 Three Mile Island, USA 1979

Jaderná elektrárna Three Mile Island leží v USA na stejnojmenném ostrově uprostřed řeky Susquehanna asi 16 kilometrů od hlavního města státu Pensylvánie Harrisburg (obr. 7). Elektrárna byla postavena v roce 1974 a o čtyři roky později byly uvedeny do provozu dva tlakovodní reaktory označené TMI-1 a TMI-2, oba o výkonu 1 000 MW. (Eduportál, b. rb.).



Obr. 7: Jaderná elektrárna Three Mile Island (Ekolist, 2022)

28. března roku 1979 kolem čtvrté hodiny ranní se pracovníkům jaderné elektrárny nepodařilo zavřít tlakový ventil v reaktoru na druhém bloku elektrárny. Z otevřeného ventilu začala unikat stále se ohřívající radioaktivní voda. Z tohoto důvodu se do provozu automaticky uvedla čerpadla nouzového chlazení. Sama o sobě by tato opatření byla dostačující pro zvládnutí krize, avšak obsluha ve velínu elektrárny vypnula systém nouzového chlazení z důvodu chybně přečteného hlášení. Obsluha poté provedla sérii dalších chyb, které spolu s technickými nedostatky vedly k úniku radioaktivity do životního prostředí a také k roztavení části aktivní zóny. Kolem osmé hodiny ranní se informace o havárii dostaly na veřejnost, přestože společnost, vlastníci elektrárny, havárii zlehčovala a tvrdila, že mimo areál elektrárny nebyla detekována žádná radiace. Přesto ještě ten stejný den byla v okolí areálu elektrárny naměřena zvýšená úroveň radiace v důsledku úniku kontaminované vody. Operátoři obsluhující elektrárnu si až ve večerních hodinách uvědomili, že je třeba opět dostat vodu do aktivní zóny a znovu tedy spustily čerpadla, teplota následně začala klesat a tlak v reaktoru se snížil. Naštěstí nebyl roztaven ochranný obal reaktoru. Zvládnutí celé situace ale trvalo celý týden, jelikož se v horní části reaktoru utvořila bublina obsahující vodík, která bránila úplnému dochlazení aktivní zóny. Po několika dnech od počátku havárie byla vyhlášena evakuace dětí a těhotných žen a ostatním obyvatelům bylo doporučeno nevycházet z domu (Havránková et al., 2020; History, 2021).

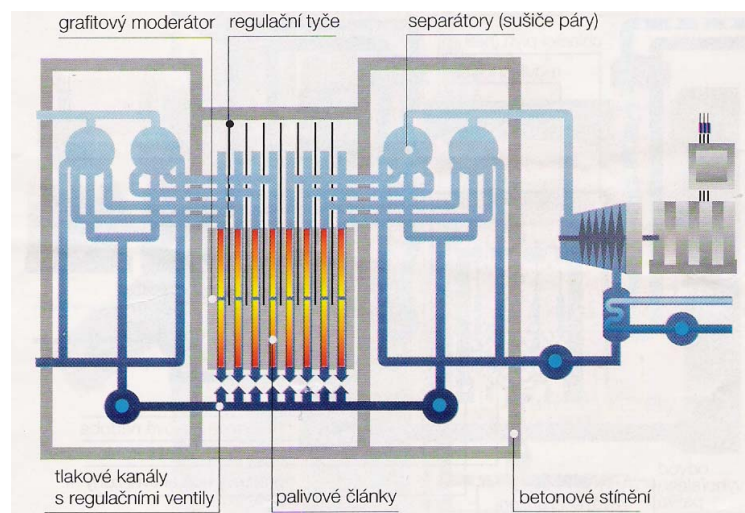
Havárie elektrárny Three Mile Island byla ohodnocena 5. stupněm na stupnici INES, avšak únik radiace mimo elektrárnu byl velmi nízký a havárie se obešla bez ztrát na životech. Negativní dopad, především na americký jaderný průmysl, ovšem způsobil velký mediální zájem, který zapříčinil paniku v celých Spojených státech. Důvěra obyvatel v jadernou energetiku byla oslabena natolik, že Američané začali stavět nové jaderné reaktory znovu až v roce 2012, tedy více než třicet let po havárii. Celková likvidace havárie trvala 12 let a druhý blok byl po svém částečném roztavení natrvalo vyřazen z provozu. První blok elektrárny Three Mile Island pokračoval v provozu až do roku 2019, kdy byl také odstaven (History, 2021; Office of Nuclear Energy, 2022).

1.6.6 Černobyl, Ukrajina 1986

K doposud nejhorší jaderné havárii došlo 26. dubna roku 1986 v Černobylské jaderné elektrárně, nacházející se severozápadně od města Černobyl na Ukrajině, která v té době byla součástí Sovětského svazu. Výstavba elektrárny, tehdy nazvané Černobylská jaderná elektrárna V. I. Lenina, začala v roce 1970 a byla považována za nejlepší a nejspolehlivější jaderný závod v celém Sovětském svazu. Pro stavbu elektrárny byl vybrán odlehlý region v celkem pusté lokalitě. Jedním z důvodů výběru této lokality byl ten, že se nacházela poměrně blízko hlavního města Kyjev, ale přesto, v případě bezpečnostního problému v dostatečné vzdálenosti od něj. Ve vzdálenosti 3 km od elektrárny bylo vybudováno město Pripjať, pojmenované po zdejší řece, sloužící jako dostupný zdroj vody pro elektrárnu. Účelem města bylo ubytování asi 50 000 zaměstnanců elektrárny a jejich rodin (Leatherbarrow, 2016).

Roku 1977 byl do provozu uveden první reaktor. Další tři bloky, a tedy reaktory byly uvedeny do provozu v letech 1978, 1981 a 1983. Všechny čtyři reaktory byly typu RBMK-1000, tzv. kanálový reaktor velkého výkonu (obr. 8). Jednalo se o poměrně nový sovětský typ, se dvěma parními turbínovými generátory, dohromady o výkonu 1 000 MW. Reaktory byly chlazeny vodou, moderovány grafitem a palivové tyče uloženy v kanálech byly slabě obohaceny uranem. Chladicí voda v kanálech také zároveň vytvářela páru pro pohon turbíny. Reaktory však byly technicky velmi nedostačující. Pro zabránění úniku radioaktivních látek z reaktoru fungují v moderních typech minimálně čtyři ochranné bariéry. Prvními z nich jsou samotné palivové pelety a pouzdra palivových tyčí. Třetí bariéra, tedy kovové stínění obklopující tlakové nádoby, chrání aktivní zónu,

ve které probíhá štěpná reakce. Čtvrtou bariérou je betonová či ocelová budova kontejnmentu, která může být silná i několik metrů. Jejím účelem je chránit reaktor z venku, například před nárazem letadla, ale i zabránit případnému úniku radioaktivních látek. Typ RBMK běžně nemá tlakovou nádobu, tím pádem má nechráněnou aktivní zónu, a chybí mu také dostatečná budova kontejnmentu. Reaktor je chráněn jen betonem po jeho stranách a na spodní a svrchní části má umístěnou těžkou kovovou desku, nazvanou biologické stínění. Všechny tyto technické nedostatky zde byly pouze z důvodu úsporných opatření (Leatherbarrow, 2016).



Obr. 8: Schéma reaktoru RBMK (Wikipedia, 2008)

V noci 26. dubna 1986 měl na čtvrtém bloku v černobylské jaderné elektrárně proběhnout test technického vybavení pro případ výpadku elektřiny. V grafitovém reaktoru je naprosto zásadní, aby aktivní zóna, kde probíhá štěpná reakce, byla neustále chlazena, jelikož i v případě odstavení reaktoru palivo stále vytváří rozpadové teplo. Toto teplo by mohlo mít za následek explozi nebo roztavení reaktoru. Čerpadla, která chladicí vodu přivádějí, jsou závislá na elektřině, kterou vyrábí turbíny elektrárny. V případě nefunkčnosti turbín je možné napojit čerpadla na klasickou rozvodnou síť, a pokud by i s tím byl problém, začnou čerpadla pohánět diesellové generátory. Generátory se však spustí až za 50 vteřin, čímž vznikne časová mezera, ve které není aktivní zóna chlazena. A právě tento, tzv. test doběhu, měl proběhnout v dubnu roku 1986. V případě vypadnutí elektřiny by dále vznikalo teplo ze štěpné reakce, které by spolu se zbylou vodou

v potrubí vytvářelo páru. Pára by poháněla turbíny, které by, sice v menším množství, ale stále vyráběly elektrickou energii. Tuto energii by bylo možno využít pro pohon vodních čerpadel a pokrýt tak 50 vteřin dlouhou pauzu, než začnou fungovat diesellové generátory. Tento test byl v Černobyli prováděn již třikrát, a to v letech 1982, 1984 a 1985. Nikdy se však nepodařilo udržet potřebné napětí. Technici ovšem upravili regulátory napětí a čtvrtý test měl tedy proběhnout bez problémů (Leatherbarrow, 2016).

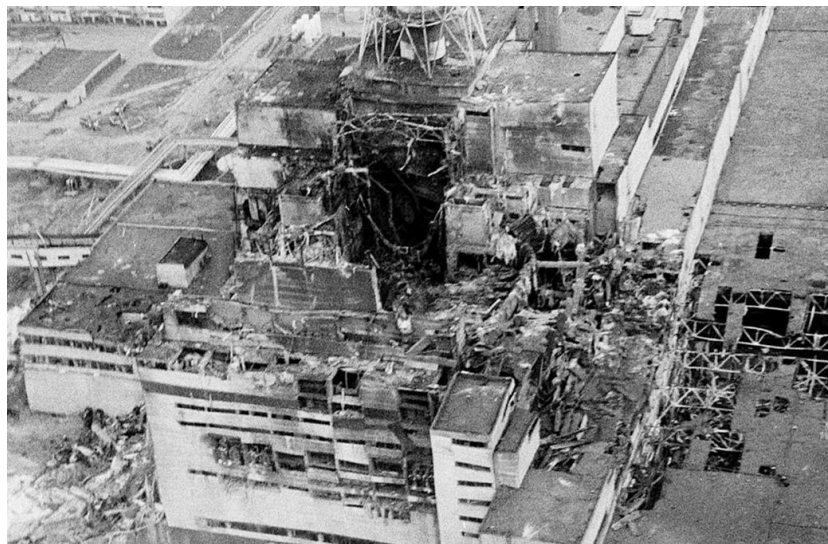
Původní plán počítal s testem v odpoledních hodinách 25. dubna, tím pádem odpolední směna přesně věděla, co dělat. Kyjevský dispečink energetických závodů ale požádal hlavního inženýra Nikolaje Fomina, aby test přesunul na večerní hodiny, až klesnou dodávky elektřiny. Odpovědnost za test tedy připadl, ne tolik zkušené noční směně. Při testu mělo být do aktivní zóny částečně zasunuto všech 211 regulačních tyčí, čímž měl být dostatečně snížen výkon a tím simulován výpadek proudu. Turbína měla být poháněna párou, postupně doběhnout, a ještě vytvořit elektřinu. Současně měl být měřen výstupní výkon, aby mohlo být určeno, zda by stačil při nedostatku energie. Aby test mohl proběhnout, byly odpojeny automatické bezpečnostní systémy, včetně systému havarijního chlazení a záložních diesellových generátorů. Snížení výkonu reaktoru by totiž počítač automaticky vyhodnotil jako výpadek proudu, tyto systémy by uvedl do provozu, reaktor odstavil a test by nemohl být proveden další rok (Leatherbarrow, 2016).

S testem však nebyly pouze technické problémy. Ve velkém se zde projevil i lidský faktor. Plán, podle kterého noční směna postupovala, byl plný ručně dopsaných poznámek. Když jeden z operátorů zavolał jinému kolegovi a sdělil mu, že plán je na spoustě míst přepsaný a dost věcí je vyškrtaných, kolega mu poradil, ať se řídí vyškrtanými pokyny. Leonid Toptunov, hlavní inženýr řízení, začal snižovat 28 minut po půlnoci výkon, ovšem udělal chybu při přepnutí manuálního řízení na automatické a regulační tyče sjely hlouběji, než bylo v plánu a tím pádem spadl výkon na 30 MWt namísto plánovaných 1500 MWt. 30 MWt se ale v podstatě rovnalo úplnému odstavení a rozhodně to nestačilo na pohon čerpadel. V této chvíli došlo v důsledku velmi nízkého výkonu k uvolnění izotopu xenonu 135, který začal brzdít štěpnou reakci. Původní test tak tímto byl předčasně ukončen, přesto zástupce hlavního inženýra, Anatolij Ďatlov nenařídil test přerušit. Toptunov a vedoucí směny, Alexandr Akimov považovali nepřerušování testu za porušení bezpečnostních pravidel a odmítli dále pokračovat. Ďatlov i přesto dále naléhal, vyhrožoval a trval na svém, až ho oba technici uposlechli. V 1 hodinu se jim podařilo vytažením poloviny regulačních tyčí zvýšit výkon kvůli

působení xenonu jen na 200 MWt. Protože to byl stále malý výkon na provedení testu, přistoupili ve velínu na odstavení automatických systémů a manuální vytažení dalších regulačních tyčí. Současně také přidali chladící vodu do aktivní zóny, čímž snížili produkci páry, která měla za následek zpomalení turbín. Minimální počet plně zasunutých regulačních tyčí byl v té době 15, v době havárie jich bylo zasunuto pouze 8. Po 1 hodině v noci již byl reaktor zcela nestabilní a výkon nesplňoval podmínky testu, tím pádem stejně nebylo možné získat jakékoliv použitelné údaje. V tuto chvíli bylo správným řešením test nezačínat, Anatolij Ďatlov ovšem stále trval na jeho provedení (Leatherbarrow, 2016).

V čase 01:23:04 byla odpojena turbína číslo 8, začala zpomalovat a operátoři shledali úkol za splněný a rozhodli se, že je čas odstavit reaktor. Akimov v 01:23:40 stiskl tlačítko havarijní ochrany AZ-5. Konkrétní důvod, proč tak učinil není stoprocentně jistý, jelikož výpovědi se liší. Ďatlov po havárii tvrdil, že tlačítko stiskli jen proto, aby reaktor po dokončení testu odstavili. Jiní přeživší ale konstatovali, že Akimov tlačítko zmáčkl poté, co se na řídicím panelu objevily neobvyklé hodnoty. AZ-5 mělo pomalu zasunout tyče zpět do aktivní zóny a tím rychle odstavit reaktor. Aktivní zóna ale byla v důsledku vytažení téměř všech regulačních tyčí vysoce nestabilní a jen pár vteřin po stisknutí tlačítka se tyče přestaly hýbat. Hlavní čerpadla se začala plnit parou, což zapříčinilo úbytek chladící vody a kvůli jejímu nedostatku začal značně stoupat výkon. Operátoři se snažili regulační tyče spustit zpět jejich vlastní vahou pomocí vyřazení servomotorů, ale stále byly zaseknuté. V tuto chvíli se projevil hrubý konstrukční nedostatek reaktoru typu RBMK. Každá tyč byla tvořena bórem, který absorbuje neutrony a tím pádem brzdí štěpnou reakci. Ovšem jejich špička byla tvořena z grafitu, který reakci naopak zintenzivňuje. Do této doby tato konstrukční vada nezpůsobovala problémy, jelikož grafitové špičky byly zasunuty v aktivní zóně. V důsledku vysokého tepla se však rozpadla část palivového souboru a kanály, ve kterých byly regulační tyče, se zkroutily a znemožnily tak jejich opětovné zasunutí. Během několika vteřin se extrémně zvýšil energetický výkon reaktoru, prudce vzrostl tlak a teplota, což mělo za následek prasknutí palivových kanálů a vodovodního potrubí. Prasknutí vodovodního potrubí způsobilo úplné zastavení přítoku chladící vody a malá zásoba vody v aktivní zóně se rychle měnila na páru, kterou se pojistné ventily pokusily vypustit, ale i ty pod velkým tlakem praskly. 18 vteřin poté, co bylo stisknuto tlačítko AZ-5 pára odmrštila horní biologické stínění o síle 3 metry a hmotnosti 450 tun a aktivní zóna zůstala otevřena (obr. 9). Krátce po

první explozi následovala další, v důsledku reakce návalu vzduchu se zničenými palivovými pouzdry ze zirkonia. Vytvořila se výbušná směs vodíku a kyslíku, která způsobila ještě silnější explozi. Do vzduchu bylo vymrštěno asi 50 tun odpařeného jaderného paliva, které se ve formě radioaktivního mraku dostalo téměř do celé Evropy. Do několika čtverečních kilometrů kolem elektrárny bylo v důsledku exploze vymrštěno ještě asi 700 tun pevného radioaktivního materiálu, který tvořil z největší části grafit. Vzduch proudící do otevřené aktivní zóny zažehl zbylý grafit, a vzniklý požár se nedařilo uhasit několik týdnů (Leatherbarrow, 2016).



Obr. 9: Reaktorová budova po výbuchu (Aktuálně.cz, b. r.)

Kolem půl třetí ráno dorazil do elektrárny její ředitel Viktor Brjuchanov. Spolu s ním pracovníci elektrárny naměřili pomocí jediného funkčního dozimetru 3,6 rentgenů za hodinu. V porovnání s běžným stavem to byla vysoká hodnota, ale nepředstavovala bezprostřední ohrožení na životě. Problém ovšem byl v tom, že to byla maximální hodnota, kterou byl dozimetr schopen ukázat. Při pozdějším vyšetřování bylo odhadnuto množství ionizujícího záření až na 30 000 rentgenů za hodinu. Hasiči z elektrárny za pomoci hasičských jednotek z okolí okamžitě začali hasit vzniklý požár. Zde byla ovšem velkým problémem neznalost mužů, jejich nedostatečný výcvik a výbava. Drtivá většina z nich neměla o ionizujícím záření ani ponětí a jejich jediným ochranným prostředkem byla maska se vzduchovým filtrem. Netušili tedy, jaké zdravotní problémy jim hrozí. Požár tak většinou likvidovali až do chvíle, než začali zvracet. V tu chvíli se u nich začaly

projevovat první příznaky akutní nemoci z ozáření. Nicméně kromě požáru aktivní zóny se jim podařilo vše uhasit kolem půl sedmé ráno. Do aktivní zóny stále pumpovaly vodu, ale ta se zpočátku vlivem extrémní teploty vypařovala, později začala zaplavovat suterén spolu s radioaktivními částicemi. Ředitel Brjuchanov se ještě v noci spojil s komunistickými činiteli z Moskvy a začal řešit otázku evakuace. Ovšem jelikož si sám nepřipustil plnou míru nebezpečí a soudruhy ubezpečoval, že žádné velké bezpečnostní riziko nehrozí a škody jsou minimální, evakuace povolena nebyla. Později do Černobylu dorazila také vládní komise složená ze stranických činitelů a vědců, aby objektivně zhodnotila celou situaci. Komisi předsedal bývalý ministr stavebnictví v průmyslu v oblasti těžby ropy a zemního plynu Boris Ščerbina. Nejvýznamnějším zástupcem vědců byl Valerij Legasov, tehdy první zástupce ředitele Institutu pro atomovou energii I. V. Kurčatovova. Komise rozhodla, že na aktivní zónu a otevřenou díru po reaktoru budou shazovat pytle se směsí písku, bóru, dolomitu a olova. Bór absorboval neutrony, dolomit zmírňoval teplo a olovo hasilo požár. Dále se konečně přistoupilo k evakuaci města Pripjat' a okolí. 27. dubna v 11 hodin, tedy více než 24 hodin po havárii, byla městským rozhlasem vyhlášena tehdy dočasná evakuace i přesto, že členům komise bylo jasné, že se nikdo z obyvatel nesmí vrátit. V prvním týdnu po havárii bylo evakuováno celkem 116 000 obyvatel ze 170 měst a vesnic vzdálených 30 km od elektrárny. V dalších měsících bylo přesídleno dalších 220 000 osob z Ukrajiny, Ruska a Běloruska (Leatherbarrow, 2016; Plochy, 2019).

V době havárie bylo v elektrárně 450 zaměstnanců, později se počet zvýšil o 186 hasičů. Bezprostředně na následky havárie zahynulo 30 osob, z toho 28 na následky ozáření. U 203 osob se rozvinula akutní nemoc z ozáření v různých stupních. Pozdní tedy stochastické následky havárie se určují těžko, avšak na Ukrajině vzrostl počet dětí, které trpí rakovinou štítné žlázy, zvýšil se výskyt poruch krvetvorby i nádorových onemocnění. Jen na území Ukrajiny bylo havárií postiženo 1,5 milionu lidí. Radioaktivní mrak z elektrárny se dostal prakticky do celé Evropy. Sovětský svaz se zpočátku snažil celou událost utajit, proto první informace o zvýšené radioaktivitě přinesla 27. dubna švédská jaderná elektrárna Forsmark ležící více než 1 000 km od Černobylu. 28. dubna byla zvýšená radioaktivita naměřena i v tehdejší Československu, kde k největšímu spadu došlo v okolí Jesenicka a na území Orlických a Novohradských hor. Přesto však byly dávky poměrně nízké, proto nebylo nutné provádět bezpečnostní opatření, ale začalo se

s kontrolou mléčných výrobků, pitné vody, masa, krmiva a hub (Elektřina.cz, 2019; Chernobylzone, 2012; SUJB, 1996; Zpravodajství.ecn, b. r.).

Bezprostředně po havárii měl největší zdravotní dopady jód 131, který má poločas rozpadu 8 dní. V dnešní době je největším problémem stroncium 90 a cesium 137 s poločasy rozpadu okolo 30 let. Celková aktivita uvolněného radioaktivního materiálu je odhadována na 10^{19} Bq. Přičemž aktivita uvolněného jódu 131 byla 10^{18} Bq a cesia 137 $3,7^{16}$ Bq. Tyto radioizotopy jsou v okolí elektrárny stále nacházeny v rostlinách, stromech, půdě ale i ve spodních vodách. V červnu roku 1986 začala výstavba ocelobetonového sarkofágu, který měl zakrýt reaktorovou budovu čtvrtého bloku. Tento sarkofág však nebyl dostačující, jelikož do něj prosakovala voda, následkem které docházelo ke korozi a následnému úniku radioaktivních látek. Od roku 2010 byl proto staven nový kryt, který byl dokončen v roce 2019 (obr. 10). Samotná elektrárna byla celkově odstavena z provozu v roce 2000. Havárie jaderné elektrárny Černobyl je největší jadernou havárií v dějinách lidstva. Dle stupnice INES je řazena na 7. a tedy nejvyšší stupeň. (EBRD, b. r.; Plochy, 2019).



Obr. 10: Kryt černobylského reaktoru (Aktuálně.cz, b. r.)

1.6.7 Goiânia, Brazílie 1987

Jako incident Goiânia je označována nehoda, která se odehrála roku 1987 ve stejnojmenném městě v Brazílii. Roku 1985 byl do nové budovy přestěhován soukromý radioterapeutický ústav. V původní budově, která byla následně částečně zdemolována, však bylo zapomenuto terapeutické zařízení obsahující radioaktivní cesium 137, konkrétně se jednalo o 93 gramů chloridu cesného (CsCl) ve formě prášku. O dva roky později, v září 1987 vnikli do budovy dva muži, a aniž by věděli, o co se jedná, zařízení odvezli, odnesli domů a rozebrali. Při rozebírání zařízení poškodili kryt, ve kterém byl radioaktivní materiál a části zdroje se tímto způsobem dostaly do několika rodin. Již po pěti dnech se u některých lidí objevily zažívací obtíže a u jednoho ze dvou mužů, který zářič ukradl, se objevily radiační popáleniny. Po nějakém čase vznikla domněnka, že by potíže mohly souviset s krádeží a případ byl předán městské hygienické službě. Následkem tohoto incidentu zemřeli 4 lidé na akutní nemoc z ozáření, 249 osob bylo kontaminováno a více než 100 000 jich bylo dále monitorováno a zdravotně sledováno. V okolí musela proběhnout dekontaminace zhruba 40 domů a demolice 6 domů. Na obrázku 11 jsou vidět pracovníci odklízající kontaminovanou půdu. Pro likvidaci vzniklého odpadu byl vybudován speciální sklad (Britannica, 2022; Havránková et al., 2020).



Obr. 11: Odklizení radioaktivní půdy (Třípól, 2018)

1.6.8 Tokaimura, Japonsko 1988

Japonský závod Tokaimura se od roku 1988 zabýval obohacováním uranu na výrobu paliva pro malé výzkumné reaktory. Výroba probíhala rozpuštěním maximálně 2,4 kilogramů uranu v kyselině v malé nádobě a poté dávkováním roztoku do stolitrového chlazeného sudu s přídavkem čpavku. Po nějaké době se ovšem z časového hlediska začalo vše míchat pohromadě v sudu. Pracovníci tedy museli přelévat uran s kyselinou z nerezových kbelíků rovnou do stolitrové nádoby. Zpočátku tento systém fungoval, jelikož se uran obohacoval jen na 5 %, později se však přešlo na 20% obohacení (Peak.cz, 2019).

30. září roku 1999 tímto zavedeným způsobem tři zaměstnanci provozu plnili sud roztokem z kbelíků. Dva pracovníci byli přímo u sudu – jeden držel trychtýř, druhý naléval z žebříku tekutinu, třetí muž seděl opodál a zapisoval data. V momentě, kdy muži nalili sedmý kbelík s roztokem dosáhl objem sudu asi 40 litrů, obsahující 16 kilogramů uranu. Aniž by tušili, tak vytvořili neřízený jaderný reaktor s velmi vysokým množstvím uranu. V sudu došlo k řetězové reakci, objevil se modrý záblesk tzv. Čerenkovova záření a všichni tři muži okamžitě opustili místnost. I přesto však obdrželi velmi vysoké dávky gama a neutronového záření v hodnotách dosahujících až 20 Gy. Třetí pracovník pohybující se dále od sudu obdržel dávku 2–3 Gy. S prvotními příznaky akutní nemoci z ozáření, kterými bylo zvracení a bolesti hlavy, byli odvezeni do nemocnice. Muž s nejmenší dávkou nehodu přežil, zbylí dva muži zemřeli 83. a 210. den po ozáření. Nehoda byla hodnocena stupněm 4 na stupnici INES. Množství radioizotopů, které se dostalo ven z elektrárny bylo zanedbatelném, i přesto byly obyvatelé z nejbližšího okolí na dva dny evakuováni a obyvatelům do 10 km bylo doporučeno nevycházet z domu. Nehoda z podobné příčiny by se nemohla odehrát v provozech připravující palivo pro jaderné elektrárny, protože je zde proces plně automatizovaný a používá se daleko nižší obohacení uranu. (Havránková, 2020; Peak.cz, 2019; SUJB, 1999; Wagner, 2015).

1.6.9 Fukušima I, Japonsko 2011

Jaderná elektrárna Fukušima leží na japonském ostrově Honšú a funguje od roku 1971. Majitelem a provozovatelem elektrárny je Tokijská elektrárenská společnost TEPCO. Fukušima se skládá ze dvou částí – Daiichi a Daiini, které jsou od sebe vzdáleny 13 km. Daiini je tvořena čtyřmi bloky, Daiichi, označována jako Fukušima I. (obr. 12), šesti bloky, přičemž na obou částech jsou použity varné reaktory typu BWR (Boiling Water Reactor) (Juranová a Hanslík, 2012; Nejedlý, 2011).



Obr. 12: Jaderná elektrárna Fukušima I (NBCnews, 2021)

Severovýchod Japonska, přesněji oblast Tóhoku, zasáhlo 11. března 2011 ve 14:46 hodin místního času dosud největší zaznamenané zemětřesení v zemi. Po hlavním otřesu, který dosáhl na Richterově stupnici stupně 9, přišlo ještě několik otřesů, dosahujících 7. stupně. Zemětřesení vzniklo v moři a jeho hypocentrum se nacházelo asi 70 km východně od poloostrova Ošika v hloubce 10–30 km. Zemětřesení je označováno jako páté největší, dosud zaznamenané. Následkem otřesů byla vlna tsunami, která severovýchodní pobřeží Japonska zasáhla necelou hodinu po prvních otřesech. Maximální výška vln dosahovala až 38 m a dostala se až 10 km do vnitrozemí. Tato vlna tsunami je řazena mezi největší celosvětově zaznamenané (SUJB, b. rb.; Wagner, 2015).

Ve chvíli, kdy k ostrovu dorazily první otřesy, byly reaktory ve všech jaderných elektrárnách automaticky odstaveny, a současně ve Fukušimě Daiichi došlo

k nastartování čtrnácti záložních dieselových generátorů, které zajišťovaly náhradní chlazení reaktorů kvůli výpadku elektrické energie. Do hodiny však dorazily vlny tsunami. Druhá překonala výšku pěti metrů, což byla maximální výška, pro kterou byly budovány speciální ochranné vlnolamy. Tsunami vyřadilo z provozu generátory a čerpadla na mořskou vodu. V místě, kde vlna zaplavila prostor s dieselagregáty, zabila také dva pracovníky elektrárny. Tito zaměstnanci byli jediné oběti havárie v elektrárně. V tuto chvíli byly jediným zdrojem energie baterie nouzového napájení, které ale mohly vydržet pouze několik hodin. Hodinu po výpadku chlazení došlo na prvním bloku elektrárny k tavení paliva, které se dostalo až na dno reaktorové nádoby. Chlazení reaktoru se podařilo zajistit pomocí havarijního kondenzátoru na 1. bloku, protože zajišťoval přirozenou cirkulaci vody z kondenzované páry bez pomoci čerpadel. Ještě 11. března večer byla vyhlášena evakuace obyvatel do 3 km od elektrárny (Wagner, 2015).

Druhý den v ranních hodinách došlo k růstu tlaku v primárním kontejnmentu a poté ke ztrátě funkce regulace tlaku na 1. a 2. bloku, proto pracovníci elektrárny otevřeli přepouštěcí ventil tlakové nádoby reaktoru. I přesto ale tlak dále stoupal. Byl otevřen přepouštěcí ventil primárního kontejnmentu, aby nedošlo k jeho poškození. Odpoledne stejného dne došlo náhle k explozi vodíku, který začal vznikat v důsledku reakce vody a zirkoniového povlaku na palivových proutcích. Exploze zničila horní část reaktorové budovy a trosky zničily požární hadice, které dodávaly mořskou vodu pro chlazení prvního reaktoru. Okolo 19. hodiny dokončili pracovníci elektrárny i přes unikající radioaktivní látky opravu a mořská voda mohla být znovu čerpána. Evakuační pásmo bylo prodlouženo na 20 km v okolí elektrárny (Wagner, 2015).

13. března ráno dodávky mořské vody opět selhaly. Tentokrát nebyla chlazena aktivní zóna 3. bloku. Zaměstnanci tedy otevřeli přepouštěcí ventil tlakové nádoby reaktoru a do něj následně začali vstříkovat mořskou vodu s kyselinou boritou, která má funkci tzv. absorbátoru, a může regulovat štěpnou reakci (Klub Praha 7, 2011; Svět energie, b. r.).

Následující den přesáhl kritickou hodnotu i tlak v primárním kontejnmentu 3. bloku, následkem čehož i zde došlo v dopoledních hodinách k výbuchu vodíku. Exploze zničila střechu a stěny v horní části bloku. Den poté, 15. března, došlo ke třetímu výbuchu. Tentokrát na odstaveném 4. bloku elektrárny. Zároveň s výbuchem došlo k požáru v budově reaktoru. V okolí elektrárny naměřená úroveň radiace dosahovala hodnot

400 mSv a lidem žijících do 30 km od elektrárny bylo nařízeno nevycházet z domovů. V následujících týdnech se intenzivně pracovalo na ustálení situace, což zahrnovalo především obnovu dodávek elektrické energie a s tím spojené zajištění chlazení reaktorů. Chlazení bylo plně obnoveno až v červnu roku 2011. Plné odstavení všech poškozených reaktorů bylo oznámeno 16. prosince 2011 (Klub Praha 7; Juranová a Hanslík, 2012; Wagner, 2015).

Hlavní radioaktivní složkou unikající z elektrárny bylo cesium 137, kterým byla zasažena rozloha 8 % celého Japonska. Dalším radioaktivním izotopem byl jód 131, který může negativně působit na štítnou žlázu. Z důvodu včasné evakuace a informování obyvatelstva byly zdravotní následky radioaktivity sníženy na minimum. Paradoxně nejvíce obětí, kromě zemětřesení a vlny tsunami, si vyžádala právě evakuace. Byla provedena rychle a v evakuovaném pásmu bylo hned několik sociálních zařízení se starými, či jinak indisponovanými lidmi, a evakuace pro ně byla velkým psychickým náparem, který spousta z nich nezvládlo. Havárie je řazena jako druhá nejhorší hned po Černobylu a na stupnici INES dosahuje také 7. stupně (SUJB, 2021; Wagner, 2015).

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

2.1 Cíle práce

Cílem předložené diplomové práce bylo:

- zjistit úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech;
- porovnat znalosti obyvatelstva o havárii v Černobylu, Fukušimě a ostatních vybraných radiačních mimořádných událostí.

2.2 Hypotézy

Pro naplnění cílů práce byly stanoveny následující hypotézy:

- úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech budou dosahovat alespoň 70 %;
- úroveň znalostí obyvatelstva o haváriích v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima bude statisticky významně vyšší než úroveň znalostí o ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech.

3 METODIKA VÝZKUMU

Pro zpracování teoretické části diplomové práce byla provedena rešerše dané problematiky prostudováním odborné literatury, příslušných právních předpisů a internetových zdrojů.

3.1 *Dotazníkové šetření*

Pro zpracování výzkumné části diplomové práce byl proveden kvantitativní výzkum. Data byla získána pomocí dotazníkového šetření, které proběhlo mezi obyvatelstvem Jihočeského kraje. Dotazník byl sestaven formou testu. Zahrnoval 16 otázek zaměřených problematiku vybraných radiačních mimořádných událostí, viz Příloha A. První část, tedy 8 otázek, se týkala havárií v Černobylu a Fukušimě, druhá část, také 8 otázek, se zaměřila na znalosti ostatních vybraných radiačních mimořádných událostí, mezi které byly zařazeny: havárie Chalk River, Kyštym, Windscale, Jaslovské Bohunice, Three Mile Island, Tokaimura a incident v brazilské Goiânia. Každá otázka nabízela 4 možné odpovědi, z nichž jen 1 odpověď byla správná.

Výběr respondentů pro dotazníkové šetření byl zcela náhodný a zahrnoval různé věkové a sociální kategorie. Respondenti byly náhodně vybráni v okrese Písek, Tábor a České Budějovice. Celkem bylo rozdáno a vyplněno 126 dotazníků.

Získaná data byla zpracována v programu Microsoft Office Excel do grafů a poté vyhodnocena pomocí metod deskriptivní a matematické statistiky a dále byla porovnána s obdobnými šetřeními.

3.2 *Statistické metody*

Statistika je věda zkoumající jevy, které mají hromadný charakter. Zkoumaný jev vždy patří k určité části velkého množství prvků, například osoby. Statistiku můžeme rozdělit na deskriptivní neboli popisnou a matematickou. Statistika deskriptivní umožňuje popsat stav či vývoj hromadných jevů. Patří sem formulace statistického šetření, škálování, měření v deskriptivní statistice a elementární statistické zpracování. Z deskriptivní statistiky vznikla matematická, jejíž základem je teorie pravděpodobnosti. Díky ní

můžeme vyjádřit závěry o sledovaném jevu. Součástí matematické statistiky je parametrické a neparametrické testování, teorie odhadů a měření statistických závislostí. V této práci bude využito testování parametrické (Homola, 2014).

Empirické parametry se dělí na obecné momenty, centrální momenty a normované momenty: parametr polohy O_1 je určený obecným momentem 1. řádu a nazývá se „aritmetický průměr“. Aritmetický průměr se vypočítá pomocí vzorce $O_1(x) = \frac{1}{n} \sum n_i x_i$. Dalším parametrem je parametr proměnlivosti C_2 je určený centrálním momentem 2. řádu, nazývá se „empirický rozptyl“ a vypočítá se pomocí vzorce $C_2(x) = \frac{1}{n} \sum n_i (x_i - O_1)^2$. Posledním parametrem směrodatná odchylka S_x je druhou odmocninou rozptylu – $S_x = \sqrt{C_2}$ a ukazuje, jakou výpovědní hodnotu má aritmetický průměr. Pokud je směrodatná odchylka velká, výpovědní hodnota aritmetického průměru je malá a naopak (Záškodný et al., 2011).

Parametrické testování je jednou z metod matematické statistiky a slouží k testování parametrických hypotéz. Pro výpočet je nutné zformulovat nulovou hypotézu H_0 a alternativní hypotézu H_a . Hypotézy jsou doplněny aparátem kritického oboru W . Parametrické testování se dělí na jednovýběrové testování hypotézy o střední hodnotě nebo rozptylu a na dvouvýběrové testování hypotézy o rovnosti středních hodnot nebo rozptylu. Pokud se jedná o jednovýběrové testování může být použit jednovýběrový t-test pro střední hodnotu, a v případě dvouvýběrového testování je využít například dvouvýběrový t-test pro rovnost středních hodnot (Záškodný et al., 2011).

4 VÝSLEDKY

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky dotazníkového šetření formou grafů a následného statistického zpracování.

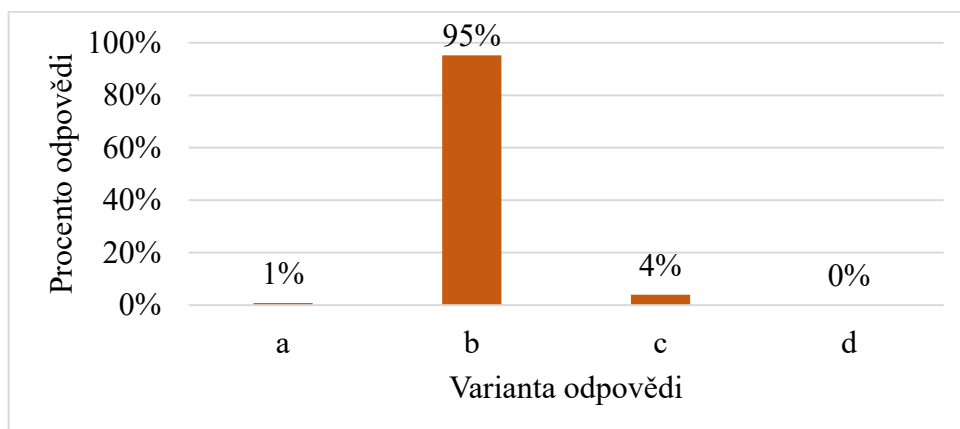
4.1 Výsledky dotazníkového šetření

V této části práce jsou uvedeny výsledky jednotlivých otázek z dotazníkového šetření. U každé otázky jsou uvedeny všechny možné odpovědi a správná odpověď je vždy zvýrazněna. Dále je u otázky sloupcový graf, který ukazuje procentuální zastoupení zvolené varianty.

1. Ve kterém roce se odehrála havárie v jaderné elektrárně Černobyl?

- a) 1968
- b) 1986**
- c) 1989
- d) 2001

Na otázku č. 1 odpovědělo správně 95 % respondentů, tj. celkem 120 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 6 respondentů (obr. 13).

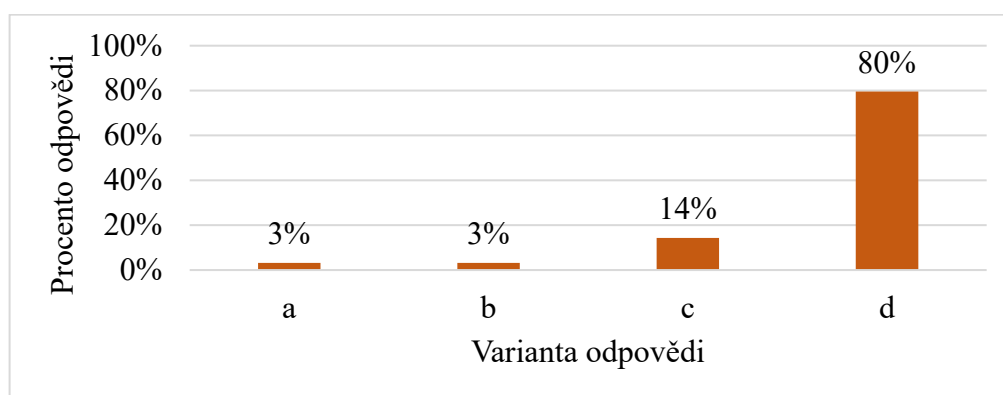


Obr. 13: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 1; zdroj: vlastní výzkum

2. Kterým stupněm na Mezinárodní stupnici jaderných událostí (The International Nuclear Event Scale – INES) byla havárie v Černobylu hodnocena?

- a) 4. stupeň – havárie bez vážnějšího vlivu na okolí
- b) 5. stupeň – havárie s rizikem vlivu na okolí
- c) 6. stupeň – těžká havárie
- d) 7. stupeň – velmi těžká havárie**

Na otázku č. 2 odpovědělo správně 80 % respondentů, tj. celkem 100 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 26 respondentů (obr. 14).

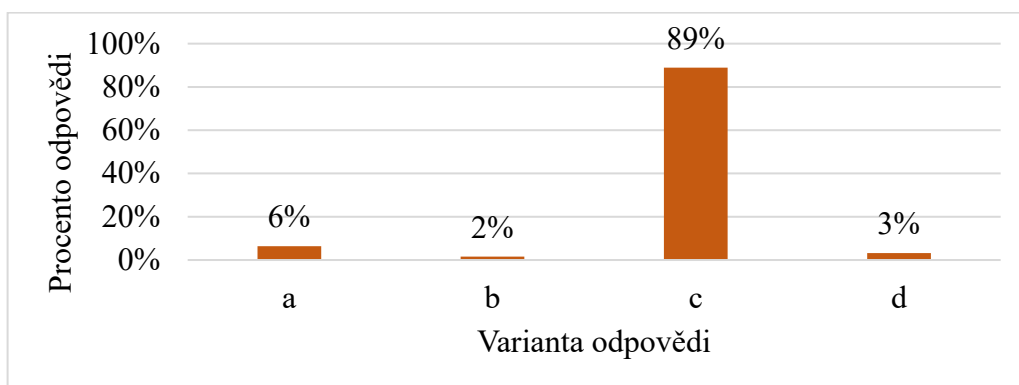


Obr. 14: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 2; zdroj: vlastní výzkum

3. Jaké byly příčiny havárie v Černobylu?

- a) neprováděné kontroly na pracovišti elektrárny
- b) přírodní katastrofa a nedostatečná kompetence personálu
- c) nevhodná konstrukce reaktoru, špatně provedená zkouška, nedostatečná kompetence personálu**
- d) jen nevhodná konstrukce reaktoru

Na otázku č. 3 odpovědělo správně 89 % respondentů, tj. celkem 112 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 14 respondentů (obr. 15).

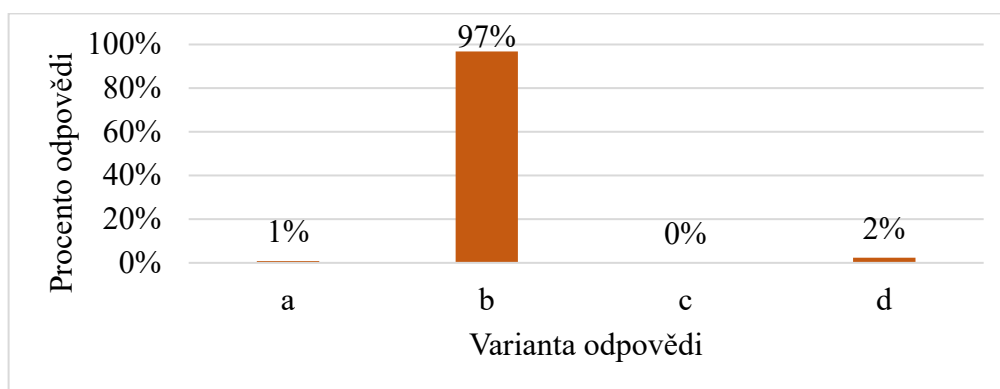


Obr. 15: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 3; zdroj: vlastní výzkum

4. Jak se radioaktivní látky po havárii v Černobylu dostaly do tehdejší ČSSR?

- a) v potravinách dovážených z oblasti havárie
- b) s radioaktivním mrakem a následným spadem**
- c) přes ropovod Družba
- d) vnější kontaminací osob a jejich následnou migrací

Na otázku č. 4 odpovědělo správně 97 % respondentů, tj. celkem 122 oslovených respondentů. Chybně odpověděli pouze 4 respondenti (obr. 16).

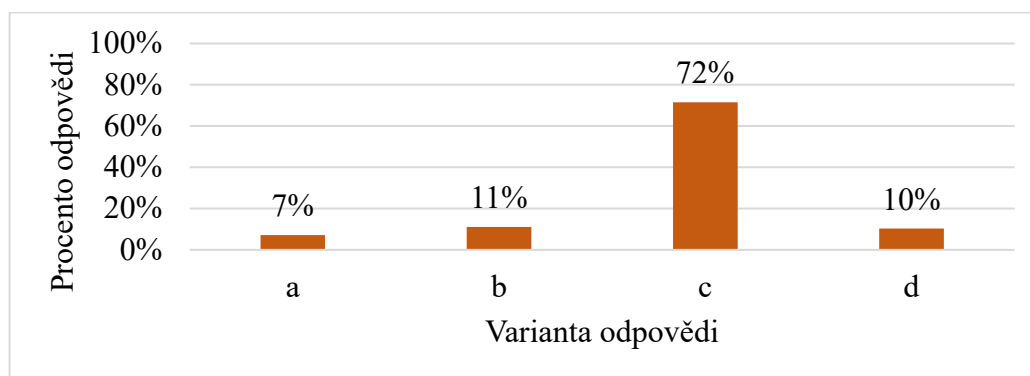


Obr. 16: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 4; zdroj: vlastní výzkum

5. Ve kterém roce se odehrála havárie v jaderné elektrárně Fukušima?

- a) 1986
- b) 2001
- c) 2011**
- d) 2018

Na otázku č. 5 odpovědělo správně 72 % respondentů, tj. celkem 90 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 28 respondentů (obr. 17).

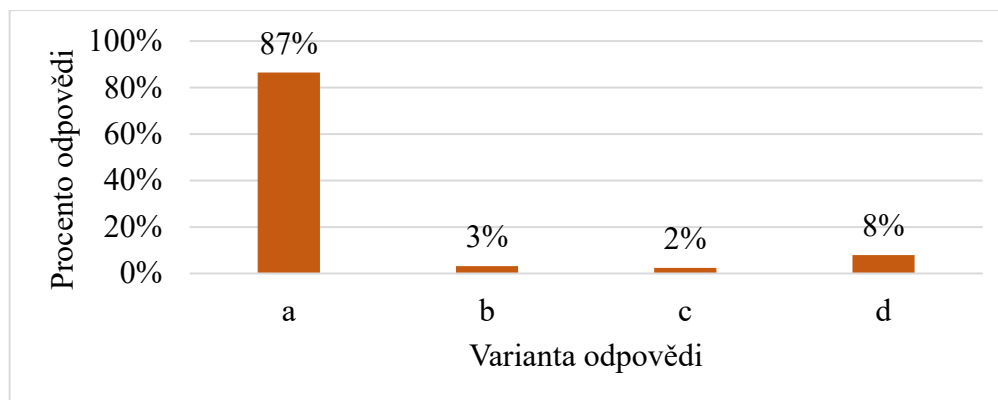


Obr. 17: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 5; zdroj: vlastní výzkum

6. Které události havárii v elektrárně Fukušima předcházely?

- a) zemětřesení a vlna tsunami**
- b) výbuch sopky a zemětřesení
- c) povodně a sesuv půdy
- d) jen vlna tsunami

Na otázku č. 6 odpovědělo správně 87 % respondentů, tj. celkem 109 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 17 respondentů (obr. 18).

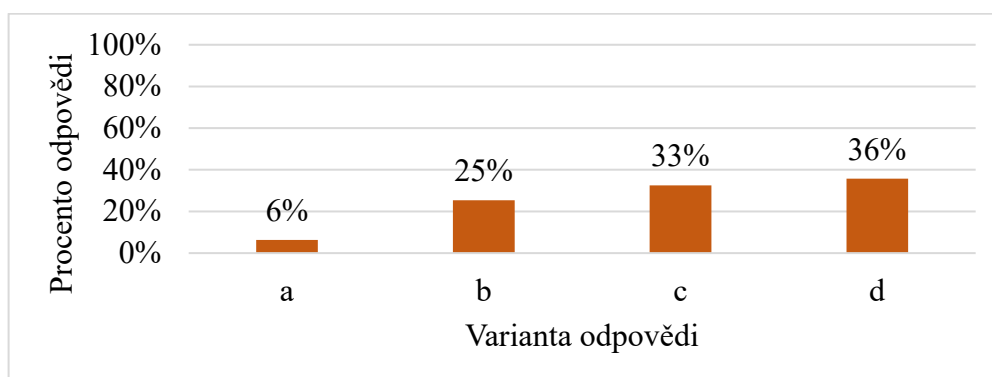


Obr. 18: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 6; zdroj: vlastní výzkum

7. Kterým stupněm na Mezinárodní stupnici jaderných událostí (The International Nuclear Event Scale – INES) byla havárie ve Fukušimě hodnocena?

- a) 4. stupeň – havárie bez vážnějšího vlivu na okolí
- b) 5. stupeň – havárie s rizikem vlivu na okolí
- c) 6. stupeň – těžká havárie
- d) 7. stupeň – velmi těžká havárie**

Na otázku č. 7 odpovědělo správně 36 % respondentů, tj. celkem 45 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 81 respondentů (obr. 19).

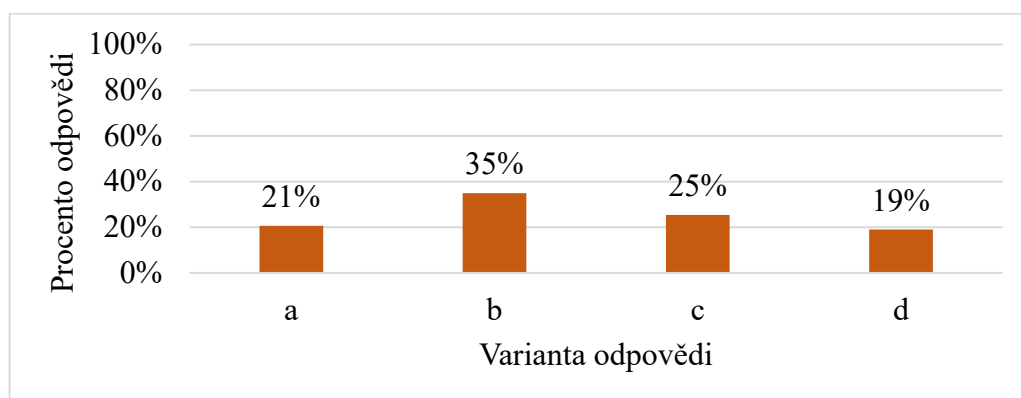


Obr. 19: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 7; zdroj: vlastní výzkum

8. Následkem čeho zemřelo po havárii v jaderné elektrárně Fukušima nejvíce lidí?

- a) ozáření
- b) výbuchu a následného požáru
- c) špatně provedené evakuace a následného vyčerpání**
- d) nikdo nezemřel

Na otázku č. 8 odpovědělo správně 25 % respondentů, tj. celkem 32 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 94 respondentů (obr. 20).

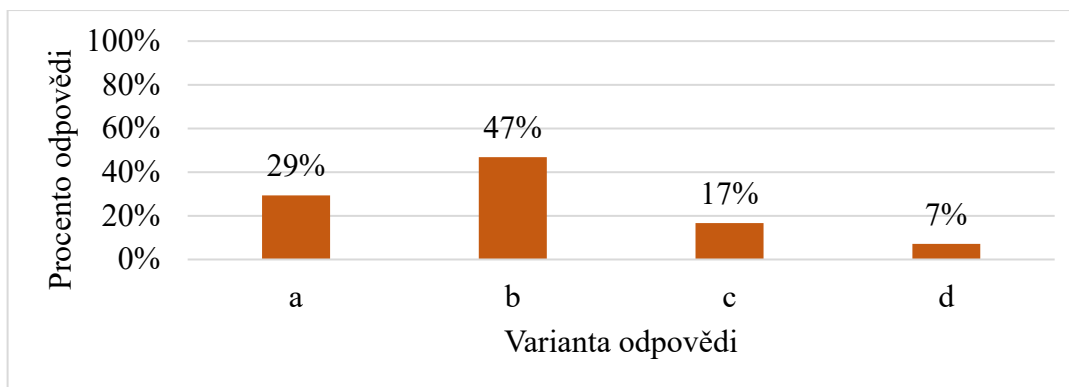


Obr. 20: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 8; zdroj: vlastní výzkum

9. Ve kterém státě leží výzkumné středisko Chalk River, kde došlo v roce 1952 k první závažné jaderné havárii?

- a) v Kanadě**
- b) v USA
- c) v Mexiku
- d) ve Velké Británii

Na otázku č. 9 odpovědělo správně 29 % respondentů, tj. celkem 37 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 89 respondentů (obr. 21).

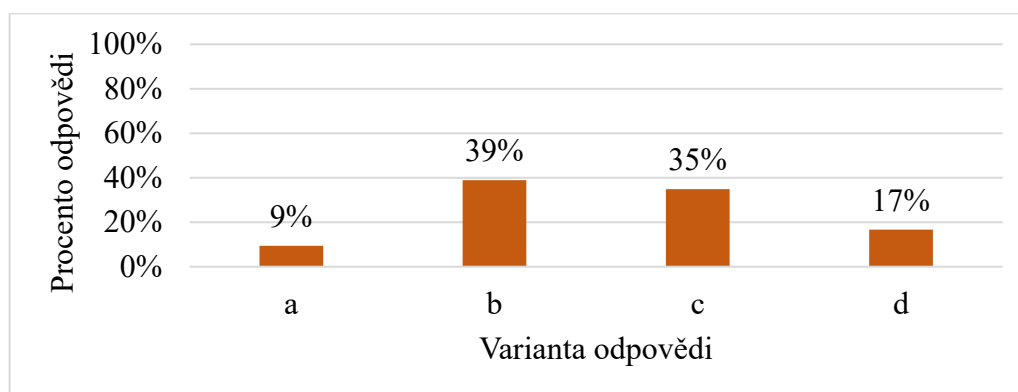


Obr. 21: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 9; zdroj: vlastní výzkum

10. Jak se nazývá a kde se nachází ruský jaderný komplex pro zpracování radioaktivního materiálu, ve kterém došlo v roce 1957 k významné jaderné havárii, tzv. Kyštymské havárii?

- a) Rosatom v Moskevské oblasti
- b) Sibiřská jaderná elektrárna v Tomské oblasti
- c) Majak v Čeljabinské oblasti**
- d) Obninsk v Kalužské oblasti

Na otázku č. 10 odpovědělo správně 35 % respondentů, tj. celkem 44 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 82 respondentů (obr. 22).

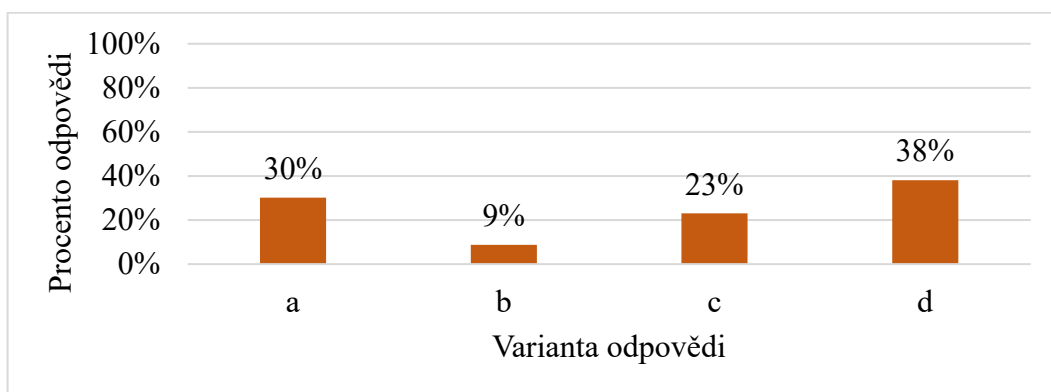


Obr. 22: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 10; zdroj: vlastní výzkum

11. Jak se nazývá dlouhodobě kontaminovaná oblast, která vznikla po Kyštymské havárii?

- a) Sibiřská kontaminovaná oblast
- b) Transsibiřská magistrála
- c) Altajská radioaktivní stopa
- d) Východouralská radioaktivní stopa**

Na otázku č. 11 odpovědělo správně 38 % respondentů, tj. celkem 48 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 78 respondentů (obr. 23).

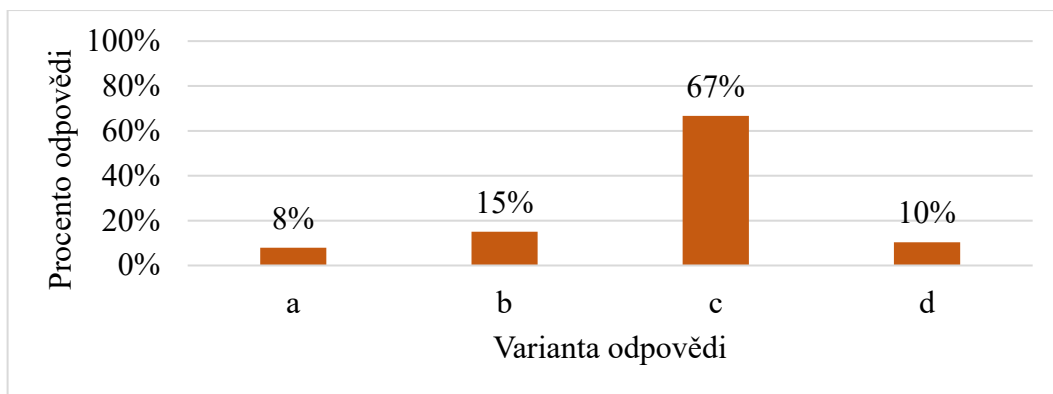


Obr. 23: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 11; zdroj: vlastní výzkum

12. Co bylo zakázáno konzumovat v okolí elektrárny po havárii grafitového reaktoru Windscale ve Velké Británii v roce 1957?

- a) maso
- b) mléko**
- c) houby
- d) nic zakázáno nebylo

Na otázku č. 12 odpovědělo správně 15 % respondentů, tj. celkem 19 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 107 respondentů (obr. 24).

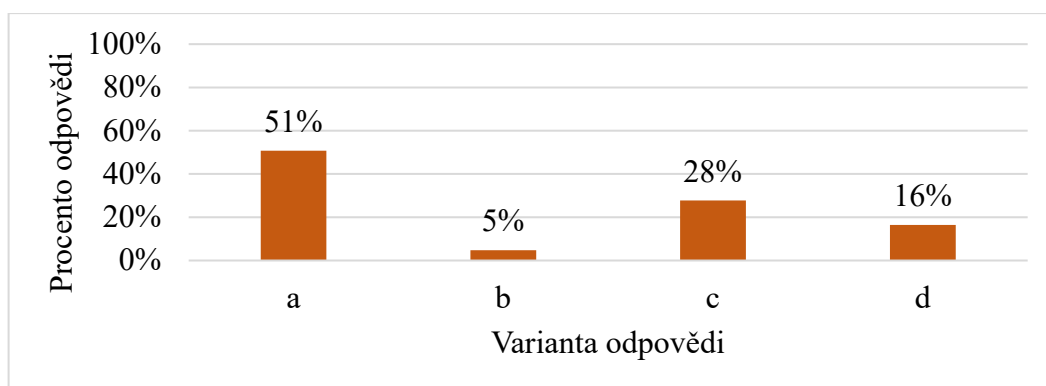


Obr. 24: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 12; zdroj: vlastní výzkum

13. Ve které jaderné elektrárně došlo v 70. letech k jediné jaderné havárii v bývalém Československu?

- a) Jaslovské Bohunice
- b) Řež
- c) Dukovany
- d) Mochovce

Na otázku č. 13 odpovědělo správně 51 % respondentů, tj. celkem 64 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 62 respondentů (obr. 25).

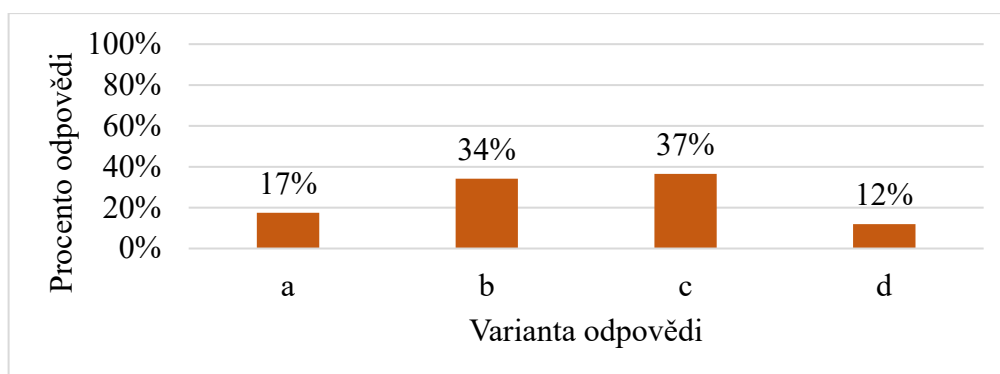


Obr. 25: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 13; zdroj: vlastní výzkum

14. Pokračovali Američané ve výstavbě jaderných reaktorů po havárii elektrárny Three Mile Island v roce 1979?

- a) ne, žádný nový reaktor postaven nebyl
- b) ano, s výstavbou se nepřestalo
- c) ano, ale až v roce 2012**
- d) ne, další výstavbu plánují na rok 2023

Na otázku č. 14 odpovědělo správně 37 % respondentů, tj. celkem 46 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 80 respondentů (obr. 26).

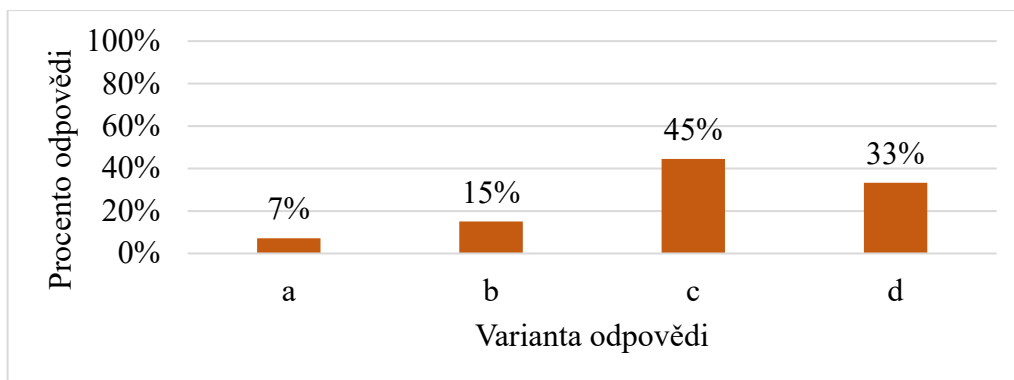


Obr. 26: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 14; zdroj: vlastní výzkum

15. Jaký radioaktivní izotop byl obsažen v odcizeném radioterapeutickém zdroji v brazilské Goianie v roce 1985?

- a) jod 131
- b) stroncium 90
- c) uran 238
- d) cesium 137**

Na otázku č. 15 odpovědělo správně 33 % respondentů, tj. celkem 42 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 84 respondentů (obr. 27).

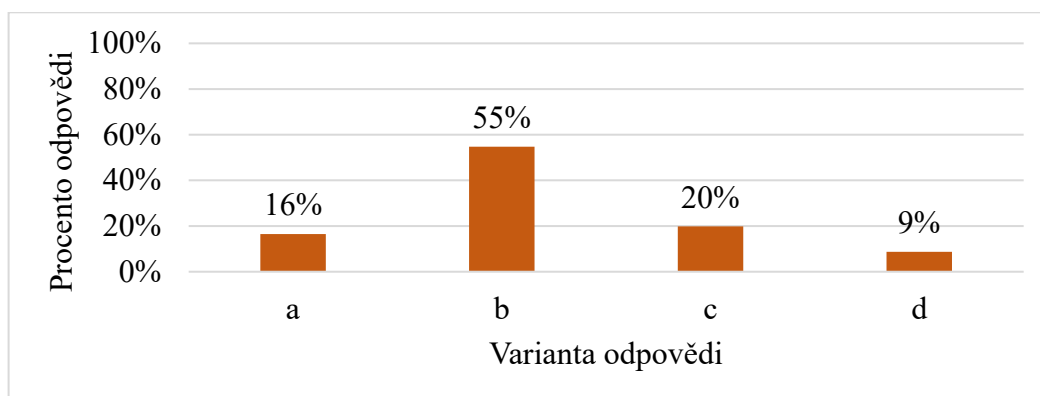


Obr. 27: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 15; zdroj: vlastní výzkum

16. Co bylo příčinou smrti dvou pracovníků závodu na obohacování uranu v japonské Tokaimuře, kde byli v roce 1999 ozáření vysokou dávkou neutronů?

- a) radiační dermatitida
- b) akutní nemoc z ozáření**
- c) rakovina
- d) nezemřeli

Na otázku č. 16 odpovědělo správně 55 % respondentů, tj. celkem 69 oslovených respondentů. Chybně odpovědělo 57 respondentů (obr. 28).



Obr. 28: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 16; zdroj: vlastní výzkum

4.2 Parametrické testování – jednovýběrový t-test

Pro parametrické testování a ověření první hypotézy byl v této práci zvolen jednovýběrový t-test. Také byla stanovena nulová hypotéza H_0 a alternativní hypotéza H_a .

H_0 : Úroveň znalostí obyvatelstva o vybraných radiačních mimořádných událostech budou dosahovat alespoň 70 %.

H_a : Úroveň znalostí obyvatelstva o vybraných radiačních mimořádných událostech je statisticky významně nižší než 70 %.

Pro výpočet byly použity tyto empirické parametry:

$$n = 16$$

$$O_1 = \mu = 54,6$$

$$\mu_0 = 70$$

$$S_x = 17,3$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu - \mu_0}{S_x} * \sqrt{n} = -3,56$$

$$W = (-\infty; -t_{n-1}(\alpha)) = (-\infty; -1,96)$$

Podle výsledku lze konstatovat, že hodnota t_{exp} náleží do oboru kritických hodnot W . Je tedy nezbytné přijmout alternativní hypotézu H_a : „Úroveň znalostí obyvatelstva o vybraných radiačních mimořádných událostech je statisticky významně nižší než 70 %.“

4.3 Parametrické testování – dvouvýběrový t-test

Pro parametrické testování a ověření druhé hypotézy byl zvolen dvouvýběrový t-test. Dále byla stanovena nulová hypotéza H_0 a alternativní hypotéza H_a .

H_0 : Úroveň znalostí obyvatelstva o haváriích v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima není statisticky významně vyšší než úroveň znalostí o ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech.

H_a : Úroveň znalostí obyvatelstva o haváriích v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima je statisticky významně vyšší než úroveň znalostí o ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech.

Pro výpočty byly empirické parametry, které představovaly otázky týkající se Černobylu a Fukušimy, označeny indexem 1. Parametry, které představovaly otázky ohledně ostatních radiačních mimořádných událostí byly označeny indexem 2.

VSS₁:

$$n_1 = 8$$

$$O_{11} = \mu_1 = 72,3$$

$$S_{x1} = 16,1$$

VSS₂:

$$n_2 = 8$$

$$O_{12} = \mu_2 = 37,2$$

$$S_{x2} = 24,9$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1-1) Sx_1^2 + (n_2-1) Sx_2^2}} * \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} = 3,35$$

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

Dle výsledku lze konstatovat, že hodnota t_{exp} náleží do oboru kritických hodnot W . Je tedy nezbytné přijmout alternativní hypotézu H_a : „Úroveň znalostí obyvatelstva

o haváriích v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima je statisticky významně vyšší než úroveň znalostí o ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech.“

5 DISKUSE

Ve výzkumné části diplomové práce byla zjišťována úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech. Také byly srovnávány znalosti o havárii v Černobylu, Fukušimě a ostatních radiačních mimořádných událostech. Celková informovanost by měla dosahovat alespoň základní úrovně z důvodu vysokého zájmu obyvatel o tuto problematiku. Kvůli medializování havárií v Černobylu a Fukušimě by o těchto dvou událostech měla být vyšší úroveň znalostí než o ostatních radiačních mimořádných událostech.

Ke zjištění úrovně znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech bylo provedeno dotazníkové šetření. Průzkumu se zúčastnilo 126 obyvatel Jihočeského kraje. První část dotazníku se týkala havárií v Černobylu a ve Fukušimě a druhá ostatních vybraných radiačních mimořádných událostí. Toto rozdělení bylo zvoleno pro porovnání znalostí o havárii v Černobylu, Fukušimě a ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech.

5.1 *Diskuse k jednotlivým otázkám*

Dotazník, který byl předložen obyvatelstvu Jihočeského kraje, byl tvořen 16 uzavřenými otázkami. Každá otázka nabízela 4 odpovědi z nichž vždy jedna byla správná.

První otázka se dotazovala na rok, ve kterém se odehrála havárie v jaderné elektrárně Černobyl. Správná odpověď byla varianta *b) 1986*. Tuto odpověď zvolilo 95 % respondentů, tj. 120 z celkového počtu dotazovaných. Pro srovnání v diplomové práci Luboše Jaroše (2013), který prováděl výzkum o znalostech obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie v jaderné elektrárně Černobyl, tato otázka dosáhla 84% úspěšnosti. Obyvatelstvo Jihočeského kraje tedy v této otázce dosáhlo vyšší úspěšnosti. Velmi dobrou úroveň znalostí obyvatel u této otázky přisuzuji vysokému zájmu o černobylskou havárii. Také si myslím, že si lidé tento datum pamatují z důvodu prvotního zatajování vážnosti situace Sovětským svazem.

Druhá otázka se týkala stupně, kterým byla havárie v Černobylu ohodnocena na Mezinárodní stupnici jaderných událostí. Správná odpověď byla varianta *d) 7. stupeň – velmi těžká havárie*. Správný stupeň zvolilo 80 % respondentů, tj. 100 ze všech

dotazovaných. V diplomové práci Tetyany Royik (2019), která zkoumala informovanost obyvatelstva Kraje Vysočina o havárii jaderné elektrárny Černobyl, dosáhla tato otázka úspěšnosti 77 %. Dá se tedy říci, že úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje a Kraje Vysočina jsou v této otázce téměř srovnatelné. Tato otázka dosáhla dle mého názoru celkem dobré úspěšnosti. Myslím, že to je z důvodu povědomí lidí o vysoké závažnosti této havárie.

Na třetí otázku, která se týkala příčin havárie v Černobylu odpovědělo správně *c) nevhodná konstrukce reaktoru, špatně provedená zkouška, nedostatečná kompetence personálu* 89 %, tj. 112 osob z celkového počtu respondentů. I v této otázce byla dosažena vysoká úspěšnost, jelikož jen 14 osob odpovědělo nesprávně. Havárii v jaderné elektrárně Černobyl způsobila kombinace technické chyby v reaktoru typu RBMK, která byla odhalena až díky této události, dále méně zkušené noční směně, a tlaku vedení elektrárny a Sovětského svazu na dokončení testu a získání dat (Leatherbarrow, 2016). Myslím, že dobrá informovanost obyvatel v této problematice je díky úspěšnému seriálu Černobyl z roku 2019 uvedeného v internetové televizi HBO.

Čtvrtá otázka se týkala způsobu, kterým se radioaktivní látky po havárii v Černobylu dostaly do tehdejší ČSSR. Správná odpověď byla varianta *b) s radioaktivním mrakem a následným spadem*. Tuto otázku zvolilo správně celkem 97 % lidí, tj. 122 z celkového počtu respondentů. V již zmíněné diplomové práci Tetyany Royik (2019) na tuto otázku odpovědělo správně 91 % respondentů z Kraje Vysočina. V Jihočeském kraji tedy byla úspěšnost nepatrně vyšší. Tato otázka byla nejlépe zodpovězenou z celého dotazníku a špatně na ni odpověděli pouze 4 respondenti. Variantu *c) přes ropovod Družba* ne zvolil nikdo. V této otázce jsem čekala velmi vysokou úspěšnost, jelikož území našeho státu bylo po havárii radioaktivním mrakem a následným deštěm zasaženo, a právě tato informace dle mého názoru patří dnes již do všeobecného povědomí lidí.

V páté otázce jsem se dotazovala na to, ve kterém roce se odehrála havárie v jaderné elektrárně Fukušima. Správnou odpověď *c) 2011* zvolilo 71 % dotazovaných, tj. 90 oslovených obyvatel. V porovnání s výsledky diplomové práce Terezy Černé (2017), která zjišťovala informovanost o havárii v jaderné elektrárně Fukušima v Kraji Vysočina, jsou výsledky v obou krajích na podobné úrovni. V jejím šetření dosáhla tato otázka 73% úspěšnosti. Myslím, že výsledek této otázky je uspokojivý, ale jedná se

o závažnou havárii, o které byl svět dostatečně informován, proto jsem očekávala lepší výsledek.

Šestá otázka se týkala událostí, které havárii ve Fukušimě předcházely. Správná odpověď byla varianta *a) zemětřesení a vlna tsunami*. Správnou odpověď zvolilo 87 % respondentů, tj. 109 z celkového počtu dotazovaných. V této otázce jsem čekala vysokou úspěšnost, jelikož toto zemětřesení i vlna tsunami byly jedny z nejsilnějších, doposud zaznamenaných a bylo jim věnováno mnoho prostoru v médiích. Tuto otázku jsem měla možnost porovnat s bakalářskou prací Nikoly Orthové (2015), která prováděla výzkum o vnímání obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima. V jejím šetření na tuto otázku správně zodpovědělo 69,5 % obyvatel, což je o dost nižší výsledek než v Jihočeském kraji. Považuji tedy výsledek této otázky v mém šetření za uspokojivý.

V sedmé otázce jsem se dotazovala na stupeň na stupnici INES, kterým byla havárie ve Fukušimě ohodnocena. Správnou odpověď *d) 7. stupeň – velmi těžká havárie* zvolilo 36 % respondentů, tj. 45 z celkového počtu dotazovaných. Havárie v jaderné elektrárně Fukušima byla, stejně jako havárie v Černobylu, ohodnocena nejvyšším stupněm na Mezinárodní stupnici jaderných událostí. Tento výsledek mě překvapil, jelikož jsem očekávala daleko lepší úspěšnost. Myslím, že takto nízkého výsledku bylo dosaženo z toho důvodu, že většina respondentů zvolilo 7. stupeň v otázce týkající se černobylské havárie a v případě Fukušimy se domnívali, že stupeň byl nižší s ohledem na menší zdravotní následky na obyvatelstvo.

Osmá otázka byla poslední z první části dotazníku týkající se Černobylu a Fukušimy a dotazovala se na nejčastější příčiny úmrtí lidí po havárii ve Fukušimě. Správná odpověď byla varianta *c) špatně provedené evakuace a následného vyčerpání*. Tuto odpověď zvolilo 25 % respondentů, tj. 32 z celkového počtu oslovených osob. Nejčastější odpovědí byla varianta *b) výbuchu a následného požáru*, kterou zvolilo 35 % respondentů. Při evakuaci některých nemocnic a domovů důchodců z území zasaženého havárií byla zaznamenána úmrtí spojená se zhoršením péče během přesunu. Hrály zde roli i sociální a psychologické následky (Wagner, 2015). Myslím si, že nízká úspěšnost byla způsobena tím, že většina respondentů si nepřipustila, že by následkem špatně provedené evakuace mohlo dojít k úmrtí velkého množství lidí. Předpokládala jsem dosažení vyšší úspěšnosti.

Druhá část dotazníku (otázky 9 až 16) zjišťovala úroveň znalostí o méně známých radiačních mimořádných událostech, mezi které byly zařazeny havárie Chalk River, Kyštym, Windscale, Jaslovské Bohunice, Three Mile Island, Tokaimura a incident v brazilské Gioânie.

Devátá otázka se týkala státu, ve kterém leží výzkumné středisko Chalk River, kde došlo v roce 1952 k první závažné jaderné havárii. Správnou odpověď *a) v Kanadě* zvolilo 29 % respondentů, tj. 37 z celkového počtu oslovených osob. Nejčastěji zodpovídanou otázkou byla varianta *b) v USA*, kterou zvolilo 47 % respondentů. V této otázce jsem očekávala nízkou úspěšnost, jelikož lidé o této havárii nejsou dostatečně informováni. Také se tato událost odehrála v 50. letech minulého století, takže nebyla šance, aby lidé v Československu byli o havárii informováni a myslím, že dnes se již o tuto problematiku moc nezajímají.

Desátá otázka se dotazovala na název a polohu ruského jaderného komplexu pro zpracování radioaktivního materiálu, ve kterém došlo v roce 1957 k tzv. Kyštymské havárii. Správnou odpověď *c) Majak v Čeljabinské oblasti* zvolilo správně 35 % respondentů, tj. 44 z celkového počtu dotazovaných. Nejčastěji volenou odpovědí byla varianta *b) Sibiřská jaderná elektrárna v Tomské oblasti*. Zde se domnívám, že většina respondentů odpověď nevěděla jistě, proto volila variantu s pojmem jaderná elektrárna, která jim přišla správně s ohledem na zaměření dotazníku.

V jedenácté otázce jsem se dotazovala na to, jak se nazývá dlouhodobě kontaminovaná oblast, která vznikla po Kyštymské havárii. Zde byla správná odpověď varianta *d) Východouralská radioaktivní stopa*. Správnou odpověď zvolilo 38 % respondentů, tj. 48 z celkového počtu oslovených osob. Dle mého názoru je tento pojem celkem rozšířený, proto jsem očekávala lepší výsledky. Překvapilo mě, že 9 respondentů zvolilo variantu *b) Transsibiřská magistrála*.

Dvanáctá otázka byla zaměřena na potravinu, která byla zakázána konzumovat po havárii grafitového reaktoru Windscale ve Velké Británii v roce 1957. Správnou odpověď *b) mléko* zvolilo pouze 15 % respondentů, tj. 19 osob z celkového počtu dotázaných. Většina respondentů, tedy 67 % zvolila variantu *c) houby*. Tato otázka patřila k nejhůře zodpovězeným z celého dotazníku. Výsledek mě velmi překvapil, ale myslím, že je dán tím, že kvůli havárii v Černobylu se ještě dnes mluví v České republice o houbách obsahujících radioizotopy, které z Černobylu unikly (ČTK, 2021). Proto se domnívám,

že si lidé spojili zákaz konzumace určité potraviny právě s houbami. Respondenti, kteří zvolili správnou odpověď možná mohli mít v paměti kontrolu mléka a mléčných výrobků v ČSSR v souvislosti s havárií v Černobylu (Československá komise pro atomovou energii, 1988). Také jsem toho názoru, že zde hraje velkou roli to, že o této a dalších haváriích z druhé části dotazníku je mezi lidmi jen malé povědomí.

Třináctá otázka se týkala jaderné elektrárny, ve které došlo v 70. letech minulého století k jediné jaderné havárii v bývalém Československu. Správná odpověď byla varianta *a) Jaslovské Bohunice*. Na tuto otázku správně odpovědělo 51 % respondentů, tj. 64 z celkového počtu dotazovaných. Tento výsledek považuji za uspokojivý, jelikož jsem čekala nižší úspěšnost. Přestože jsme v 70. letech minulého století tvořili se Slovenskem společný stát, a někteří respondenti si havárii mohli pamatovat, očekávala jsem, že mnoho lidí elektrárnu nebude znát. 35 respondentů zvolilo variantu *c) Dukovany*. Myslím, že variantu Dukovany volili respondenti z toho důvodu, že se jedná o jednu ze dvou jaderných elektráren na našem území.

Čtrnáctá otázka se dotazovala na to, zda Američané pokračovali s výstavbou jaderných reaktorů po havárii elektrárny Three Mile Island v roce 1979. Správnou odpověď *c) ano, ale až v roce 2012* zvolilo 37 % respondentů, tj. 46 z celkového počtu dotázaných osob. V této otázce jsem opět z důvodu malého povědomí o události neočekávala vysokou úspěšnost. Také si myslím, že se v České republice o nové výstavbě amerických reaktorů neinformuje.

V patnácté otázce jsem se ptala na to, jaký radioaktivní izotop byl obsažen v odcizeném radioterapeutickém zdroji v brazilské Goiânii v roce 1987. Správná odpověď byla varianta *d) cesium 137*. Správně odpovědělo 33 % respondentů, tj. 42 z celkového počtu dotazovaných. Nejčastěji však respondenti volili odpověď *c) uran 238*. Uran 238 tvoří největší část chemické struktury přírodního uranu. V malém množství je tvořen také uranem 235 a uranem 234 (Oenergetice, 2017). Domnívám se tedy, že lidé nejčastěji slyší právě o uranu 238, proto byla tato varianta nejčastěji zvolenou a vybralo ji 56 respondentů.

Na šestnáctou otázku, která se týkala příčiny smrti dvou pracovníků závodu na obohacování uranu v japonské Tokimuře, kde byli roku 1999 ozáření vysokou dávkou neutronů odpovědělo správně *b) akutní nemoc z ozáření* 55 % respondentů, tj. 69 z celkového počtu dotazovaných. Dle mého názoru je tento výsledek uspokojivý,

jelikož jsem čekala menší úspěšnost, protože si myslím, že ani o této havárii nejsou obyvatelé České republiky informováni ve velké míře. Celkem dobrý výsledek může být způsoben tím, že v již zmíněném seriálu Černobyl (HBO, 2019), bylo řečeno, že zaměstnanci elektrárny a hasiči zasahující na místě havárie zemřeli právě na akutní nemoc z ozáření a většina respondentů si tuto informaci spojila i s havárií v Tokaimuře, protože se jedná o záření.

5.2 *Diskuse ke statistickému šetření*

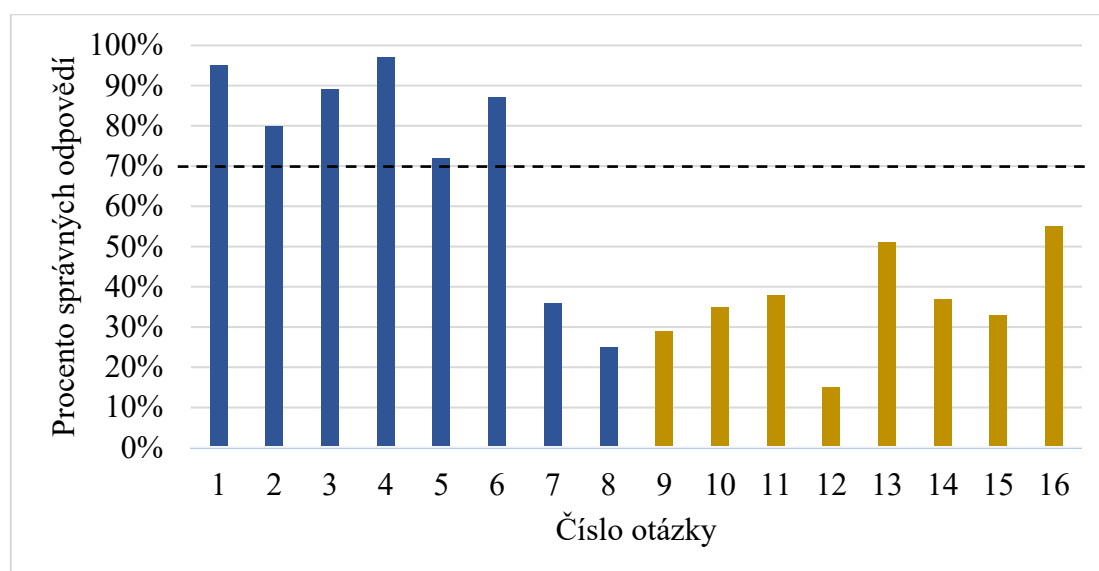
První hypotéza H1: **Úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech budou dosahovat alespoň 70 %** byla ověřována pomocí jednovýběrového t-testu. Z výsledku průměrných znalostí, tj. 55 %, je patrné, že experimentální hodnota testového kritéria (-3,56) je prvkem daného kritického oboru. Je tedy nutné přijmout alternativní hypotézu H_a . Tím pádem byla první hypotéza vyvrácena a úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech nedosahuje 70 %.

Druhá hypotéza H2: **Úroveň znalostí obyvatelstva o haváriích v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima bude statisticky významně vyšší než úroveň znalostí o ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech** byla ověřována pomocí dvouvýběrového t-testu. Z výsledku vyplynulo, že experimentální hodnota testového kritéria 3,35 náleží do oboru kritických hodnot. Z toho důvodu byla přijata alternativní hypotéza H_a a druhá hypotéza tedy byla potvrzena. Úroveň znalostí obyvatelstva o haváriích v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima je statisticky významně vyšší než úroveň znalostí o ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech.

Z výsledků lze vyvodit, že celková úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech je průměrná. Základní fakta o haváriích v Černobylu a Fukušimě jsou na vysoké úrovni. Pokud se jedná o Černobyl myslím, že je dosažena vysoká úspěšnost především z důvodu vysokého zájmu lidí a jisté fascinace Černobylem. Také byla tato havárie již mnohokrát interpretována v různých dokumentech, filmech či seriálech. Ještě se domnívám, že velký zájem lidí právě o tuto havárii způsobilo její prvotní popírání a chabé informování ze strany Sovětského svazu.

V případě fukušimské havárie způsobil vysokou úspěšnost dle mého názoru zájem médií a dostatečné informování celého světa. Také si myslím, že spousta lidí byla zaskočena tím, že se havárie na jaderné elektrárně v moderním Japonsku odehrála právě v dnešní době, proto si pamatují alespoň základní fakta. I přesto mě překvapilo, že všechny otázky z první části dotazníku nepřesáhly 70% hranici úspěšnosti (obr. 29). Nejlepší výsledek v první části dotazníku byl u čtvrté otázky týkající se přesunu radioaktivních látek z Černobylu do Evropy, nejhorší u osmé, která byla zároveň druhou nejhůře zodpovídanou otázkou celkem a týkala se důvodu úmrtí lidí po havárii ve Fukušimě.

Co se týče druhé části dotazníku, tedy otázek týkající se ostatních vybraných radiačních mimořádných událostí, tak zde ani jedna otázka nepřesáhla 70% hranici úspěšnosti. Tento výsledek jsem však očekávala, jelikož lidé nemají velké povědomí o těchto událostech. Také se domnívám, že je to způsobeno tím, že spousta těchto havárií se odehrála před více než čtyřiceti lety a lidé nemají zájem získávat o nich informace. Počet obětí u těchto událostí je většinou v jednotkách, proto nejsou zajímavé ani pro média nebo filmaře. Nejlépe zodpovídanou otázkou ve druhé části dotazníku byla poslední šestnáctá otázka dotazující se na příčinu smrti dvou pracovníků závodu na obohacování uranu, nejhůře pak otázka dvanáctá, která dosáhla i nejmenší úspěšnosti celkově a týkala se potravin, která byla zakázána konzumovat po havárii grafitového reaktoru ve Velké Británii.



Obr. 29: Procentuální zastoupení správných odpovědí; zdroj: vlastní zdroj

6 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zpracována na téma: „*Úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech*“.

V teoretické části byly uvedeny základní pojmy týkající se radioaktivity a ionizujícího záření. Dále byl popsán vliv ionizujícího záření na člověka, definice radiační mimořádné události, ochranná opatření a Mezinárodní stupnice hodnocení jaderných událostí. V druhé polovině teoretické části byly popsány vybrané radiační mimořádné události, jejich příčiny, průběh i následky.

Ve výzkumné části diplomové práce bylo provedeno vyhodnocení dotazníkového šetření pomocí základních metod deskriptivní a matematické statistiky. Výzkum byl zaměřen na úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech. Byla porovnávána úroveň znalostí o haváriích v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima se znalostmi o ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech. Byly stanoveny dvě hypotézy, z nichž jedna byla potvrzena. Je tedy možné tvrdit, že úroveň znalostí obyvatelstva o haváriích v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima je statisticky významně vyšší než úroveň znalostí o ostatních vybraných radiačních mimořádných událostech. Celková úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech však nedosahuje 70 %.

Cíle práce „*Zjistit úroveň znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech*“ a „*Porovnat znalosti obyvatelstva o havárii v Černobylu, Fukušimě a ostatních vybraných radiačních mimořádných událostí*“ byly v diplomové práci splněny.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Aktuálně.cz, *Budoucnost Černobylu*, b. r. [online]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/cernobyl-30-let/r~f2231a6407b811e6b78b0025900fea04/>

Atominfo, *Jaslovské Bohunice A1*, 2015. [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <https://atominfo.cz/2015/04/jaslovske-bohunice-a1/>

Britannica, *Goiania accident*, 2022. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/topic/Goiania-accident>

ČERNÁ, Tereza, 2017. *Informovanost obyvatelstva o jaderné havárii ve Fukušimě v Kraji Vysočina*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. Vedoucí práce Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

Československá komise pro atomovou energii, *Některé výsledky monitorování následků černobylské havárie v ČSSR*, 1988. [online]. [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/nektere_vysledky.pdf

ČTK, *Německý úřad: I 35 let po Černobylu jsou v houbách radioaktivní látky*, 2021. [online]. [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/nemecky-urad-i-35-let-po-cernobylu-jsou-v-houbach-radioaktivni-latky/2100461>

EBRD, *The Chernobyl Shelter Implementation Plan*, b. r. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.ebrd.com/what-we-do/sectors/nuclear-safety/chernobyl-shelter-implementation.html>

Eduportál, *Největší havárie jaderných elektráren*, b. ra. [online]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/jaderna-elektrarna/nejvetsi-havarie-jadernych-elektaren>

Eduportál, *Three Mile Island*, b. rb. [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/jaderna-elektrarna/three-mile-island>

Echo24, *Kyštym. Jaderná katastrofa, o níž svět neměl vědět*, 2014. [online]. [cit. 2022-06-30]. Dostupné z: <https://echo24.cz/a/irjYT/kystym-jaderna-katastrofa-o-niz-svet-nemel-vedet>

- Ekolist, *Three Mile Island. Největší jaderná nehoda v USA, která se nemusela stát*, 2022. [online]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/eseje/three-mile-island.nejvetsi-jaderna-nehoda-v-usa-ktera-se-nemusela-stat>
- Elektrina.cz, *Kudy putoval radioaktivní mrak z Černobyli nad Evropou?*, 2019. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/radioaktivni-mrak-z-cernobyli>
- ELEKTRO, *Japonská elektroenergetika – výroba elektrické energie*, 2007. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37460.pdf>
- HAVRÁNKOVÁ, Renata, *Biologické účinky ionizujícího záření*, 2020. [online]. [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/casopis-lekaru-ceskych/2020-7-8-1/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni-125501>
- HAVRÁNKOVÁ, Renata a kol., *Klinická radiobiologie*, 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2020. ISBN 978-80-247-4098-0
- History, *Nuclear disaster at Three Mile Island*, 2021. [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <https://www.history.com/this-day-in-history/nuclear-accident-at-three-mile-island>
- HOMOLA, Vladimír, *Úvod do statistiky*, 2014. [online]. [cit. 2022-07-30]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~hom50/SLBSTATS/UST/GS02.HTM>
- Chernobylzone, *Následky černobylské havárie*, 2012. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://chernobylzone.cz/nasledky/>
- JAROŠ, Luboš, 2013. *Znalosti obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie v jaderné elektrárně Černobyl*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. Vedoucí práce Zölzer Friedo, prof. Dr.rer.nat. DSc.
- JURANOVÁ, Eva, HANSLÍK, Eduard, *Havárie jaderné elektrárny Fukušima Daiiči a její vliv na životní prostředí*, 2012. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/vtei_2012_6.pdf
- KLENER, Vladislav. *Principy a praxe radiační ochrany*, 1. vydání. Praha: AZIN CZ, 2000. ISBN 80-238-3703-6.

Klub Praha 7, *Fukushima Daiichi: příčiny-průběh-následky*, 2011. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <http://www.klubpraha7.cz/?p=1740>

KOLEKTIV AUTORŮ. *Ochrana obyvatelstva a krizové řízení*, Praha: MV-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2015. ISBN 978-80-86466-62-0.

KŘ Vysočina, *Plán jodové profylaxe*, 2022. [online]. [cit. 2022-06-25]. Dostupné z: https://extranet.kr-vysocina.cz/download/osh/VHP_12/PKC/05%20jodov%C3%A1%20profylaxe.htm

KUSALA, Jaroslav, *K vysokým energiím: Radioaktivita*, 2005. [online]. [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/urychl/k12.htm>

LEATHERBARROW, Andrew. *Černobyl 01:23:40*, Praha: CPress, 2016. ISBN 978-80-264-3032-2.

MATOUŠEK, Jiří, ÖSTERREICHER, Jan, LINHART, Petr. *CBRN Jaderné zbraně a radiologické materiály*, 1. vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. ISBN 978-80-7382-029-6.

Mayak, *News of Rosatom*, 2022. [online]. [cit. 2022-06-30]. Dostupné z: <https://www.pomayak.ru/en/>

NAVRÁTIL, Leoš a kol., *Radiobiologie*, 2011. [online]. [cit. 2022-06-12]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/index.html>

NBCnews, *Fukushima nuclear plant water to be released into the ocean via undersea tunnel*, 2021. [online]. Dostupné z: <https://www.nbcnews.com/news/world/fukushima-nuclear-plant-water-be-released-undersea-tunnel-n1277630>

NEJEDLÝ, Petr, *Zemětřesení v Japonsku a jaderná elektrárna Fukušima*, 2011. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://nejedly.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=181735&setver=touch>

Oenergetice, *Během roku 2019 bylo odstaveno více jaderných reaktorů, než kolik jich zahájilo provoz*, 2020. [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/jadernerne-elektrarny/behem-roku-2019-bylo-odstaveno-vice-jadernych-reaktoru-nez-kolik-jich-zahajilo-provoz>

Oenergetice, *Havárie v jaderných zařízeních 1: 50. léta*, 2015. [online]. [cit. 2022-06-30]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/zahranicni/nehody-v-jadernych-zarizenich-1-50-leta>

Oenergetice, *Těžba a zpracování uranu: část 1*, 2017. [online]. [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/tezba-zpracovani-uranu-cast-1>

Office of Nuclear Energy, *5 Facts to Know About Three Mile Island*, 2022. [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/ne/articles/5-facts-know-about-three-mile-island>

ORTHOVÁ, Nikola, 2015. *Vnímání obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima*. České Budějovice. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. Vedoucí práce Zölzer Friedo, prof. Dr.rer.nat. DSc.

Peak.cz, *Nejhorší jaderná nehoda pro Japonsko: Tokaimura 1999*, 2019. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.peak.cz/nejhorsi-jaderna-nehoda-pro-japonsko-tokaimura-1999/18918/>

PLOKHY, Serhii. *Černobyl, historie jaderné katastrofy*, Praha: Jota, 2019. ISBN 978-80-756-5462-5.

PROUZA, Zdeněk, ŠVEC, Jiří. *Zásahy při radiační mimořádné události*, 1. vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. ISBN 978-80-7385-046-3.

Radioactivity, *Windscale Accident*, b. r. [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Windscale_Accident.htm

ROYIK, Tetyana, 2019. *Informovanost obyvatelstva Kraje Vysočina o havárii jaderné elektrárny Černobyl*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. Vedoucí práce Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, *10 let od havárie jaderného reaktoru v Černobylu – důsledky a poučení*, 1996. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/10let_od_Cernobylu.pdf

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, *Monitorování radiační situace*, 2019. [online]. [cit. 2022-08-02]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/monitorovani-radiacni-situace#c1606>

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, *Ochranná opatření při radiační mimořádné události*, b.ra. [online]. [cit. 2022-06-12]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/ochranna-opatreni-pri-radiacni-mimoradne-udalosti/>

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, *Situace na jaderných elektrárnách v regionu postiženém silným zemětřesením následovaným vlnou tsunami*, b. rb. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/Fukusima/Vznikhavarie.pdf>

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, *Stručný přehled biologických účinků záření*, b.rc. [online]. [cit. 2022-06-12]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/>

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, *Uplynulo 10 let od jaderné havárie na elektrárně Fukušima I*, 2021. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/aktualne/detail/dnes-si-pripominame-10-let-od-jaderne-havarie-na-elektrarne-fukusima-i>

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, *V japonské Tokaimuře došlo k jaderné havárii*, 1999. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/archiv-ostatnich-zprav/tiskove-zpravy/v-japonske-tokaimure-doslo-k-jaderne-havarii>

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., *Ochranná opatření při radiační mimořádné události*, 2022. [online]. [cit. 2022-06-25]. Dostupné z: <https://rmu.suro.cz/clanky/ochranna-opatreni>

Svět energie, *Energetické reaktory*, b. r. [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-podrobne/charakteristika-zdroje/energeticke-reaktory>

Třípól, *Radiační neštěstí v Goiánii*, 2018. [online]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/jaderna-fyzika-a-energetika/2185-radiacni-nestesti-v-goianii>

TV Piešťany, *Začíná výmena jódových tabliet*, 2017. [online]. Dostupné z: <http://piestanytv.sk/zacina-vymena-jodovych-tabliet/>

US-Russian Joint Coordinating Committee for Environmental Restoration and Waste Management, *Mayak production association*, 2013. [online]. [cit. 2022-06-30]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20130218013344/http://www.jccem.fsu.edu/Partners/MAYAK.cfm>

VTM, *Kyštymská katastrofa: Třetí nejhorší jaderná havárie, o které se nikdo neměl dozvědět*, 2019. [online]. [cit. 2022-06-30]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/kystymska-katastrofa-treti-nejhorsijaderna-havarie-o-ktere-se-nikdo-nemel-do-zvedet/sc-870-a-198798/default.aspx>

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

Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 172.

Vyhláška Ministerstva vnitra č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva, 2002. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 133, s. 7733. ISSN 1211-1244.

WAGNER, Vladimír, *Fukušima I poté*. 1. vydání. Praha: Novela bohemika, 2015. ISBN 978-80-87683-45-3.

Wikimedia Commons, *Map slovakia jaslovske bohunice*, 2005. [online]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_slovakia_jaslovske_bohunice.png

Wikipedia, *Mapa Východouralské radioaktivní stopy (EURT): oblasti kontaminované v důsledku kyštymské katastrofy*, 2010. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Ky%C5%A1tymk%C3%A1_katastrofa#/media/Soubor:Ostural-Spur.png

Wikipedia, *Satelitní snímek jaderného zařízení*, 2010. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Majak#/media/Soubor:Satellite_image_map_of_Majak.jpg

Wikipedia, *Schéma reaktoru RBMK*, 2008. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RBMK#/media/Soubor:RBMK.jpg>)

Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, 2016. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 102, s. 3942., ISSN 1211-1244

ZÁŠKODNÝ, Přemysl, HAVRÁNKOVÁ, Renata, HAVRÁNEK, Jiří, VURM, Vladimír. *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. 2. vydání. Praha: CURRICULUM, 2011. ISBN 978-80-904948-2-4.

Zpravodajství.ecn, *Zdravotní stav obyvatel*, b. r. [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <http://zpravodajstvi.ecn.cz/ENV/Temelin/c11/ZDRAVI.HTM>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ANO	Akutní nemoc z ozáření
Bq	becquerel
BWR	Boiling Water Reactor
CIA	Central Intelligence Agency
ČSR	Česko-Slovenská republika
EURDEP	The European Radiological Data Exchange Platform
Gy	gray
IAEA	International Atomic Energy Agency
INES	The International Nuclear Event Scale
km	kilometr
km ²	kilometr čtvereční
mGy	miligray
MW	megawatt
MWt	megawatt tepelný
PBq	penta becquerel
RBMK	Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj
RMU	radiační mimořádná událost
SUJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SURO	Státní ústav radiační ochrany
TBq	tera becquerel
TEPCO	Tokio Electric Power Company
TNT	trinitrotoluen
VVER	vodo-vodní energetický reaktor

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Mezinárodní stupnice hodnocení jaderných událostí

Obrázek 2: Tablety jodidu draselného

Obrázek 3: Areál jaderného komplexu Majak

Obrázek 4: Mapa Východouralské radioaktivní stopy

Obrázek 5: Komplex jaderných reaktorů Windscale a jejich poloha

Obrázek 6: Poloha jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice

Obrázek 7: Jaderná elektrárna Three Mile Island

Obrázek 8: Schéma reaktoru RBMK

Obrázek 9: Reaktorová budova po výbuchu

Obrázek 10: Kryt černobylského reaktoru

Obrázek 11: Odklizení kontaminované půdy

Obrázek 12: Jaderná elektrárna Fukušima I

Obrázek 13: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 1

Obrázek 14: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 2

Obrázek 15: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 3

Obrázek 16: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 4

Obrázek 17: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 5

Obrázek 18: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 6

Obrázek 19: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 7

Obrázek 20: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 8

Obrázek 21: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 9

Obrázek 22: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 10

Obrázek 23: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 11

Obrázek 24: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 12

Obrázek 25: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 13

Obrázek 26: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 14

Obrázek 27: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 15

Obrázek 28: Procentuální zastoupení odpovědí u otázky č. 16

Obrázek 29: Procentuální zastoupení správných odpovědí

10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – dotazník

PŘÍLOHY

Příloha A – dotazník

Dobrý den,

jsem studentkou Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity, oboru Civilní nouzová připravenost. Ráda bych Vás požádala o vyplnění krátkého a zcela anonymního dotazníku, který je součástí mé diplomové práce. Výsledky dotazníku využiji výhradně ve své práci věnující se tématu úrovně znalostí obyvatelstva Jihočeského kraje o vybraných radiačních mimořádných událostech.

Děkuji Vám za Váš čas,

Bc. Tereza Třešničková

1. Ve kterém roce se odehrála havárie v jaderné elektrárně Černobyl?

- a) 1968
- b) 1986
- c) 1989
- d) 2001

2. Kterým stupněm na Mezinárodní stupnici jaderných událostí (The International Nuclear Event Scale – INES) byla havárie v Černobylu hodnocena?

- a) 4. stupeň – havárie bez vážnějšího vlivu na okolí
- b) 5. stupeň – havárie s rizikem vlivu na okolí
- c) 6. stupeň – těžká havárie
- d) 7. stupeň – velmi těžká havárie

3. Jaké byly příčiny havárie v Černobylu?

- a) neprováděné kontroly na pracovišti elektrárny
- b) přírodní katastrofa a nedostatečná kompetence personálu
- c) nevhodná konstrukce reaktoru, špatně provedená zkouška, nedostatečná kompetence personálu
- d) jen nevhodná konstrukce reaktoru

4. Jak se radioaktivní látky po havárii v Černobylu dostaly do tehdejší ČSSR?

- a) v potravinách dovážených z oblasti havárie
- b) s radioaktivním mrakem a následným spadem
- c) přes ropovod Družba
- d) vnější kontaminací osob a jejich následnou migrací

5. Ve kterém roce se odehrála havárie v jaderné elektrárně Fukušima?

- a) 1986
- b) 2001
- c) 2011
- d) 2018

6. Které události havárii v elektrárně Fukušima předcházely?

- a) zemětřesení a vlna tsunami
- b) výbuch sopky a zemětřesení
- c) povodně a sesuv půdy
- d) jen vlna tsunami

7. Kterým stupněm na Mezinárodní stupnici jaderných událostí (The International Nuclear Event Scale – INES) byla havárie ve Fukušimě hodnocena?

- a) 4. stupeň – havárie bez vážnějšího vlivu na okolí
- b) 5. stupeň – havárie s rizikem vlivu na okolí
- c) 6. stupeň – těžká havárie
- d) 7. stupeň – velmi těžká havárie

8. Následkem čeho zemřelo po havárii v jaderné elektrárně Fukušima nejvíce lidí?

- a) ozáření
- b) výbuchu a následného požáru
- c) špatně provedené evakuace a následného vyčerpání
- d) nikdo nezemřel

9. Ve kterém státě leží výzkumné středisko Chalk River, kde došlo v roce 1952 k první závažné jaderné havárii?

- a) v Kanadě
- b) v USA
- c) v Mexiku
- d) ve Velké Británii

10. Jak se nazývá a kde se nachází ruský jaderný komplex pro zpracování radioaktivního materiálu, ve kterém došlo v roce 1957 k významné jaderné havárii, tzv. Kyštymské havárii?

- a) Rosatom v Moskevské oblasti
- b) Sibiřská jaderná elektrárna v Tomské oblasti
- c) Majak v Čeljabinské oblasti
- d) Obninsk v Kalužské oblasti

11. Jak se nazývá dlouhodobě kontaminovaná oblast, která vznikla po Kyštymské havárii?

- a) Sibiřská kontaminovaná oblast
- b) Transsibiřská magistrála
- c) Altajská radioaktivní stopa
- d) Východouralská radioaktivní stopa

12. Co bylo zakázáno konzumovat v okolí elektrárny po havárii grafitového reaktoru Windscale ve Velké Británii v roce 1957?

- a) maso
- b) mléko
- c) houby
- d) nic zakázáno nebylo

13. Ve které jaderné elektrárně došlo v 70. letech k jediné jaderné havárii v bývalém Československu?

- a) Jaslovské Bohunice
- b) Řež

- c) Dukovany
- d) Mochovce

14. Pokračovali Američané ve výstavbě jaderných reaktorů po havárii elektrárny Three Mile Island v roce 1979?

- a) ne, žádný nový reaktor postaven nebyl
- b) ano, s výstavbou se nepřestalo
- c) ano, ale až v roce 2012
- d) ne, další výstavbu plánují na rok 2023

15. Jaký radioaktivní izotop byl obsažen v odcizeném radioterapeutickém zdroji v brazilské Goiânii v roce 1987?

- a) jod 131
- b) stroncium 90
- c) uran 238
- d) cesium 137

16. Co bylo příčinou smrti dvou pracovníků závodu na obohacování uranu v japonské Tokaimuře, kde byli v roce 1999 ozáření vysokou dávkou neutronů?

- a) radiační dermatitida
- b) akutní nemoc z ozáření
- c) rakovina
- d) nezemřeli