



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Studies

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

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

Bakalářská práce

Vnímání obyvatel ČR o radiačních rizicích
vyplývajících z havárie jaderné elektrárny
Fukušima

Vypracovala: Nikola Orthová
Vedoucí práce: prof. Dr. Friedo Zölzer, Ph.D.

České Budějovice 2015

Abstrakt

Vnímání obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima

Fukušimská havárie se jistě řadí mezi jednu z největších a nejzávažnějších jaderných havárií v dějinách lidstva. Tato havárie byla klasifikována nejvyšším stupněm mezinárodní stupnice pro klasifikaci radiačních událostí, protože došlo k masivnímu úniku radionuklidů do životního prostředí, zejména do ovzduší a podzemních vod, které se přirozeně prosakují do vod mořských. Stejný stupeň, tedy sedmý stupeň INES, měla i jaderná havárie v Černobylu. Tuto havárii způsobilo zemětřesení mořského dna a následná vlna tsunami, která vyřadila z provozu chlazení a napájení tří reaktorů, tím že odnesla palivové nádrže diesellových generátorů. I když zde nedošlo k úmrtí vlivem ozáření, a dokonce u nikoho nebyla prokázána nemoc z ozáření, tak se stejně, jako po Černobylské havárii, i po této začalo diskutovat o jaderné energii po celém světě. Na popud Fukušimské havárie byly zastavovány jaderně energetické programy napříč celým světem, zvedaly se i vlny nevole s provozem funkčních jaderných elektráren. Největší škody na životech a zdraví způsobila hektická a nešetrná evakuace, zejména nemocničních zařízení.

Pro tuto bakalářskou práci byly si vytyčeny tyto cíle: a) vypracovat přehled účinků a následků radioaktivního záření na člověka způsobených únikem radioaktivních látek při havárii jaderné elektrárny Fukušima; b) provést analýzu znalostí a mínění obyvatel žijících v České republice o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima; c) provést porovnání znalostí a mínění obyvatel České republiky ve vztahu k místu bydliště.

Vzhledem k tomu jaký byl předpokládaný stav, byly zvoleny tyto hypotézy:

H₁: Obyvatelé České republiky mají základní znalosti o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima.

H₂: Ve všech regionech České republiky mají lidé stejné znalosti.

Toto téma bylo zpracováno na základě dostupných literárních zdrojů, internetových zdrojů a zpráv, vydaných institucemi, které se danou problematikou zabývají. V úvodní

částí je předložen přehled možných zdrojů ozáření obyvatel, přehled významných jaderných a radiačních havárií a podrobně rozebranou Fukušimskou havárií a její následky. V další kapitole jsou vypracovány přehledy jednotlivých radiobiologických účinků ionizujícího záření na organismus člověka a dále je zde uveden přehled zdravotních potíží a onemocnění způsobené radiačním ozářením. Poslední kapitola této bakalářské práce se věnuje základním systémům radiační ochrany.

Zjištění stavu povědomí obyvatel bylo provedeno formou internetového dotazování, při kterém bylo osloveno 334 respondentů, prostřednictvím sociálních sítí. Jednotlivé otázky dotazníkového šetření byly sestaveny, tak aby zahrnovaly celou problematiku v dostatečné šíři, aby bylo možné objektivně zhodnotit znalosti obyvatel.

Odpovědi na každou otázku byly vyhodnoceny, sestaveny do tabulek, procentuálně vyjádřeny počty správných odpovědí a byly bodově ohodnoceny, spočítán průměr. Statistické hodnocení bylo provedeno testováním normality s použitím χ^2 -testu dobré shody. Vzájemné porovnání znalostí mezi vybranými kraji bylo provedeno testováním za pomoci dvouvýběrového t-testu na základě odhadu empirických parametrů z každého vybraného kraje.

Na základě statistického šetření není možné prohlásit, že obyvatelé České republiky mají základní znalosti o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima. A je nutné prohlásit, že znalosti obyvatel České republiky se statisticky významně liší.

Na závěr je nutné říci, že byly splněny všechny předem stanovené cíle této bakalářské práce. Ale dané hypotézy byly vyvráceny.

Klíčová slova: Jaderná havárie, Fukušima, ionizující záření, radioaktivní látky

Abstract

The perception of the Czech population on radiation risks resulting from Fukushima power plant accident

Fukushima accident is certainly among one of the biggest and most serious nuclear accident in human history. This accident was classified as the highest level of International nuclear event scale, because there was a massive release of radionuclides into the environment, particularly in the air and groundwater that seep into the waters of the sea. The same level, Seventh grade INES, was a nuclear accident in Chernobyl. This accident caused the seabed earthquake and subsequent tsunami that knocked out cooling operation and supply three reactors, the fuel tank that carried diesel generators. Although there had been no deaths due to radiation, and even in anyone has been radiation syndrome, so just as after the Chernobyl accident, even after this began to discuss nuclear energy worldwide. Because Fukushima nuclear accident, they were stopped nuclear programs across the World. People disagreed with the operation of nuclear power plants. The greatest damage to the lives and health caused hectic evacuation and intrusive, especially hospitals.

For this was to set out the following objectives: a) Develop an overview of the effects and consequences of radiation on humans caused by leakage of radioactive substances in the Fukushima nuclear power plant accident; b) analyze the knowledge and opinions of people living in the Czech Republic on radiation risks arising from the Fukushima accident; c) A comparison of the knowledge and opinion in the Czech Republic in relation to place of residence.

Given what was supposed state, were chosen following hypotheses:

H₁: Czech citizens have a basic knowledge on radiation risks stemming from Fukushima accident.

H₂: In all regions of the Czech Republic, people have the same knowledge.

This theme was elaborated on the basis of the available literature, web resources and reports issued by institutions that deal with this issue. In the first part gives an overview of possible sources of exposure of the population, an overview of major

nuclear and radiation accidents and analyzed in detail the Fukushima disaster and its aftermath. In the next chapter summaries are developed each radiobiological effects of ionizing radiation on the human organism and there is an overview of health problems and diseases caused by radiation. The last chapter of this thesis is devoted to basic radiation protection systems.

Findings the state of awareness of the population were in the form of Internet questioning, 334 respondents were interviewed through social networks. Single questions questionnaire has been compiled so as to include the whole issue of enough scope to be able to objectively assess the the knowledge of the population. Answers to each question were analyzed, compiled into tables, expressed as a percentage of correct answers were pointwise and rated, calculated average. Statistical analysis was performed using the testing normality χ^2 - goodness of tests. Mutual comparison of knowledge among the selected region was accomplished by testing with the assistance two-tailed t-test, based on an estimate of empirical parameters for each selected region.

Based on a statistical survey it is not possible declare that Czech citizens have a basic knowledge on radiation risks stemming from Fukushima accident. And it is necessary to declare that the knowledge of the Czech population statistically significant differences.

Finally, it must be said that all of the predetermined objective of this thesis. But the hypotheses have been disproved.

Key words: Nuclear powerstation, Fukushima, ionizing radiation, radioactive substances

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne (datum)

.....

Nikola Orthová

Poděkování

Touto cestou bych rád a poděkovat prof. Dr. Friedo Zölzerovi, Ph.D. za vedení práce a odborné konzultace, také chci poděkovat PhDr. Mgr. Dagmar Adámkové Korbuthové za pomoc s dotazníkovým šetřením.

Obsah

Seznam použitých zkratk	10
Úvod	11
1 Teoretická část	12
1.1 Výklad pojmů, jednotek a veličin	12
1.2 Zdroje ozáření	15
1.2.1 Přirozené zdroje ozáření	15
1.2.2 Umělé zdroje ozáření	18
1.2.3 Významné jaderné a radiační havárie	24
1.2.4 Radiační havárie ve Fukušimě	26
1.3 Radiobiologické účinky záření	29
1.3.1 Stádia účinků ozáření na živou hmotu	29
1.3.2 Zásahová a radikálová teorie	31
1.3.3 Stochastické a deterministické účinky ionizujícího záření	32
1.3.4 Akutní nemoc z ozáření	33
1.4 Základní principy radiační ochrany	34
1.4.1 Princip zdůvodnění	34
1.4.2 Princip optimalizace	34
1.4.3 Limitování ozáření	35
1.4.4 Bezpečnost zdrojů	35
1.4.5 Způsoby ochrany zdraví před IZ	35
2 Hypotézy otázka a metodika	37
2.1 Hypotézy	37
2.2 Metodika	37
3 Výsledky	39
3.1 Statistické šetření znalostí obyvatel ČR	41
3.2 Porovnání skupin - dvojnásobkové parametrické testování	47
4 Diskuze	55
5 Závěr	62
6 Seznam informačních zdrojů	63

7 Seznam tabulek	70
8 Seznam obrázků	71
9 Seznam příloh	72

Seznam použitých zkratk

IZ ionizující záření

RaO radioaktivní odpady

INES (The International Nuclear Event Scale), mezinárodní stupnice pro klasifikaci jaderných událostí

ANO akutní nemoc z ozáření

Úvod

Fukušimská havárie se řadí mezi nejzávažnější havárie, proto také byla ohodnocena nejvyšším, sedmým stupněm mezinárodní stupnice pro klasifikaci jaderných událostí INES, stejně jako Černobylská havárie. Stala se 11. března 2011 na pobřeží japonského ostrova Okinawa nedaleko města Fukušima. Tato havárie vyvolala diskuzi o jaderné energetických programech po celém světě. A také o bezpečnosti takových zařízení, jejich prospěchu a dalších aspektech jaderné energie. Na základě tohoto jsem se rozhodla vypracovat bakalářskou práci na téma „*Vnímání obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima*“.

Cíle této bakalářské práce jsem stanovila na vypracování přehledu účinků a následků radioaktivního záření na člověka. Provedla jsem analýzu znalostí a mínění obyvatel žijících v České republice o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima. Dále jsem provedla vyhodnocení a porovnání této analýzy ve vztahu k bydlišti respondentů. V úvodní části jsem se věnovala vypracování přehledu možných zdrojů ozáření obyvatel, přehledu významných jaderných a radiačních havárií a podrobně jsem rozebrala Fukušimskou havárii a její následky. V další kapitole jsou vypracovány přehledy jednotlivých radiobiologických účinků ionizujícího záření na organismus člověka a dále jsem zde uvedla přehled zdravotních potíží a onemocnění způsobených radiačním ozářením. Poslední kapitola této bakalářské práce se věnuje základním systémům radiační ochrany.

Za hlavní cíl této práce považuji zjistit rozsah znalostí obyvatel České republiky o radiačních rizicích vyplývajících z jaderné havárie Fukušima. Pro toto zjištění jsem použila metodu dotazníkového šetření, ze kterého jsem získané výsledky vyhodnotila a statisticky zpracovala. Doufám, že tato práce bude případným čtenářům ku prospěchu.

1 Teoretická část

1.1 Výklad pojmů, jednotek a veličin

Radioaktivita - je jev, při kterém dochází k samovolné přeměně atomových jader, a v důsledku toho je produkováno ionizující záření (dále jen „IZ“). (1)

Ionizující záření - je takové záření, které má takovou energii, která je schopná vyrážet elektrony z atomového obalu, tím ionizovat prostředí. Tento jev provází radioaktivní přeměny látek. (1)

- **Alfa záření** - je tvořeno částicemi, které se skládají ze dvou protonů a dvou neutronů, tedy prostými jádry helia, proto mají kladný náboj a velkou hmotnost. Tyto částice hustě ionizují, ale mají krátký dolet, ve vzduchu v řádech centimetrů, v tkáních jen několik mikrometrů. Interagují s okolním prostředím zejména ionizací a excitací. K odstínění alfa záření stačí materiály s malou atomovou hmotností, většinou i jen tenké vrstvy, jako je například list papíru. (2)
- **Beta záření** - je tvořeno buď to neutrony, identickými jako jsou neutrony nacházející se v atomovém obalu, avšak vznikají i při jaderných přeměnách, tyto mají záporný náboj. Nebo pozitrony, které jsou podobné jako neutrony, ale mají kladný elektrický náboj, vznikají při jaderných přeměnách. Jsou to antičástice neutronů a mají kladný elektrický náboj. Jejich dolet je vyšší než u částic alfa, ve vzduchu kolem jednoho metru. K jejich odstínění je třeba použít dvousložkové stínění, svrchní vrstva tohoto stínění musí být z lehčích materiálů, jako je plexisklo a druhá vrstva bývá tvořena kovem, nejčastěji železo, nebo hliník. (3)
- **Gama záření** - je tvořeno fotony, proto nemá žádný elektrický náboj ani klidovou hmotnost. Je emitováno jádry. Reaguje s atomovým obalem, a to ionizací excitací a je schopno i Comptonova rozptylu a fotoelektrického jevu. Je výrazně pronikavější než alfa a beta částice. K jeho odstínění se používají materiály

s vysokou hustotou, jakou jsou železo a beton. Gama záření je emitováno jádry.
(1)

- **RTG záření** - je také tvořeno fotony, jako v případě gama záření. Hlavní rozdíl spočívá v jejich vzniku, RTG záření je emitováno v důsledku sestoupení elektronu na nižší energetickou hladinu, kdy se přebytek energie vyzáří. RTG záření vzniká v rentgenové lampě, ta je tvořena trubicí s vakuem uvnitř, jejíž součástí je žhavená katoda z vinutého vlákna z kovu s vysokým atomovým číslem, často se používá wolfram, který slouží jako zdroj elektronů. Tyto elektrony jsou urychlovány elektrickým proudem a dopadají na kovovou anodu, tím vzniká brzdné a charakteristické rentgenové záření, dříve nazýváno paprsky X. Brzdné rentgenové je charakteristické širokým, spojitým energetickým spektrem. Toto záření je využíváno v diagnostice, terapii a defektoskopii. Charakteristické záření závisí na materiálu katody, používá se v analytické chemii. (4)
- **Neutronové záření** - je tvořeno volnými neutrony, jež jsou základními prvky atomových jader, nemají elektrický náboj. Jedná se o velmi pronikavé nepřímé IZ. Toto záření vzniká při jaderném štěpení nebo naopak při jaderné fúzi, v urychlovačích částic anebo při ostatních jaderných reakcích, jako je například rozpad jader. Neutronové záření je důležitou složkou kosmického záření. Své využití má i v nukleární medicíně. Na ochranu před tímto zářením je nutné používat lehké materiály, jako jsou parafin a voda. (5)

Aktivita (A) - je fyzikální veličina, která vyjadřuje počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Její jednotkou je Becquerel (Bq). Odpovídá jedné radioaktivní přeměně za jednu sekundu. Její rozměr je $1s^{-1}$. Tato jednotka je pojmenována po francouzském fyzikovi Henri Becquerelovi. Tato jednotka nahradila starší jednotku aktivity, curie Ci, 1 Ci odpovídá $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq. (6)

Dávka (D) - je kvantum energie sdělené určité látce IZ. Gray (Gy) je jednotkou vyjadřující dávku. 1Gy má rozměr $1J$ (Joule) $\cdot 1Kg^{-1}$. Jednotka Gray nahradila starší jednotku rad, 1 rad odpovídá 0,01 Gy. (7)

Radiační váhový faktor (W_r) - je to bezrozměrná veličina, to znamená, že nemá jednotku. Vyjadřuje jak je který druh ionizujícího záření nebezpečný pro lidský organismus. (8)

Tabulka 1 Hodnoty radiačních váhových faktorů podle doporučení ICRP

Druh záření	Radiační váhový faktor
Záření beta, gama, RTG	1
Neutrony	5 – 20 (podle energie)
Protony	5
Alfa	20

Zdroj: Publikace 103, Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany. (8)

Tkáňový radiační faktor (W_t) - vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu různých tkání. (8)

Tabulka 2 Hodnoty tkáňových váhových faktorů podle doporučení ICRP

Tkáň nebo orgán	Tkáňový váhový faktor
Kostní dřev, střevo, plíce, žaludek, prs	0,12
Gonády	0,08
Močový měchýř, jícen, játra, štítná žláza	0,04
Povrch kostí, mozek, slinné žlázy, kůže	0,01
Ostatní orgány celkem	0,12
Celkem	1

Zdroj: Publikace 103, Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany. (8)

Jakostní činitel (Q) - vyjadřuje rozdílnou biologickou účinnost jednotlivých druhů záření. Je funkcí lineárního přenosu energie. (8)

Ekvivalentní dávka (H_T) - je definována jako součin radiačního váhového faktoru a absorbované dávky. Tato veličina slouží k srovnávání účinnosti jednotlivých druhů záření. (8)

Efektivní dávka (E) - je veličina, která zohledňuje daný typ záření, jeho homogenitu a riziko vzniku stochastických účinků ionizujícího záření. Její jednotkou je Sievert (Sv). Její rozměr je $1\text{J (Joule)} * 1\text{Kg}^{-1}$. (8)

Nuklidy - jsou skupiny atomů, které mají stejné protonové číslo (počet protonů v jádře) a stejné nukleonové číslo (počet protonů a neutronů v jádře). Radionuklid je nestabilní nuklid. Podléhá samovolné jaderné přeměně. (9)

Izotopy - jsou takové nuklidy, které jsou stejným prvkem, ale liší se nukleonovým číslem. Mají tedy stejné protonové číslo (počet protonů v jádře). Většina prvků má více izotopů, některé přirozené a některé mohou být i uměle vytvořené. Radioizotopy jsou takové izotopy některých prvků, které podléhají samovolné jaderné přeměně. (9)

Poločas rozpadu - je doba, za kterou se rozpadne polovina jader určeného radionuklidu, tím se sníží jeho aktivita na polovinu. Díky tomuto jevu klesá aktivita daného množství radionuklidu exponenciálně. (6)

1.2 Zdroje ozáření

1.2.1 Přirozené zdroje ozáření

Přirozené zdroje ozáření můžeme dělit na terestriální, které je tvořeno radionuklidy obsaženými na Zemi a kosmické záření. (10)

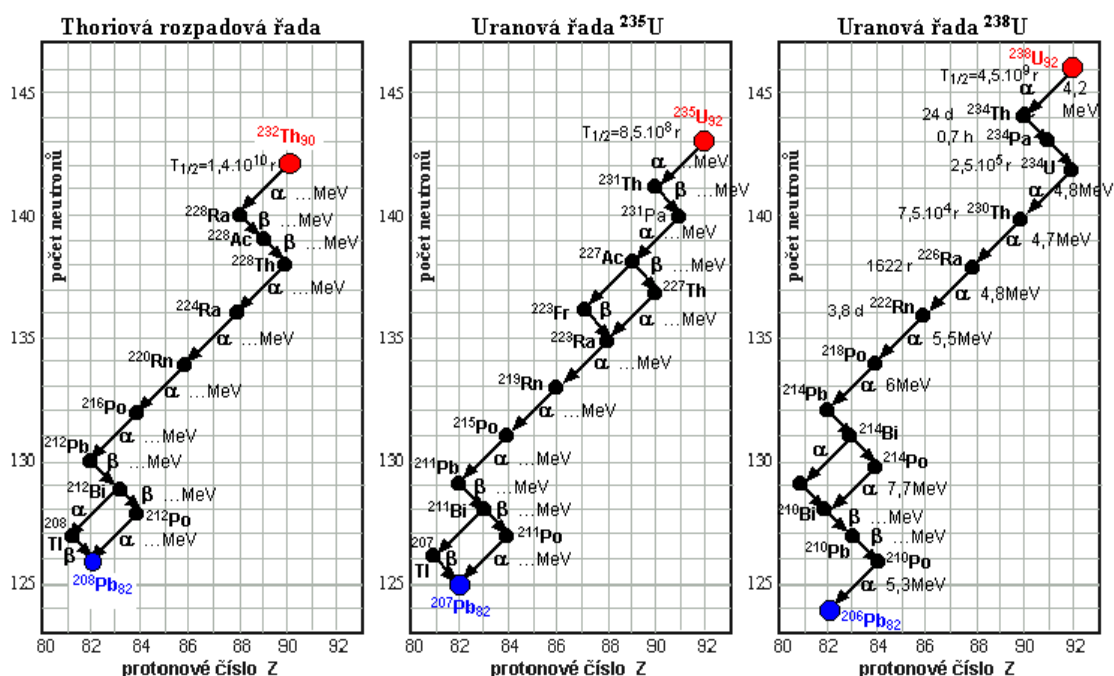
Terestriální záření - je emitováno radionuklidy, obsaženými v zemské kůře. Jejich rozdělení na Zemi není rovnoměrné, to je způsobeno geologickými procesy. Jejich zastoupení můžeme pozorovat zejména v horninách, půdách, některé rozpustné ve vodě a v plynném skupenství v atmosféře. Těmito cestami dochází ke kontaminaci živých organismů. (10)

- **Radionuklidy primordiální** - jsou ty radionuklidy, které vznikaly v počátcích vesmíru, jsou na Zemi od jejího vzniku. Díky jejich dlouhému poločasu rozpadu (10^8 let) je můžeme pozorovat i dnes. Teoreticky, můžeme uvažovat o některých radionuklidech s kratším poločasem rozpadu, které se již na Zemi nevyskytují. Mezi nejvýznamnější primordiální radionuklidy patří např. radioizotopy uranu (^{238}U , ^{235}U), thoria (^{232}Th), draslík (^{40}K) a jiné. (10)

- **Radionuklidy sekundární** - jsou ty radionuklidy, které vznikají rozpadem primordiálních radionuklidů v rozpadových řadách, ty existují čtyři: uran-radiová (uran ^{238}U - olovo ^{206}Pb); thoriová (thorium ^{232}Th - olovo ^{208}Pb); aktiniová (uran ^{235}U - olovo ^{207}Pb); neptuniová (plutonium ^{241}Pu - vizmut ^{209}Bi).

Jedním z nejnebezpečnějších sekundárních radionuklidů pro lidské zdraví patří radon - ^{222}Rn , je to radioaktivní plyn, bezbarvý a bez zápachu. Je to jeden z členů rozpadové řady uran-radiové (^{238}U) a vzniká rozpadem radia (^{226}Ra). Jedná se o alfa zářič s poločasem přeměny 3,8 dne. Je nebezpečný zejména v případě vnitřní kontaminace.

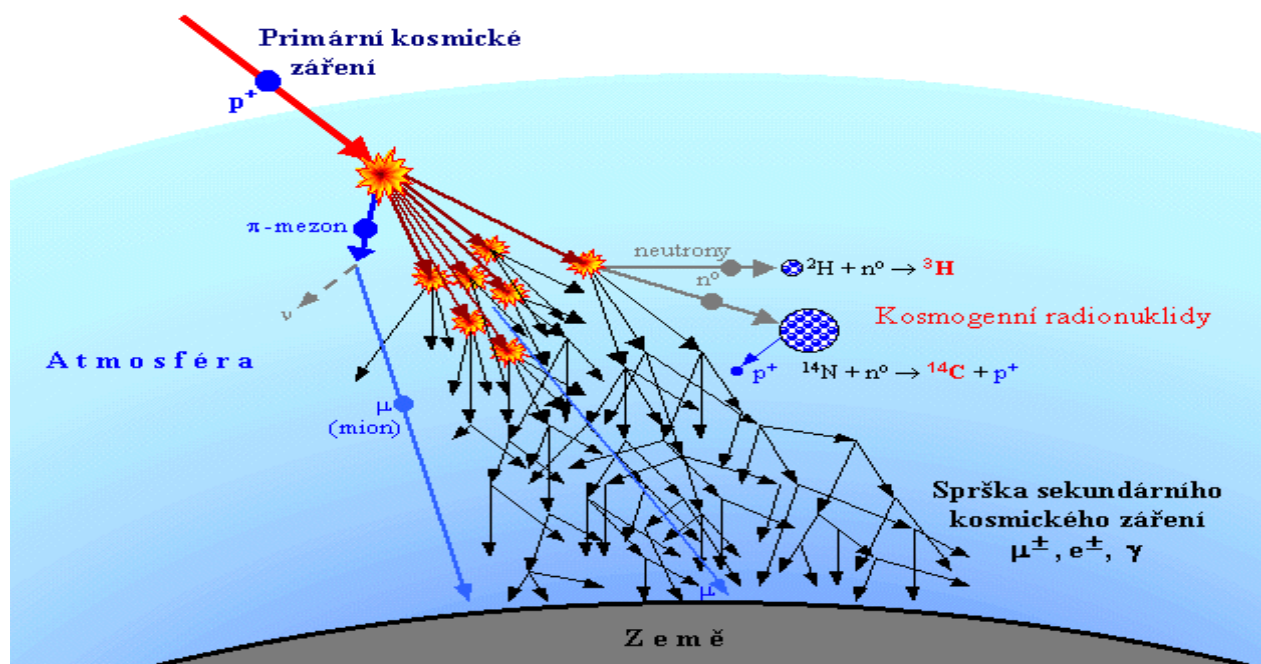
(10)



Obrázek 1 Rozpadové řady

Zdroj: <http://astronuklfyzika.cz/RozpadoveRady.gif> (1)

Kosmické záření - je proud vysokoenergetických částic a fotonů, který zahrnuje jak Sluneční záření, tak i záření hvězd a záření vzniklé astrofyzikálními procesy (např. výbuch supernovy). Intenzita kosmického záření závisí na intenzitě jeho intenzitě, nadmořské výšce a geomagnetické šířce země. (11)



Obrázek 2 Kosmické záření

Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>

- **Galaktické kosmické záření** - pochází z hlubokých částí vesmíru, je složeno zejména z protonů (85 %), jader helia nebo-li částic alfa (11 %), méně již těžších jader prakticky všech prvků periodické soustavy (1 %) a elektronů (3 %). (11)
- **Sluneční záření** - pochází především ze sluneční aktivity a slunečních erupcí. Je tvořeno z největší část protony (99%) a nabitými těžkými částicemi. (11)
- **Radiační Van Alenovy pásy** - jsou tvořeny protony a elektrony zachycenými v magnetickém poli Země. Jsou známy dva takové pásy. Vnější Van Alenův pás se středem asi ve 20 000 km nad zemským povrchem a vnitřní se středem asi 3 000 km od povrchu Země. (11)
- **Kosmogenní radionuklidy** - jsou takové radionuklidy, které vznikají průběžně, při průchodu kosmického záření atmosférou. Mezi nejvýznamnější kosmogenní radionuklidy patří radiouhlík (^{14}C) a tritium (^3H), vznikají v nejvyšším množství,

dále radioaktivní beryllium (^7Be , ^{10}Be), fosfor (^{32}P), síra (^{35}S) a chlor (^{36}Cl) vznikají v menší míře. (11)

1.2.2 Umělé zdroje ozáření

Ozáření ve zdravotnictví - zde se využívá radioaktivních látek i jiných zdrojů ozáření k diagnostice a terapii. (12)

- **Diagnostika**

Jednou z nejčastějších diagnostických metod je skiografie, tato metoda využívá rozdílného pohlcení rentgenového záření různými tkáněmi. Ze získaného obrazu je možné vyhodnotit stav a strukturu vnitřních orgánů a zejména kostí. Další častou metodou je scintigrafie, tato metoda je užívána in vivo. Pacientovy je podáno radiofarmakum, nejčastěji roztok gama zářiče metastabilního technecia ($^{99\text{m}}\text{Tc}$). Poté je scintilační kamerou snímáno gama záření emitované radiofarmakem. Díky této metodě je možné zobrazovat tkáň trojrozměrně, diagnostikovat různá onemocnění a vady na základě různé metabolické aktivity tání. Obdobné metody se používají také in vitro, při analytických metodách. (12)

- **Radioterapie a nukleární medicína**

Radioterapie a nukleární medicína je soubor léčebných metod využívajících zdrojů ionizujícího i neionizujícího záření. Tyto léčebné metody se využívají zejména u zhoubných nádorových onemocnění a vybraných nenádorových onemocnění, jako například onemocnění pohybového aparátu. Radioterapeutické metody jsou založeny na principu různé radiosenzitivity tkání. Z hlediska vzdálenosti zdroje od pacienta je možné odlišovat externí radioterapii a brachyterapii. V případě externí radioterapie je zdroj ozáření umístěn obvykle 80 cm od těla pacienta, nebo osy daného přístroje. (13)

Při brachyterapii se zdroj záření nachází v těsné blízkosti pacienta, také je vpravován přímo do orgánu či tkáň s nádorem. Jedná se o vysoké dávky záření s prudkým poklesem ve tkáních. Obě metody se používají samostatně nebo se v

indikovaných případech je možná jejich vzájemná kombinace. Dále je možné dělit externí radioterapii na: trojrozměrnou konformní radioterapii, radiochirurgii a velkoobjemové a speciální radioterapeutické metody.

Trojrozměrná konformní radioterapie nyní patří k standardním léčebným metodám. Ozařovaný objem tkáně je individuálně přizpůsoben nepravidelnému trojrozměrnému tvaru cílového objemu nádorové tkáně, tak aby byla co nejvíce šetřena okolní zdravá tkáň. (14)

Radiochirurgie je metoda léčby nádorových onemocnění, zejména hlavy a mozku, centrální nervové soustavy, pomocí přístrojů typu gama nůž a X-nůž. Tyto přístroje jsou založeny na trojrozměrném zobrazení dané vyšetřované tkáně, jejím přesným ozářením asi 200 kobaltovými gama zářiči, s možností přesného umístění. Velkou výhodou těchto metod je velmi přesné ozáření cílové tkáně a prudký pokles intenzity záření v okolních tkáních. (14)

Velkoobjemové a speciální radioterapeutické metody jsou takové metody, které ozařují velké objemy tkání, často celotělově, plošnými zdroji záření. Při těchto metodách dominuje vlastnost akutní toxicity záření. Nejčastěji se používá před transplantací kostní dřeně, k zničení stávající, postižení kostní dřeně. (15)

Další speciální metodou je protonová terapie, která využívá v léčbě urychlené protony. Protonový svazek má vyšší biologickou účinnost. Další výhodou je možnost maximální dávky záření v určité hloubce, a tím šetření zdravých tkání před i za cílovým objemem. (15)

Brachyterapii je možné dále dělit na primární radikální léčbu a paliativní terapii. Primární radikální léčba je indikována pro malé nádory, dobře a přesně lokalizované nádory v počátečním stádiu. Paliativní aplikace je užívána pro zmírnění bolestí a krvácivosti v již ozářené tkáni. (15)

Ozáření v průmyslu

- ***Jaderné reaktory***

Při výrobě energie v jaderných reaktorech vznikají štěpné a aktivační produkty. Štěpné produkty vznikají vlastním štěpením jaderného paliva, mezi nejvýznamnější patří vzácné plyny krypton (^{85}Kr), xenon (^{133}Xe), izotopy jódu (^{131}I , ^{133}I) a stroncium (^{90}Sr), cesium (^{134}Cs , ^{137}Cs). Aktivační produkty vznikají aktivací neutronů v palivu samém a v pokrytí paliva v konstrukčním materiálu i v chladihu primárního okruhu, mezi nejvýznamnější patří cer (^{51}Cr), železo (^{55}Fe), mangan (^{57}Mn), kobalt (^{60}Co), nikl (^{59}Ni) a zinek (^{65}Zn). Dále také aktivační produkty chladiwa, to jsou zejména transurany jako plutonium (^{239}Pu) a dále tritium (^3H), uhlík (^{14}C). Tyto a další radioaktivní látky, nacházející se v technologickém zařízení jaderného reaktoru, je nutné je z těchto částí pravidelně odstraňovat, a to z důvodů jak technologicko-funkčních tak i z důvodů bezpečnostních. Při provozu jaderných reaktorů dále vznikají nízko a středně aktivní odpady, které jsou po jejich uvedení do pevné matrice a uzavření do předepsaných obalů ukládány v úložištích jaderného odpadu. Plynné a aerosolové odpady jsou po filtraci a minimalizaci jejich aktivity vypouštěny do ovzduší neustále monitorovanými průduchy a komíny, tyto odpady se skládají zejména ze vzácných plynů, izotopů jodu a uhlíku (^{14}C). (16)

- ***Radioaktivní odpady***

Radioaktivní odpady jsou látky, předměty a zařízení, které obsahují radionuklidy, nebo jsou jimi kontaminované a nepředpokládá se pro ně žádné další využití. V každém odvětví, které pracuje se zdroji záření, vznikají radioaktivní odpady (dále jen „RaO“). Jedna skupina radioaktivních odpadů jsou odpady v jaderné energetice. Jedná se o nejrůznější kapaliny, usazeniny, pomůcky a materiály, které přišly při provozu jaderné elektrárny do kontaktu s radionuklidy a také vyhořelé jaderné palivo. Druhá skupina je tvořena institucionálními odpady, které vznikají ve zdravotnictví, průmyslu, zemědělství či výzkumu. Mohou to být staré

měřicí přístroje a radioaktivní zářiče, znečištěné pracovní oděvy a další kontaminované materiály. RaO je možné dělit podle jejich aktivity na: přechodné, nízko-aktivní, středně-aktivní a vysoko-aktivní. Jejich zneškodňování spočívá v zabezpečení jejich úplné izolace od životního prostředí, a to po celou dobu, po kterou mohou pro člověka a životní prostředí představovat riziko. RaO v kapalném skupenství je nutné uvést do pevné matrice, nejčastěji se užívá dehet a plexisklo. Pevné odpady je nutné slisovat, aby zaujímaly co nejmenší prostor. Takto upravené odpady je nutné odizolovat od vnějšího prostředí, to je uložit do kovového sudu, opatřeného antikoročním nátěrem a uloženého do dalšího sudu, ošetřeného stejným způsobem, meziprostor je vyplněn betonem. Takto zabezpečené odpady jsou ukládány v přechodných a stálých úložištích radioaktivních odpadů. (17)

- ***Defektoskopie***

Defektoskopie je nedestruktivní metoda zkoumání celistvosti materiálů a odhalování jejich vad a vad finálních výrobků. Pro účely této metody se využívá rozličných fyzikálních jevů, mezi nimi i ionizujícího záření. Daný výrobek je ozařován zářením gama, případně průmyslovým RTG, na základě rozdílného pohlcení záření je možné vyhodnotit vady výrobku, jako je pórovitost, tloušťka a celistvost. Podobným způsobem je možné zkoumat pevnost a těsnost spojů a svárů dálkového potrubí. Tato metoda je aplikována přiložením vhodného zářiče na jednu stranu daného potrubí a film na druhou stranu. Postupným posouváním je možné získat kompletní snímek sváru nebo spoje dálkového potrubí a na základě obrazu, vytvořeného rozdílným pohlcením záření různými materiály a různou tloušťkou materiálů, je možné vyhodnotit eventuální vady a netěsnosti. Pro tyto účely se nejčastěji používá radioizotop iridia (^{192}Ir), s poločasem rozpadu asi 74 dní. Další defektoskopické metody využívající IZ jsou stopovací metody. Aplikují se přidáním vhodného radioizotopu do materiálů určených k mísení, který se poté vyhledává a měří se tímto rovnoměrné promísení materiálů. Dále je možné touto metodou zkoumat těsnost a úniky v potrubních systémech. Plynná nebo kapalná směs vhodné

látky a vhodného radionuklidu je vpravena do takového systému a dále se vyhledává únik daného vhodného radionuklidu. (18)

- ***Hustoměry, hladinoměry***

Hustoměry a hladinoměry jsou přístroje, které využívají záření gama k zjištění hustoty, detekci hladiny a hloubky. Měření hustoty je založeno na principu zeslabení záření gama při průchodu měřeným materiálem, nejčastěji zrnitým, práškovitým materiálem, nebo kapalinou. Základní podmínka je, aby tloušťka vrstvy materiálu byla konstantní. Hustoměry nacházejí uplatnění hlavně při dopravě materiálů potrubím v úpravárnách uhlí, cukrovarech, chemickém a potravinářském průmyslu. Jako zářiče se většinou používá cesium ^{137}Cs nebo kobalt ^{60}Co . Podobně jako u tloušťkoměrů lze použít i rozptylové metody, které se využívají hlavně u karotážních měření pro potřeby geologického průzkumu. Další podobnou aplikací jsou hladinoměry, používají se v nádržích a tancích s kapalinami. Můžeme je dělit podle smyslu jejich určení na limitní snímače a snímače spojitého měření. Limitní snímače jsou umístěny na bocích dané nádrže, tak aby zajišťovali zjištění minimální a maximální hladiny kapaliny v této nádrži. Snímače spojitého měření jsou umístěny na vrchní a spodní straně takové nádrže, existuje ve formě stacionární a přenosné. Tyto snímače jsou schopny detekovat přesnou hladinu. (19)

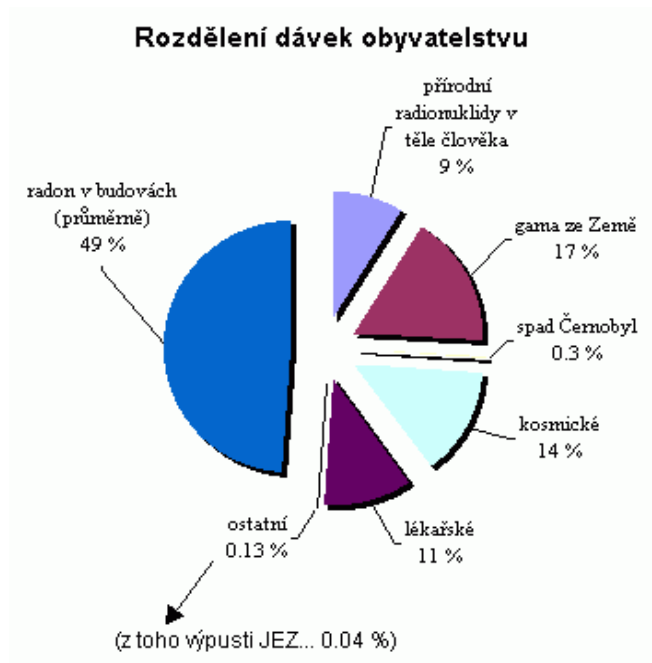
- ***Tloušťkoměry***

Tloušťkoměry také využívají absorpce nebo rozptylu záření. Slouží ke kontrole tloušťky válcovaného a lisovaného materiálu. Volba zářiče závisí na tloušťce a povaze materiálu. Pro tenké materiály, jako je papír a fólie jsou využívány beta zářiče, nejčastěji krypton ^{85}Kr , thalium ^{204}Tl , stroncium ^{90}Sr , k měření silnějších materiálů se používá gama záření, jako jsou cesium ^{137}Cs a kobalt ^{60}Co . (19)

- ***Ionizační hlásiče kouře***

Ionizační hlásiče kouře jsou založeny na principu zeslabení záření při průchodu prostředím. Skládají se z alfa zářiče a čidla elektrické požární signalizace. V

přítomnosti kouře dojde ke změně absorpce prostředí, tato změna se zaznamená systémem požární signalizace. Z takových hlásičů požáru žádné záření nevychází, pokud není porušený obal, po jejich dosloužení se stávají radioaktivním odpadem. (20)



Obrázek 3 Rozdělení dávek obyvatelstva

Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/davky.gif>

Jaderné zbraně

Jaderná zbraň je zbraň hromadného ničení, která využívá energii uvolněnou při neřízené jaderné reakci. Jaderné zbraně se dají použít za každého počasí, ročního období a v kteroukoli roční dobu. Jsou určeny k likvidaci živé síly, techniky i staveb. Po Druhé světové válce došlo k masivnímu vývoji jaderných zbraní. Jaderné zbraně můžeme dělit podle typu reakce na štěpné a termonukleární. Štěpné zbraně jsou založeny na principu štěpené reakce, obsahují dvě podkritická množství radioaktivního materiálu a konvenční trhavinu, která v případě iniciace spojí radioaktivní materiál na jedno nadkritické množství, a tím spustí neřízenou štěpnou jadernou reakci. Termonukleární zbraně jsou založeny na jaderné fúzi, tedy slučování jader lehkých prvků. Taková zbraň se skládá ze

štěpné jaderné bomby, která je použita jako iniciátor fúzní reakce. Aby byla možná jaderná fúze je nutné dosažení vysoké teploty. Radiologické nálože sice nejsou v pravém slova smyslu jadernými zbraněmi, protože zde nedochází k žádným jaderným reakcím, ale také využívají radioaktivních látek. Jejich konstrukce je stejná jako u konvenčních zbraní, ale nesou radioaktivní látky. Při výbuchu konvenční trhaviny jsou do okolí rozmetány radioaktivní úlomky. (21)

Ostatní zdroje ozáření

Ostatní zdroje ozáření jsou předměty běžného užívání i dekorativní předměty, jejichž složkou je nějaký radioizotop. Například uranové sklo, používá se v bižuterii pro svojí zelenou barvu, dále některé fosforeskující ciferníky a rafičky hodin. (22)

1.2.3 Významné jaderné a radiační havárie

Windscale

V britském městě Windscale byl jaderný reaktor na výrobu plutonia pro vojenské účely. Zde došlo 8. října 1957 chybou personálu k přehřátí palivových článků a následně pak k požáru. Tento požár hořel tři dny, po tuto dobu unikal radioaktivní jód (^{131}I). Tato havárie byla ohodnocena pátým stupněm mezinárodní stupnice pro klasifikaci jaderných událostí INES, tedy událost s možným vlivem na okolí. Následně byl zakázán prodej mléka pocházejícího z oblasti 500 km² kolem havarovaného reaktoru. Tento reaktor se po této události nikdy nevrátil do provozu. (23)

Saint Laurent

V této francouzské elektrárně Saint Laurent došlo 17. října 1969 při výměně některých palivových článků, automaticky řízený program hlásil prázdnou přihrádku, jeho obsluha navzdory předpisům chtěla tyto články vyměnit ručním ovládním. Tato přihrádka byla plná grafitových zátek, které zavedli do reaktoru místo paliva. To přerušilo cirkulaci chladícího media a tím způsobilo přehřátí a roztavení palivových článků. Tato havárie byla ohodnocena čtvrtým stupněm INES. Daný operátor byl za své

pochybení potrestán třemi roky vězení. Podobná nehoda se stala v roce 1980, v obou případech nikdo neutrpěl žádná zranění a radiace neunikla mimo prostory elektrárny. (24)

Jaslovské Bohunice

V této československé jaderné elektrárně došlo k nehodě 5. ledna 1976. Unikl vysoce radioaktivní oxid uhličitý do haly reaktoru, protože nedošlo k úplnému zasunutí palivových článků. Vyžádala si evakuaci jaderné elektrárny a dva životy jejích zaměstnanců, protože ti běželi k nouzovým východům, které byly uzamčené, z důvodu častých krádeží. Tato nehoda nebyla tak závažná jako ta následující, ze dne 22. února 1977. Zde při odstávce reaktoru, při výměně a zavážení nového paliva, ve spěchu spustili do reaktoru palivový článek ucpaný silikagelem. Chladicí medium nemohlo proudit tímto článkem a on se přehříval. Na základě toho došlo k částečnému roztavení aktivní zóny a kontaminaci sekundárního okruhu štěpnými produkty. Tato havárie byla ohodnocena čtvrtým stupněm INES. Na počátku roku 2009 některé reaktory této elektrárny vyráběly elektrickou energii, v současné době se však pracuje na jejím odstranění. (25)

Tree mile island

V této americké jaderné elektrárně Tree mile island se 28. března 1979 porouchalo čerpadlo parogenerátoru, sice se téměř okamžitě spustila záložní čerpadla, ale ta vodu stejně nedodávala, díky chybě údržbářů, kteří při běžné kontrole zařízení ručně uzavřeli přívod vody do záložních čerpadel. Došlo k přehřátí parogenerátoru a havarijní automatika zastavila turbogenerátory a spustila havarijní tyče do aktivní zóny, tím prudce stoupla teplota. Obsluha se snažila udržet průtok chladicího media reaktorem, v této fázi automatika spustila všechna čerpadla primárního okruhu, ale nikdo nemohl tušit, že se jeden ventil kompenzátorů objemu zasekne a tím způsobí kolísání hladiny a tím přehřívání částí paliva nad hladinou. Tato havárie byla ohodnocena pátým stupněm INES. Nikdo nepřišel o život, dokonce ani nikdo nebyl zraněn. (26)

Černobyl

Nedaleko ukrajinského městečka Černobyl leží elektrárna V. I. Lenina. Dne 26. dubna 1986 zde došlo k nejhorší havárii v dějinách lidstva. K takto závažné havárii došlo vlivem nedodržení technologických podmínek zátěžového pokusu, který měl ověřit bezpečnost elektrárny v případě výpadku elektřiny. Tento pokus měla provádět odborně proškolená směna, ale díky kolísání výkonu reaktoru tento pokus neprováděla. Vedoucí následující směny rozhodl o provedení pokusu i přes nízký výkon reaktoru. Aby byl výkon zvýšen, úplně vysunuli všechny regulační i havarijní tyče nad aktivní zónu, toto později způsobilo neřízenou štěpnou reakci v aktivní zóně. Výkon reaktoru začal prudce stoupat a bylo třeba jej regulovat. Znovu spuštění regulačních i havarijních tyčí zprvu způsobilo ještě větší zvýšení výkonu a přehřátí aktivní zóny a tím i pokřivení kanálů tyčí, proto se nemohly plně spustit a zastavit tak neřízenou jadernou reakci a přehřívání reaktoru. Došlo k termolýze chladicí vody a tím k výbuchu. Tento výbuch rozmetl trosky reaktoru a paliva do okolí. Následovalo několik menších výbuchů a požár elektrárny, další tavení kontejmentu a propad reaktoru. Ihned došlo k sublimaci jedné osoby, asi 30 osob zemřelo v důsledku akutní nemoci z ozáření a na 200 osob bylo touto nemocí postiženo. Bylo evakuováno více než 100 000 lidí, tato evakuace byla zahájena až tři dny po havárii. Likvidace této havárie byla velmi nákladná, jak na techniku, tak i na lidské zdroje, na její likvidaci se podílelo více než 500 000 lidí. Tato havárie byla nejzávažnější, byla ohodnocena nejvyšším, sedmým stupněm INES. (27)

1.2.4 Radiační havárie ve Fukušimě

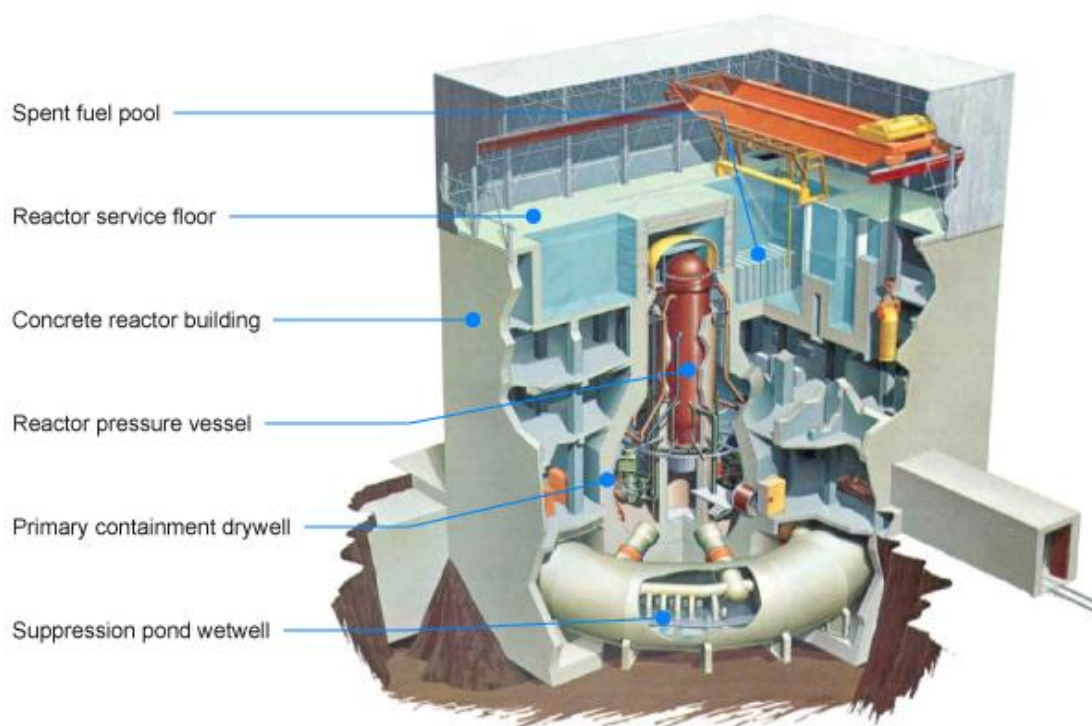
Struktura elektrárny

Tato elektrárna se skládá ze dvou sesterských závodů Daiichi (číslo jedna) a Daiini (číslo dvě), jsou od sebe vzdáleny asi 13 km, jsou nedaleko města Fukušima na ostrově Hokkaidó. Byly vystavěny na vysokém útesu, který byl pro potřeby uložení jaderných reaktorů snížen. Toto umístění reaktorů je mělo chránit před častými zemětřeseními a také mělo snížit náklady na provoz. Daiichi se skládá z celkem z šesti reaktorů typu

BWR, zde se předpokládala dostavba dalších dvou reaktorů a elektrárna Daiini ze čtyř reaktorů BWR. (28)

Reaktor BWR

Tento varný reaktor je druhý nejrozšířenější reaktor na světě. Jeho palivem je obohacený uran ^{238}U asi o 2% ^{235}U . Moderátorem a zároveň chladícím médiem je voda. Ta je ohřívána přímo aktivní zónou. Pára je vysoušena a přímo hnána na lopatky turbín. Elektrárny s takovými reaktory jsou jednookruhové. (28)



Obrázek 4 Reaktor BWR

Zdroj: <http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/BWR%203.jpg> (29)

Zemětřesení

Dne 11. března 2011 v 14:46 došlo k silnému zemětřesení a mohutné vlně tsunami. Toto zemětřesení mělo sílu 9 stupňů RichtEROVY škály a trvalo asi 3 minuty. Epicentrum tohoto zemětřesení bylo asi 130 km od pobřeží. Následná vlna tsunami byla vysoká asi 14 m, přišla asi 50 minut po zemětřesení. Toto zemětřesení prověřilo odolnost elektráren proti zemětřesení, ale ukázalo nedostatky při vlně tsunami. (29)

Havárie

Zemětřesení narušilo infrastrukturu a inženýrské sítě, zejména přívod elektřiny. To spustilo havarijní systémy obou elektráren. V elektrárně Daini došlo k zastavení štěpné reakce v aktivní zóně a následnému dochlazení. V elektrárně Daiichi došlo ke ztrátě napájení a k aktivaci diesellových agregátů. O 50 minut později vlna tsunami vyřadila z provozu diesellové agregáty tím, že odnesla palivové nádrže. V 19:00 hodin vyhlásila

japonská vláda nouzový stav. Nebylo známo, kolik vody byla schopná čerpadla dostat do aktivních zón reaktorů a palivo se začalo přehřívat. Nepodařilo se ručně povolit přetlakové ventily, tlak vody a páry vzrůstal. Teplota dosahovala až 2 800 °C, to je dostatečná teplota k termolýze vody. Asi hodinu po půlnoci následujícího dne došlo k poškození dvou reaktorů. Výbuch nahromaděného vodíku byl však prokázán pouze u druhého reaktoru. Bylo nutné reaktory dále chladit, to bylo prováděno požárními čerpadly a mořskou vodou, i přes nedoporučení japonské vlády. Po té byly reaktory chlazeny dusíkem, aby nedocházelo k výbuchům vodíku. (30)

Následky

Havárie elektrárny Fkušima daiini byla ohodnocena třetím stupněm INES. Tedy jako vážná nehoda. Havárie Fukušima daiichi byla ohodnocena nejvyšším stupněm INES, tedy sedmým stupněm. (27) Tato havárie si přímo nevyžádala žádné oběti na životech, tedy nikdo nezemřel v důsledku ozáření, ale zemětřesení a následná vlna tsunami si vyžádala 3 oběti na životech z řad zaměstnanců fukušimských elektráren a více než 1 600 obyvatel zemřelo na následky zemětřesení a vlny tsunami, nemalou část těchto obětí tvoří pacienti nemocnic, kteří byli evakuováni bez ohledu na momentální zdravotní stav. Evakuace byla velmi rozsáhlá, čítala více než 100 000 lidí v okruhu 30 km od elektrárny Fukušima daiichi. (29)

1.3 Radiobiologické účinky záření

1.3.1 Stádia účinků ozáření na živou hmotu

Fyzikální stádium

Působení záření na živé organismy se nejprve řídí zákonitostmi platnými pro věci neživé, to jsou jevy, jako je absorpce energie, ionizace a excitace. Také velmi záleží na dalších fyzikálních jevech a zákonitostech, jako jsou druh záření a použité stínění. (4)

- ***Comptonův rozptyl*** - je interakce fotonů s atomovým obalem. Foton předá část své energie volnému elektronu a ten uvede do pohybu, rozptýlený foton pak dále pokračuje

v jiném směru. Tato interakce je častá v látkách s nízkým atomovým číslem, jako je voda a tkáň. (1)

- **Fotoelektrický jev** - nebo také fotoefekt, je jev, při kterém foton předá všechnu svojí energii některému vnitřnímu atomovému orbitalu, tam je elektron uvolněn. Na jeho místo vstoupí elektron z vyšší energetické hladiny a přebytek energie je vyzářen ve formě charakteristického rentgenového záření. (1)

- **Ionizace** - je proces, při kterém dochází k tvorbě jontů, tedy elektricky nabitých atomů. Přijetím elektronu vzniká aniont, záporně nabitý atom. Vyražením nebo odevzdáním elektronu vzniká kationt, kladně nabitý atom. (1)

- **Excitace** - neboli vybuzení je proces, při kterém dochází k postupu elektronu na vyšší energetickou hladinu. Opakem tohoto jevu deexcitace. Při tomto procesu dochází k sestoupení elektronu na nižší energetickou hladinu a vyzáření přebytečné energie formou fotonu. (1)

Fyzikálně chemické stádium

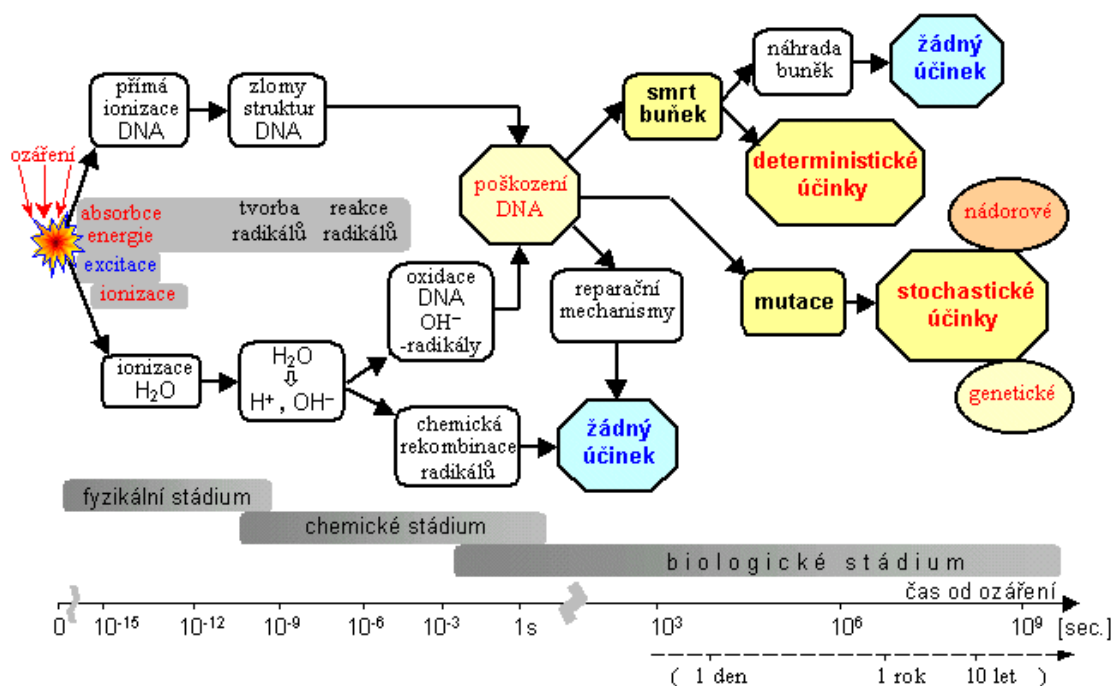
Po interakcích jako jsou ionizace, excitace a fotoelektrický jev dojde k narušení vazeb mezi atomy a molekulami. Při těchto procesech vznikají jiné molekuly, zlomy a volné radikály. (31)

Chemické stádium

Vzniklé produkty dále interagují s biologicky důležitými molekulami, jako jsou DNA, RNA, enzymy, hormony a proteiny a mění jejich složení a tím i funkci. (31)

Biologické stádium

Nastává, když chemicky pozměněné molekuly interagují na biologické úrovni. U bílkovin je to zejména změna struktury až koagulace, u nukleových kyselin jsou zlomy, jednoduché a dvojné, nebo narušení vodíkových vazeb. U jednoduchých zlomů dojde k reparaci, u dvojných ke změně funkce. Enzymy mohou po ozáření ztrácet svoji účinnost. (31)



Obrázek 5 Schéma význačných procesů a jejich časové posloupnosti účinků ionizujícího záření na živou tkáň

Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>

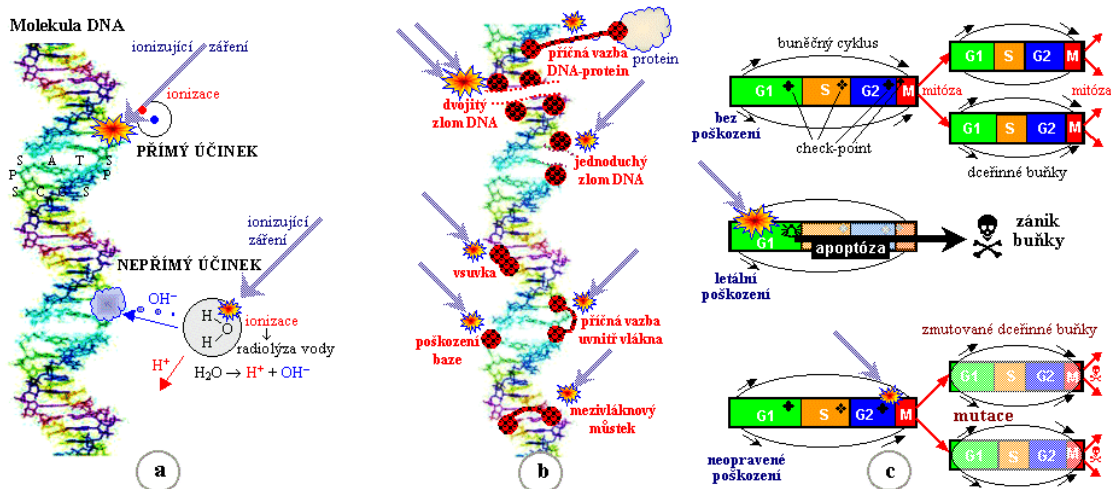
1.3.2 Zásahová a radikálová teorie

Zásahová teorie

Zásahová teorie pojednává o přímém poškození buňky IZ. Buňka absorbuje energii sdělenou zářením a na základě toho změní svoji chemickou strukturu. Tento jev se předpokládá v souvislosti s hustě ionizujícím zářením. Pravděpodobnost takových přímých zásahů je nízká. (31)

Radikálová teorie

Radikálová teorie pojednává o poškození organismu radikály, vzniklými ionizací a radiolýzou vody. Mezi vnikající volné kyslíkaté radikály patří superoxidový radikál O₂, perhydroxylový radikál HO₂, peroxid vodíku H₂O₂, hydroxilový radikál OH a singletový kyslík ¹O₂. A ty reagují s biologicky důležitými molekulami, narušují je a mění jejich funkci. (31)



Obrázek 6 Zásahová a radikálová teorie

zdroj: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniUcinky0.gif>

1.3.3 Stochastické a deterministické účinky ionizujícího záření

Stochastické účinky

Stochastické účinky jsou takové účinky IZ vyvolané změnami v genetické informaci buněk. Jsou to účinky náhodné, sice se pro ně předpokládá bezprahový, lineární vztah mezi dávkou a účinkem, ale tyto výsledky jsou spíše statistického charakteru. Ani klinický obraz těchto účinků není typický, nelze proto přesně odlišit případy vyvolané ozářením od případů běžného výskytu v populaci. Vzhledem ke svojí povaze jsou stochastické účinky málo prozkoumané. Jsou to zejména nádorová onemocnění a mutace, projevené v následující generaci, poruchy fertility. (31)

Deterministické účinky

Deterministické účinky jsou ty účinky IZ, ke kterým dochází v důsledku smrti určité ozářené populace buněk. Mají prahový charakter, tedy lze je předpokládat od určitého konkrétního dávkového prahu, pod ním se účinek neprojeví. Tyto účinky mají jasný klinický obraz, a proto nemohou být zaměněny s jinými poraněními a výskyty v populaci. (31)

Pokud zabráníme vzniku těchto deterministických účinků, například nepřekročením limitů dávek, neznamená to, že jsme zabránily vzniku stochastických. Nejčastěji mezi deterministické účinky řadíme akutní nemoc z ozáření (dále jen ANO), radiační dermatitidy, sterilita a radiační katarakta. (32)

1.3.4 Akutní nemoc z ozáření

Akutní nemoc z ozáření, někdy označována jako akutní radiační syndrom. Vzniká po celotělovém ozáření dávkou neméně 0,7 Gy. Největší počet nemocných bylo útocích atomovou bombou v Japonské Hirošimě a Nagasaki a roce 1945, a však v běžné praxi je zcela ojedinělá. Její závažnost je přímo úměrná dávce, má prahový charakter. ANO má tři základní formy, hematologickou, gastrointestinální a neurovaskulární.

Hematologická forma

Hematologická forma ANO se projevuje u pacientů po expozici 0,7 Gy, je to forma při které dochází k útlumu krvetvorby, může zde dojít i k úplnému zastavení krvetvorby a pancytopenii, to je současný pokles všech krevních elementů. (33)

Gastrointestinální forma

Gastrointestinální forma se projevuje u dávek 6 - 10 Gy, zde dochází ke všem projevům jako u hematologické formy ANO, dále dochází k nekróze střevního epitelu. Je provázena silnými průjmy. Při dávkách nad 20 Gy může dojít k rozvratu vnitřního prostředí a srdečnímu selhání. (34)

Neurovaskulární forma

Neurovaskulární forma je nejzávažnější forma, dominuje při dávkách nad 80 Gy, je vždy smrtelná. Buď to přímým účinkem na IZ na mozkové buňky, nebo smrt buněk způsobená hypoxií, díky poškození cév. (33)

1.4 Základní principy radiační ochrany

Radiační ochranou se rozumí systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osoba k ochraně životního prostředí. (34)

1.4.1 Princip zdůvodnění

Každý, kdo využívá jadernou energii, pracuje se zdroji ionizujícího záření a provádí činnosti vedoucí k ozáření, nebo provádí zásahy k omezení přírodního ozáření a ozáření v důsledku radiačních nehod, musí dbát na to, aby toto jeho jednání bylo odůvodněno přínosem, který vyváží rizika, která při těchto činnostech vznikají nebo mohou vzniknout.

Například: lékařské ozáření jednotlivých osob je odůvodněno zdravotním prospěchem pacienta. V případě preventivní péče, nebo vyhledávání určitého závažného onemocnění v populaci, je lékařské ozáření možné uskutečnit pouze tehdy, pokud je zdůvodněno očekávaným přínosem pro jedince, u něhož bude nemoc odkryta, s uvážením možnosti léčebného ovlivnění nemoci. V některých případech může být důvodem vyhledávacích vyšetření ochrana skupin obyvatelstva, například v dříve rentgenování plic, určených skupin obyvatelstva, za účelem vyhledávání TBC. (34)

1.4.2 Princip optimalizace

Optimalizační principy se uplatňují, takovým způsobem, aby bylo dosaženo co nejvyšší úrovně radiační ochrany, ochrany života a zdraví, havarijní připravenosti a ochrany životního prostředí s únosnými náklady. Účelem těchto principů je nalézt rozumnou mez mezi náklady na opatření vedoucími k eliminaci ozáření a kontaminace prostředí a náklady na odstraňování následků takového ozáření a kontaminace. (34)

1.4.3 Limitování ozáření

Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, je povinen omezovat ozáření osob tak, aby celkové ozáření nepřesáhlo v součtu stanovené limity. Do takového ozáření se nepočítá lékařské ozáření. (34)

1.4.4 Bezpečnost zdrojů

Bezpečnost zdrojů usměrňuje přístupy a chování při používání zdrojů. Ochrana a bezpečnost zdrojů má být zajištěna řádným řízením, dobrou technikou, systémem zabezpečení jakosti a výcvikem a vzděláváním personálu. (34)

1.4.5 Způsoby ochrany zdraví před IZ

Ochrana vzdáleností

Principem této metody je, že dávka klesá čtvercem vzdálenosti od zdroje záření. Pro ochranu před vnějším zářením je tedy nutné pracovat co nejdále od zdroje záření, používat pomůcky, kde je to možné. (34)

Ochrana časem

Ochrana časem znamená, že radiační zátěž pracovníka roste s dobou pobytu v prostoru, v němž se vyskytuje IZ. Pro snížení osobních dávek je tedy nutné zdržovat se v blízkosti zdrojů ionizujícího záření po co možná nejkratší dobu. Při zvláště rizikových pracích lze dosáhnout podstatného snížení dávek důsledným střídáním pracovníků. (34)

Ochrana stíněním

Ochrana stíněním se provádí tak, že mezi zdroj ionizujícího záření a pracovníka se umístí vhodný absorpční materiál. To vede k zeslabení, někdy dokonce k úplnému odstínění původního záření. Pro jednotlivé druhy ionizujícího záření je vhodný jiný

stínící materiál. Tloušťka potřebného stínění závisí na materiálu stínění, na druhu a energii ionizujícího záření a na požadovaném zeslabení. (34)

Limitování dávek

Limitování dávek spočívá v zabraňování vzniku deterministických a stochastických účinků IZ. Tím, že nebude překročena prahová dávka, nemohou vzniknout deterministické účinky IZ. Také na základě epidemiologických průzkumů byly stanoveny tyto limity pro jednotlivé orgány, celotělové ozáření se posuzuje podle nejcitlivějších orgánů, tedy kostní dřeně a gonád. (34)

Zabránění kontaminace

Při práci s otevřenými zářiči hrozí nebezpečí kontaminace. A to kontaminace vnitřní nebo povrchové (vnější). Vnitřní kontaminace je více nebezpečná, jelikož je při ní organismus dlouhodobě ozařován zevnitř. Radionuklid vstoupí do metabolismu a podle své chemické povahy se může hromadit v určitých cílových orgánech. Tyto jsou potom vytaveny kumulovanému ozáření. K vnitřní kontaminaci může dojít zažívacím ústrojím, dýchacím ústrojím nebo průnikem přes pokožku. K zabránění vnitřní kontaminace je tedy třeba dodržovat pravidla hygieny, používat ochranné pomůcky a prostředky. (34)

2 Hypotézy otázka a metodika

2.1 Hypotézy

H₁: Obyvatelé České republiky mají základní znalosti o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima.

H₂: Ve všech regionech České republiky mají lidé stejné znalosti.

2.2 Metodika

Toto téma jsem zpracovala na základě dostupných literárních zdrojů, internetových zdrojů a zpráv, vydaných institucemi, které se danou problematikou zabývají. Zjištění stavu povědomí obyvatel jsem provedla formou internetového dotazování, při kterém bylo osloveno 334 respondentů, prostřednictvím sociálních sítí. Dotazníkové šetření probíhalo v období od 29. ledna 2015 do 5. dubna 2015.

Dotazník s označenými správnými odpověďmi (Příloha A) celkem obsahuje 16 otázek, na některé je možná pouze jedna správná odpověď, na jiné je možné více správných odpovědí, nebo žádná a část otázek byla volná, pro zjištění názorů respondentů. Každá správná odpověď byla hodnocena 1 bodem, špatná 0 body. Celkem bylo možné získat 25 bodů. Jako hranici úspěšnosti jsem si zvolila 70%, to je 17,5 bodu. Otázky byly stanoveny tak, aby zahrnovali celou problematiku, od rizik radiačních havárií, přes základní znalosti účinků ionizujícího záření na člověka až po prevenci ozáření.

Sledovaný soubor respondentů tvořili uživatelé sociálních sítí a diskusních fór různého zaměření.

Odpovědi respondentů k jednotlivým otázkám jsem vyhodnotila a sestavila do tabulek. U každé otázky jsem provedla procentuální vyhodnocení správných odpovědí a výpočet celkového průměru získaných bodů a celkové procentuální úspěšnosti. Vyhodnocení znalostí jsem provedla na základě hodnot celkového průměru získaných

bodů a procentuální úspěšnosti. Statistické hodnocení jsem u všech obyvatel ČR provedla testováním normality použitím χ^2 -testu dobré shody. Vzájemné porovnání znalostí mezi sledovanými skupinami jsem stanovila testováním za pomoci dvouvýběrového t-testu na základě odhadu empirických parametrů z každé skupiny na hladině významnosti 0,05.

3 Výsledky

Následné tabulky zobrazují výsledky dotazníkového šetření. V tabulce 3 jsou zobrazeny všechny odpovědi v absolutních četnostech, V tabulce 4 jsou všechny odpovědi v procentech, počty správných odpovědí jsou tučně zvýrazněny.

Tabulka 3 Odpovědi v absolutních četnostech

Otázka	správná odpověď	Četnosti															
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	B	14	275	39	24												
2	žádná	255	79														
3	A	232	9	36	6												
4	D	68	47	23	196												
5	B	90	135	109													
6	žádná	83	45	8	11												
7	A	72	78	82	102												
8	A	67	151	88	28												
9	A B K M N O	120	292	21	74	115	83	26	39	9	68	117	124	125	10	39	9
10	A B D F G I J K L	218	194	176	91	156	135	140	88	92	144	170	155				
11	A	237	37	7	15	38											
12	A	272	5	9	19												
13	B	80	177	63	14												
14	B	4	103	109	30	80											
15	žádná	40	294														
16	žádná																

Zdroj: vlastní výzkum

Tabulka 4 procentuální četnosti

Otázka	Četnosti v procentech		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	A	B														
1	4,2	77	12	7,2												
2	76,3	23,7														
3	70	2,7	11	1,8												
4	20	14	6,9	59												
5	27	40	33													
6	24,9	13,5	2,4	3,3												
7	22	23	25	31												
8	20	45	26	8,4												
9	36	87	6,3	22	34	25	7,8	12	3	20	35	37	37	58	3	12
10	65	58	53	27	47	40	42	26	28	43	51	46				
11	71	11	2,1	4,5	11											
12	81	1,5	2,7	5,7												
13	24	53	19	4,2												
14	1,2	31	33	9	26											

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 5 počty správných odpovědí

počet bodů	počet respondentů	procento respondentů	průměr bodů	průmět v procentech
1	0	0	11,69	46,76
2	6	1,79		
3	3	0,89		
4	6	1,79		
5	9	2,69		
6	11	3,29		
7	20	5,99		
8	23	6,89		
9	28	8,38		
10	32	9,58		
11	33	9,88		
12	24	7,19		
13	27	8,08		
14	28	5,99		
15	23	6,89		
16	14	4,19		
17	11	3,29		
18	10	2,99		
19	17	5,09		
20	3	0,89		
21	3	0,89		
22	1	0,3		
23	0	0		
24	2	0,6		
25	0	0		

Zdroj: Vlastní výzkum

3.1 Statistické šetření znalostí obyvatel ČR

Účelem statistického šetření výsledků tohoto výzkumů je zjistit úroveň povědomí obyvatel ČR. Do těchto statistických hodnot bylo započítáno všech 334 dotazníků.

Škálování

Tabulka 6 Škálování výsledků dotazníkového šetření

x_i	n_i	Počet správných odpovědí (bodů)
1	15	0-4
2	91	5-9
3	144	10-14
4	75	15-19
5	9	20-25

Zdroj: vlastní výpočet

Elementární statistické zpracování

Tabulka 7 Výsledky šetření empirických parametrů

	Absolutní četnost	Relativní četnosti	Kumulativní četnosti				
x_i	n_i	n_i/n	$\Sigma n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	15	0,441176	0,441176	15	15	15	15
2	91	2,676471	3,117647	182	364	728	1456
3	144	4,235294	7,352941	432	1296	3888	11664
4	75	2,205882	9,558824	300	1200	4800	19200
5	9	0,264706	1	45	225	1125	5625
	$\Sigma 334$	$\Sigma 1$		$\Sigma 974$	$\Sigma 3100$	$\Sigma 10556$	$\Sigma 37960$

Zdroj: Vlastní výpočet

Empirické rozdělení četností

Parametr polohy (obecný moment prvního řádu):

$$O_1 = \Sigma(x_i n_i) / n = 974 / 334 = 2,92$$

$$O_2 = \Sigma(x_i^2 n_i) / n = 3100 / 334 = 9,28$$

$$O_3 = \Sigma(x_i^3 n_i) / n = 10556 / 334 = 31,60$$

$$O_4 = \Sigma(x_i^4 n_i) / n = 37960 / 334 = 113,65$$

Parametr variability:

$$C_2 = O_2 - O_1^2 = 0,75$$

$$C_3 = O_3 - (3 * O_2 * O_1) + 2 * (O_1)^3 = 0,101$$

$$C_4 = O_4 - (4 * O_3 * O_1) + 6 * O_2 * (O_1)^2 - 3 * (O_1)^4 = 1,121$$

Směrodatná odchylka:

$$S_x = \sqrt{C_2} = 0,866$$

Parametr šikmosti:

$$N_3 = C_3 / C_2 * \sqrt{C_2} = 0,152$$

Parametr špičatosti:

$$N_4 = C_4 / C_2^2 = 1,993$$

Intervalové rozdělení četností, přechod k normovanému normálnímu rozdělení.

Tabulka 8 Intervalové rozdělení četností výsledků

		absolutní četnosti	relativní četnosti	kumulativní četnosti				
x_i	Interval	n_i	n_i/n	$\Sigma n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	$(-\infty, 1,5>$	15	0,04491018	0,441176	15	15	15	15
2	$(1,5; 2,5>$	91	0,27245509	3,117647	182	364	728	1456
3	$(2,5; 3,5>$	144	0,431137725	7,352941	432	1296	3888	11664
4	$(3,5; 4,5>$	75	0,224550898	9,558824	300	1200	4800	19200
5	$(4,5, \infty)$	9	0,026946108	1	45	225	1125	5625
		334	1		974	3100	10556	37960

Zdroj: Vlastní výpočet

Výpočet normované náhodné veličiny u_1 - pro výpočet jednotlivých ploch

$$u_1 = (x_1 - O_1) / S_x = (1,5 - 2,92) / 2,52 = -0,56$$

$$u_2 = (x_2 - O_1) / S_x = (2,5 - 2,92) / 2,52 = -0,17$$

$$u_3 = (x_3 - O_1) / S_x = (3,5 - 2,92) / 2,52 = 0,23$$

$$u_4 = (x_4 - O_1) / S_x = (4,5 - 2,92) / 2,52 = 0,63$$

$$u_5 = (x_5 - O_1) / S_x = (\infty - 2,92) / 2,52 = \infty$$

Distribuční funkce $F(u)$ – statistické tabulky

$$F_{u_1} = -0,56 = 0,71226$$

$$F_{u_2} = -0,17 = 0,56749$$

$$F_{u_3} = 0,23 = 0,59095$$

$$F_{u_4} = 0,63 = 0,73565$$

$$F_{u_5} = \infty = 1$$

Výpočet jednotlivých ploch grafu $p_i - p_s$

$$p_n = \int_{dm}^{hm} \rho(u) du = F_{u_n} - F_{u_{n-1}}$$

$$p_1 = \int_{\infty}^{-0,56} \rho(u) du = F_{u_1} = 1 - 0,71226 = 0,289$$

$$p_2 = \int_{-0,56}^{-0,17} \rho(u) du = Fu_2 - Fu_1 = (1 - 0,56749) - (1 - 0,71226) = 0,135$$

$$p_3 = \int_{-0,17}^{0,23} \rho(u) du = Fu_3 - Fu_2 = 0,59095 - (1 - 0,56749) = 0,157$$

$$p_4 = \int_{0,23}^{0,63} \rho(u) du = Fu_4 - Fu_3 = 0,73565 - 0,59095 = 0,145$$

$$p_5 = \int_{\infty}^{0,63} \rho(u) du = Fu_5 - Fu_4 = 1 - 0,73565 = 0,274$$

Kontrola výpočtů:

$$\sum_1^5 p_n = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 = 1$$

$$\sum_1^5 p_n = 0,289 + 0,135 + 0,157 + 0,145 + 0,274 = 1$$

Hodnoty jednotlivých ploch:

Tabulka 9 Hodnoty jednotlivých integrálů pro testování znalostí

x_i	Interval	n_i	u_i	$F(u_i)$	p_i	np_i
1	$(-\infty, 1,5>$	15	-0,56	0,71226	0,289	96,526
2	$(1,5; 2,5>$	91	-0,17	0,56749	0,135	45,09
3	$(2,5; 3,5>$	144	0,23	0,59095	0,157	52,438
4	$(3,5; 4,5>$	75	0,63	0,73565	0,145	48,43
5	$(4,5, \infty)$	9	∞	1	0,274	91,516

Zdroj: Vlastní výpočet

Aplikace testu dobré schody χ^2 -test

Při testu normality musí být v každém intervalu nejméně 5 výsledků měření.

Tato podmínka zde byla splněna.

Tabulka 10 Výsledky výpočtů pro testování znalostí

x_i	n_i	p_i	np_i	$(n_i - np_i)^2 / np_i$
1	15	0,289	96,526	68,85697818
2	91	0,135	45,09	46,7449124
3	144	0,157	52,438	159,8764225
4	75	0,145	48,43	14,57701631
5	9	0,274	91,516	74,40109113
		1	334	364,4564205

Zdroj: vlastní výpočet

Výpočet χ^2_{exp} :

$$\chi^2 = \sum (n_i - np_i)^2 / np_i$$

$$\chi^2 = (n_1 - np_1)^2 / np_1 + (n_2 - np_2)^2 / np_2 + (n_3 - np_3)^2 / np_3 + (n_4 - np_4)^2 / np_4 + (n_5 - np_5)^2 / np_5$$

$$\chi^2 = (15 - 96,526)^2 / 96,526 + (91 - 45,09)^2 / 45,09 + (144 - 52,438)^2 / 52,438 + (75 - 48,43)^2 / 48,43 + (9 - 91,516)^2 / 91,516$$

$$\chi^2 = 364,456$$

Výpočet kritické hodnoty pro χ^2 :

$$\chi^2_{\text{teor}} = \chi^2_{v_{\text{krit}}} \quad v_{\text{krit}} = k - r - 1$$

Hodnoty pro výpočet:

- hladina statistické významnosti $\alpha = 0,05$
- počet intervalů intervalového rozdělení četností $k = 5$
- počet teoretických parametrů normálního rozdělení $r = 2$

$$v_{\text{krit}} = 5 - 2 - 1$$

$$v_{\text{krit}} = 2$$

Hodnota χ^2_{teor} ($\alpha = 0,05$) - statistické tabulky:

$$\chi^2_{\text{teor}} = 5,99$$

Obor kritických hodnot:

$$W = (\chi^2_{\text{teor}}(\alpha = 0,05); \infty)$$

$$W = (5,99; \infty)$$

$$\chi^2_{\text{exp}} 364,456 \in W$$

Výsledná experimentální hodnota $\chi^2_{\text{exp}} = 364,456$ náleží kritickému oboru, na základě tohoto musím zamítnout H_0 empirické rozdělení znalostí nelze na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ nahradit normálním rozdělením.

3.2 Porovnání skupin - dvojvýběrové parametrické testování

Pro zjištění rozdílů vědomostí obyvatel jsem náhodně vybrala čtyři kraje a ty jsem po párech testovala dvojvýběrovým t-testem. Nejdříve jsem u vybraných skupin zjistila empirické parametry O_1 a S_x , na základě nich potom vlastní t-test. Vybrané kraje jsou Jihočeský, Moravskoslezský, Hlavní město Praha a Plzeňský kraj.

Výpočet empirických parametrů u obyvatel krajů Jihočeský a Moravskoslezský

Škálování:

Tabulka 11 Škálování výsledků u respondentů z Jihočeského a Moravskoslezského kraje

Jihočeský kraj			Moravskoslezský kraj		
xi	ni	Počet správných odpovědí (bodů)	xi	ni	Počet správných odpovědí (bodů)
1	1	0 – 4	1	2	0 – 4
2	14	5 – 9	2	8	5 – 9
3	22	10 – 14	3	16	10 – 14
4	16	15 – 19	4	6	15 – 19
5	1	20 – 25	5	1	20 – 25

Zdroj: Vlastní výpočet

Elementární statistické zpracování

Tabulka 12 Výsledky empirických parametrů respondentů z Jihočeského kraje

	absolutní četnosti	Relativní četnosti	Kumulativní četnosti				
x_i	n_i	n_i/n	$\Sigma n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	1	0,0185185	0,018518519	1	1	1	1
2	14	0,2592593	0,277777778	28	56	112	224
3	22	0,4074074	0,685185185	66	198	594	1782
4	16	0,2962963	0,981481481	64	256	1024	4096
5	1	0,0185185	1	5	25	125	625
	$\Sigma 54$	$\Sigma 1$					

Zdroj: Vlastní výpočet

Tabulka 13 Výsledky empirických parametrů respondentů Moravskoslezského kraje

	Absolutní četnosti	Relativní četnosti	Kumulativní četnosti				
x_i	n_i	n_i/n	$\Sigma n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	2	0,060606061	0,060606061	2	2	2	2
2	8	0,242424242	0,303030303	16	32	64	128
3	16	0,484848485	0,787878788	48	144	432	1296
4	6	0,181818182	0,96969697	24	96	384	1536
5	1	0,03030303	1	5	25	125	625
	33	1					

Zdroj: Vlastní výpočet

Parametr polohy (obecný moment prvního řádu) pro Jihočeský kraj:

$$O_1 = \Sigma(x_i n_i)/n = 164/54 = 3,037$$

$$O_2 = \Sigma(x_i^2 n_i)/n = 536/54 = 9,926$$

$$O_3 = \Sigma(x_i^3 n_i)/n = 1856/54 = 34,370$$

$$O_4 = \Sigma(x_i^4 n_i)/n = 6728/54 = 124,593$$

Parametr variability pro Jihočeský kraj:

$$C_2 = O_2 - O_1^2 = 2,443$$

$$C_3 = O_3 - (3*O_2*O_1) + 2*(O_1)^3 = 0,164$$

$$C_4 = O_4 - (4*O_3*O_1) + 6*O_2*(O_1)^2 - 3*(O_1)^4 = 1,161$$

Směrodatná odchylka pro Jihočeský kraj:

$$S_x = \sqrt{C_2} = 1,743$$

Parametr polohy (obecný moment prvního řádu) pro Moravskoslezský kraj:

$$O_1 = \Sigma(x_i n_i) / n = 95 / 33 = 2,88$$

$$O_2 = \Sigma(x_i^2 n_i) / n = 299 / 33 = 9,06$$

$$O_3 = \Sigma(x_i^3 n_i) / n = 1007 / 33 = 30,52$$

$$O_4 = \Sigma(x_i^4 n_i) / n = 3587 / 33 = 108,70$$

Parametr variability pro Moravskoslezský kraj:

$$C_2 = O_2 - O_1^2 = 0,768$$

$$C_3 = O_3 - (3*O_2*O_1) + 2*(O_1)^3 = 0,017$$

$$C_4 = O_4 - (4*O_3*O_1) + 6*O_2*(O_1)^2 - 3*(O_1)^4 = 1,602$$

Směrodatná odchylka pro Moravskoslezský kraj:

$$S_x = \sqrt{C_2} = 0,876$$

Dvouvýběrový t-test

Nulová hypotéza předpokládá, že znalosti obyvatel v obou krajích jsou stejné, alternativní hypotéza předpokládá, že se liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Jihočeskému kraji jsem přiřadila index 1 a Moravskoslezskému index 2.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2; t_{\text{exp}} \notin W$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2; t_{\text{exp}} \in W$$

Hodnoty pro výpočet:

$$\mu_1 = (O_1)_1 = 3,037$$

$$\mu_2 = (O_1)_2 = 2,88$$

$$S_{X_1} = 1,743$$

$$S_{X_2} = 0,87$$

$$n_1 = 54$$

$$n_2 = 33$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{X_1}^2 + (n_2 - 1)S_{X_2}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2) - 2}{n_1 - n_2}}$$

Kritický obor:

$$W = (-\infty; -t_{n_1} + t_{n_2-1}(\alpha/2) > U < t_{n_1+n_2-1}(\alpha/2); \infty)$$

$$W = (-\infty; t_{85}(0,025) > U < t_{85}(0,025); \infty)$$

$$t_{85}(0,025) = 1,96$$

Hodnoty kritického oboru:

$$W = (-\infty; -1,96 > U < 1,96; \infty)$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{3,037 - 2,88}{\sqrt{(54-1)*1,743^2 + (33-1)*0,87^2}} \sqrt{\frac{54*33*(54+33)-2}{54-33}}$$

$$t_{\text{exp}} = 0,487$$

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

Protože $t_{\text{exp}} = 0,487$ náleží kritickému oboru, přijímám nulovou hypotézu. Tedy mezi znalostmi obyvatel obou krajů není na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ statisticky významný rozdíl.

Výpočet empirických parametrů u obyvatel krajů Hlavní město Praha a Plzeňský

Tabulka 14 Škálování výsledků dotazníkového šetření u respondentů z krajů Hlavní město Praha a Plzeňský

Hlavní město Praha			Plzeňský kraj		
x_i	n_i	Počet správných odpovědí (bodů)	x_i	n_i	Počet správných odpovědí (bodů)
1	0	0 – 4	1	0	0 – 4
2	8	5 – 9	2	11	5 – 9
3	19	10 – 14	3	9	10 – 14
4	7	15 – 19	4	6	15 – 19
5	2	20 – 25	5	0	20 – 25

Zdroj: Vlastní výpočet

Elementární statistické zpracování:

Tabulka 15 Výsledky empirických parametrů u respondentů Hlavního města Prahy

x_i	Absolutní četnosti		Relativní četnosti		Kumulativní četnosti		
	n_i	n_i/n	$\Sigma n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	0	0	0	0	0	0	0
2	8	0,22222222	0,222222	16	32	64	128
3	19	0,52777778	0,75	57	171	513	1539
4	7	0,19444444	0,944444	28	112	448	1792
5	2	0,05555556	1	10	50	250	1250
	$\Sigma 36$	$\Sigma 1$		$\Sigma 111$	$\Sigma 365$	$\Sigma 1275$	$\Sigma 4709$

Zdroj: Vlastní výpočet

Tabulka 16 Výsledky empirických parametr u respondentů Plzeňského kraje

	Absolutní četnosti	Relativní četnosti	Kumulativní četnosti				
x_i	n_i	n_i/n	$\Sigma n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	0	0	0	0	0	0	0
2	11	0,423077	0,423077	22	44	88	176
3	9	0,346154	0,769231	27	81	243	729
4	6	0,230769	1	24	96	384	1536
5	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma 26$	$\Sigma 1$		$\Sigma 73$	$\Sigma 221$	$\Sigma 715$	$\Sigma 2441$

Zdroj: Vlastní výpočet

Parametr polohy (obecný moment prvního řádu) pro Hlavní město Praha:

$$O_1 = \Sigma(x_i n_i)/n = 111/36 = 3,083$$

$$O_2 = \Sigma(x_i^2 n_i)/n = 365/36 = 10,139$$

$$O_3 = \Sigma(x_i^3 n_i)/n = 1275/36 = 35,417$$

$$O_4 = \Sigma(x_i^4 n_i)/n = 4709/36 = 30,806$$

Parametr variability pro Hlavní město Praha:

$$C_2 = O_2 - O_1^2 = 0,634$$

$$C_3 = O_3 - (3 * O_2 * O_1) + 2 * (O_1)^3 = 0,249$$

$$C_4 = O_4 - (4 * O_3 * O_1) + 6 * O_2 * (O_1)^2 - 3 * (O_1)^4 = 212,963$$

Směrodatná odchylka pro Hlavní město Praha:

$$S_x = \sqrt{C_2} = 0,876$$

Parametr polohy (obecný moment prvního řádu) pro Plzeňský kraj:

$$O_1 = \Sigma(x_i n_i)/n = 73/26 = 2,808$$

$$O_2 = \Sigma(x_i^2 n_i)/n = 221/26 = 8,5$$

$$O_3 = \Sigma(x_i^3 n_i)/n = 715/26 = 27,5$$

$$O_4 = \Sigma(x_i^4 n_i)/n = 2441/26 = 93,885$$

Parametr variability pro Plzeňský kraj:

$$C_2 = O_2 - O_1^2 = 0,615$$

$$C_3 = O_3 - (3*O_2*O_1) + 2*(O_1)^3 = 0,177$$

$$C_4 = O_4 - (4*O_3*O_1) + 6*O_2*(O_1)^2 - 3*(O_1)^4 = 0,62$$

Směrodatná odchylka pro Hlavní město Praha:

$$Sx = \sqrt{C_2} = 0,784$$

Dvouvýběrový t-test

Nulová hypotéza předpokládá, že znalosti obyvatel v obou krajích jsou stejné, alternativní hypotéza předpokládá, že se liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Hlavnímu městu Praha jsem přiřadila index 1 a Plzeňskému kraji index 2.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2; t_{\text{exp}} \notin W$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2; t_{\text{exp}} \in W$$

Hodnoty pro výpočet:

$$\mu_1 = (O_1)_1 = 3,083$$

$$\mu_2 = (O_1)_2 = 2,808$$

$$Sx_1 = 0,876$$

$$Sx_2 = 0,784$$

$$n_1 = 36$$

$$n_2 = 26$$

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

Kritický obor:

$$W = (-\infty; -t_{n_1 + n_2 - 1}(\alpha/2) > U < t_{n_1 + n_2 - 1}(\alpha/2); \infty)$$

$$W = (-\infty; t_{60}(0,025) > U < t_{60}(0,025); \infty)$$

$$t_{85}(0,025) = 1,96$$

Hodnoty kritického oboru:

$$W = (-\infty; -1,96) \cup (1,96; \infty)$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{3,083 - 2,808}{\sqrt{(36-1)*0,876^2 + (26-1)*0,784^2}} \sqrt{\frac{36*26*(36+26)-2}{36-26}}$$

$$t_{\text{exp}} = 3,224$$

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

Protože $t_{\text{exp}} = 3,224$ nenáleží kritickému oboru, musím zamítnout nulovou hypotézu a přijmout alternativní. Tedy mezi znalostmi obyvatel obou krajů je na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ statisticky významný rozdíl.

Z tohoto vyplývá, že znalosti obyvatel v jednotlivých regionech ČR se statisticky významně liší. Tedy stanovená hypotéza nebyla potvrzena.

4 Diskuze

Jak jsem již uváděla v předchozí části, ke zjištění znalostí obyvatelstva ČR bylo provedeno internetové dotazníkové šetření, pomocí sociálních sítí. Zde je podrobný rozbor výsledků tohoto dotazníkového šetření.

Otázka 1. Úvodní otázka: *Víte, v kterém roce se stala Fukušimská havárie?* Správná odpověď: **b) 2011**. Tuto otázku jsem zvolila tak, aby hned na začátku dotazování bylo zřejmé, zda respondenti šetření dovedou tuto havárii správně časově zařadit. Na základě toho, mohli respondenti lépe odvodit odpovědi na další otázky. Špatné odpovědi byly navoleny náhodně. Tuto otázku správně odpovědělo **b) 2011**, 76,9%, to je 257 respondentů. Špatnou odpověď *a) 2001* zvolilo 4,2%, tedy 14 respondentů, odpověď *c) 1991*, zvolilo 11,7%, to je 39 respondentů a odpověď *d) 2004*, zvolilo 7,2%, to je 24 respondentů. Sice jsem očekávala vyšší úspěšnost, přes to je tento výsledek uspokojivý.

Otázka 2. Byla rozdělena do dvou částí, první byla: *Víte, co bylo hlavní příčinou této havárie?* Bylo možné odpovědět *ano* nebo *ne*, *ano* odpovědělo 76,3%, to je 255 respondentů, *ne* odpovědělo 23,7%, tedy 79 respondentů. Ne však všichni, kteří odpověděli *ano*, odpověděli správně na druhou část otázky: *Pokud ano, co bylo hlavní příčinou této havárie?* Na tuto otázku odpovědělo správně, **a) zemětřesení a následná vlna tsunami**, 69,5%, tedy 232 respondentů. Špatné odpovědi: *b) nevydařený technologický pokus* zvolilo 2,7 %, to je 9 respondentů, *c) lidský faktor, zanedbání povinností* zvolilo 10,8 %, to je 36 respondentů a odpověď *d) vada použitých materiálů* 1,8 %, to je 6 respondentů. Špatné odpovědi, sice nebyly úplně špatné, až tedy na odpověď *b) nevydařený technologický pokus*. Fukušimská havárie byla souhrou mnoha faktorů, jak zanedbání povinností, tak i možná vada použitých materiálů, ale nebýt zemětřesení a následné vlny tsunami, tak by se tyto faktory pravděpodobně neprojevíly, proto je zemětřesení a následná vlna tsunami považována za hlavní příčinu této havárie. Tato otázka splnila mé očekávání, výsledek je velmi uspokojivý.

Otázka 3. *Jak velké území tato havárie ohrozila radiací?* Byla volena, tak aby si respondent uvědomil, jak rozsáhlá tato havárie byla. Správně odpovědělo 58,7 %, to je 196 respondentů. Správná odpověď byla *d) některé prefektury (kraje) Japonska*. Špatné

odpovědi byly voleny tak vby specifikovali rozdílnou velikost území. Za *a) celý Svět* odpovědělo 20.4 %, tedy 68 respondentů, odpověď *b) celou Asii* zvolilo 14,1 %, tedy 47 respondentů a odpověď *c) pouze areál elektrárny* volilo 6,9 %, to je 23 respondentů. V této otázce jsem chtěla, aby respondenti hodnotili fakta o této havárii, ale mnozí evidentně hodnotili své osobní dojmy. Je pravda, že tato havárie měla vliv na celý Svět, ale ne radioaktivními látkami, tento vliv tkvěl spíše v obavách obyvatel celého Světa z jaderných havárií. Většina respondentů sice odpověděla správně, přes to jsem předpokládala více správných odpovědí, tedy jednoznačnější výsledek, proto si myslím, že výsledek není uspokojivý.

Otázka 4. se skládala také ze dvou částí, první byla: *Měla Fukušimská havárie přímý dopad na zdraví obyvatel České republiky?* Bylo možné odpovědět *ano*, *ne* a *nevím*. Správná odpověď byla *ne*, tak odpovědělo 40,4 %, tedy 135 respondentů. *Ano* odpovědělo 26,9 %, tedy 90 dotázaných a *nevím* 32,6 %, to je 109 respondentů. Druhá část otázky *Pokud ano, jak?* Tato otázka nebyla povinná. Byla volena tak, abych zjistila, co si obyvatelé ČR myslí o jaderné havárii ve Fukušimě a jejích následcích. Jelikož na první část otázky byla správná odpověď *ne*, tak na tuto část otázky neexistuje správná odpověď. Jako možné odpovědi jsem zvolila *a) radioaktivním spadem ve formě mraku (vítr a déšť)*, tak odpovědělo 24.9 %, to je 83 respondentů, *b) dovozem kontaminovaných potravin (zejména ryb)*, odpovědělo 13.5 %, to je 45 dotazovaných a *c) dovozem kontaminovaného zboží (elektronika, nepotraviny)*, odpovědělo 2.4 %, to je 8 respondentů a možnost *d) ostatní* zvolilo 3.3 %, tedy 11 respondentů. Možnost *d) ostatní* byla formou volné odpovědi, respondenti měli možnost napsat svůj názor, bohužel, nikdo tak neučinil. Na tuto otázku, zejména na její první část jsem očekávala mnohem více správných odpovědí, výsledek je tedy neuspokojivý.

Otázka 5. *Víte, kolik lidí zemřelo bezprostředně na ozáření z jaderné havárie ve Fukušimě?* Správná odpověď byla *a) 0 – 10*, protože na ozáření z této havárie, podle oficiálních zpráv, nikdo nezemřel. Značné objety na životech způsobilo zemětřesení a následná vlna tsunami a také hektická a nešetná evakuace, zejména evakuace nemocnic a pacientů, pro které nebyla evakuace slučitelná se zdravotním stavem. Správně odpovědělo 21,6 %, to je 72 respondentů. Špatné odpovědi *b) 10 – 50*, odpovědělo 23.4

%, tedy 78 dotazovaných, c) 50 – 100, odpovědělo 24.6 %, to je 82 respondentů a d) více odpovědělo 30.5 %, tedy 102 respondentů. Na tuto otázku jsem očekávala mnohem více správných odpovědí. Výsledek je proto velmi neuspokojivý.

Otázka 6. Byla zaměřená na povědomí respondentů o ohrožení radiací pocházející z jaderných havárií celkově. *Víte, jaký podíl ozáření obyvatel pochází z jaderných havárií?* Správná odpověď je a) méně než 1%, takto odpovědělo 20,1 %, to je 67 respondentů. Špatné odpovědi b) 1 % - 5 %, zvolilo 45,2 %, to je 67 respondentů, c) 5 % - 20 %, zvolilo 26,3 %, tedy 88 dotazovaných a d) více volilo 8,4 %, to je 28 dotazovaných. Podíl ozáření obyvatel pocházející z jaderných havárií je asi 0,3 %. Špatné odpovědi poukazují na nedůvěru obyvatelstva jaderným elektrárnám a špatnou informovanost obyvatelstva o důsledcích havárií těchto elektráren. Také na tuto otázku jsem očekávala mnohem více správných odpovědí, vypovídá to o značném strachu z následků havárií jaderných elektráren. Tento výsledek je velmi neuspokojivý až alarmující.

Otázka 7. Je doplňující otázka k předchozí, účelem bylo zjistit, o jakých věcech a činnostech si respondenti myslí, že je mohou ohrožovat radiací. *Tato otázka zněla: Znáte ještě další zdroje ozáření lidí? Pokud ano, označte jaké:* Zde bylo celkem 16 možných správných odpovědí, z toho 6 správných, také jsem nechala jednu odpověď volnou, pro vyjádření dalších možností. Špatné odpovědi jsem volila podle mýtů, které mezi lidmi panují. Správné odpovědi jsou: a) *sluneční záření*, tak odpovědělo 35,9 %, to je 120 dotazovaných, b) *vyšetření RTG, CT*, odpovědělo 87,4 %, tedy 292 respondentů, k) *přirozené záření Země*, zvolilo 35 %, tedy 117 respondentů, m) *kosmické záření*, tuto možnost zvolilo 37,4 %, to je 125 respondentů, možnost n) *radon v budovách*, zvolilo 57,8 %, tedy 192 dotazovaných a možnost p) *houby*, volilo 11,7 %, tedy 39 respondentů. Špatné odpovědi jsou: c) *hutní průmysl*, tuto možnost volilo 6,3 %, to je 21 respondentů, d) *chemický průmysl*, odpovědělo 22,2 %, to je 74 dotazovaných, e) *mikrovlnky (mikrovlny)*, odpovědělo 34,4 %, 115 respondentů, f) *lasery*, volilo 24,9 %, to je 83 respondentů, g) *svařování, tavení kovů*, odpovědělo 7,8 %, to je 26 respondentů, h) *sonary, naváděcí zařízení*, odpovědělo 11,7 % to je 39 dotazovaných, i) *hoření (spalování)*, volilo 2,7 %, tedy 9 respondentů, j) *vyšetření ultrazvukem*, 20,4 %, 68

respondentů, *l) signál mobilních telefonů*, zvolilo 37,1 %, to je 124 respondentů, *o) těžba kamene*, tuto možnost zvolilo 3 %, to je 10 respondentů. Volnou odpověď využilo 9 respondentů, 5 z nich tuto možnost označilo a nenapsalo nic, 2 odpovědi byly zřejmě žertem, 2 respondenti odpověděli „*těžba smolince*“ a „*radon ve vodě*“, tyto odpovědi jsem vyhodnotila jako správné a při zpracování dotazníků jsem za ně přidělila 1 bod. Zastoupení správných odpovědí je pod mým očekáváním a na druhou stranu, zastoupení špatných odpovědí převýšilo moje očekávání. Tento výsledek je také velmi neuspokojivý.

Otázka 8. byla zaměřena na znalosti obyvatel v oblasti účinků radiace na lidský organismus. *Víte, jaké okamžité (v rámci hodin až dní) účinky na lidské zdraví má/může mít ozáření?* Na tuto otázku bylo možné odpovědět více možnostmi, celkem 12, z toho 9 správných. Správné byly: *a) akutní nemoc z ozáření*, tak odpovědělo 65.3 %, to je 218 respondentů *b) popáleniny, vředy na kůži*, odpovědělo 58.1 %, 194 respondentů *d) slepota*, odpovědělo 27.2 %, to je 91 respondentů, *f) vypadání vlasů*, odpovědělo 40.4 %, 135 respondentů, *g) zažívací obtíže*, označilo 41.9 %, 140 respondentů, *i) bolesti svalů*, odpovědělo 27.5 % to je 92 dotazovaných, *j) poruchy krvetvorby*, odpovědělo 43.1 %, 144 respondentů, *k) narušení imunitního systému*, odpovědělo 50.9 %, 170 respondentů, *l) neplodnost* odpovědělo 46.4 %, 155 respondentů. Špatné odpovědi byly: *c) bolesti hlavy*, tak odpovědělo 52.7 %, to je 176 respondentů, *e) rakovina* odpovědělo 46.7 %, tedy 156 respondentů a *h) mutace*, odpovědělo 26.3 %, 88 dotazovaných. Znalosti obyvatel v této oblasti jsou nedostatečné.

Otázka 9. Byla také orientována na znalosti obyvatel v oblasti účinků radiace na lidský organismus, konkrétně na akutní nemoc z ozáření. Zněla: *Víte, co je to akutní nemoc z ozáření?* Byla možná pouze jedna správná odpověď *a) to nemoc vyvolaná dlouhodobým ozařováním v malých dávkách* odpovědělo 11.1 %, tedy 37 respondentů. Špatné odpovědi: *b) fyzické projevy strachu z radiologických vyšetření*, odpovědělo 2.1 %, to je 7 dotazovaných, *c) každé nádorové onemocnění, vyvolané radioaktivním zářením* 4.5 %, to je 15 dotazovaných a *d) nevím* odpovědělo 11.4 %, tedy 38 lidí. Na tuto otázku odpovědělo pouze 29,1 % respondentů (z celkových 334). Neočekávala

jsem sice vysoký počet správných odpovědí, ale i tak, znalosti obyvatel v této oblasti jsou velmi nedostatečné.

Otázka 10. Zněla: *Které komplikace mohou nastat i desítky let po ozáření?*, správná odpověď je *a) nádorová onemocnění*, tak odpovědělo 81.4 %, to je 272 respondentů. Špatné odpovědi jsou: *b) bolesti hlavy*, odpovědělo 1.5 %, 5 respondentů, *c) neplodnost*, zvolilo 2.7 %, tedy 9 dotazovaných a *d) poruchy krvetvorby* odpovědělo 5.7 %, to je 19 respondentů. Tato otázka měla prověřit, stejně jako ta předchozí, jaké mají obyvatelé ČR povědomí o zdravotních rizicích ozáření. Podle mého názoru je toto základní vědomostí. Správně odpověděla většina dotazovaných, jak jsem očekávala.

Otázka 11. Volně navazuje na dvě předchozí otázky, také je zaměřena na zdravotní rizika z ozáření. *Který z lidských orgánů je nejnáchylnější k vyvolání rakoviny ozářením?*, správná odpověď je *b) štítná žláza*, tak odpovědělo 53 %, to je 177 respondentů. Špatné odpovědi jsem volila nejdůležitější orgány lidského těla, *a) plíce*, odpovědělo 24 %, to je 80 dotazovaných, *c) mozek*, volilo 18,9 %, to je 63 respondentů a možnost *c) srdce*, 4,2 %, to je 14 respondentů. Na tuto otázku jsem očekávala velmi vysokou úspěšnost, ale nestalo se tak, v této oblasti jsou znalosti obyvatel ČR velmi nedostatečné.

Otázka 12, *Co je to jodová profylaxe? Další názvy jsou: jodid draselný, kaliumjodid.*, zjišťovala informovanost obyvatel o této relativně specifické věci. Vlastně volně navazovala na otázku předchozí, jodová profylaxe funguje na principu nasycení štítné žlázy stabilním izotopem jódu, proto by nemohla přijímat radioaktivní izotopy jódu, které jsou běžnou součástí radioaktivního spadu po jaderných havárii. Správně, *b) lék proti ozáření, nutno vzít ihned po havárii*, odpovědělo 30,8 %, to je 103 dotazovaných. Špatné odpovědi, *a) lék proti rakovině*, volilo 1.2 %, to jsou 4, *c) prevence proti ozáření, bere se pravidelně, pokud je předpoklad setkání s ionizujícím zářením*, odpovědělo 32.6 %, to je 109 dotazovaných, *d) lék na nemoci z ozáření*, odpovědělo 9 %, tedy 30 respondentů a *i) nevím*, zvolilo 26.3 %, to je 88 respondentů. Překvapilo mě, že nejčastější odpověď byla, že se bere pravidelně, předávkování jódem způsobuje značné zdravotní obtíže, zejména zažívací a kožní. Neočekávala jsem

vysokou úspěšnost, mé očekávání se potvrdilo, znalosti obyvatelstva jsou v této oblasti nedostatečné.

Otázka 13, se skládala ze dvou oddělených částí. Zněla: *Myslíte si, že byla na území ČR prováděna nějaká opatření v návaznosti na jadernou havárii ve Fukušimě? Všimli jste si nějakých?* Tato otázka měla zjistit povědomí respondentů o dění v jaderné energetice v ČR v návaznosti na události ve Fukušimě. Bylo možné odpovědět *ano* nebo *ne*, správně, tedy možnost *ne* zvolilo 88 %, to je 294 dotazovaných. *Ano* zvolilo 12 %, tedy 40 dotazovaných. Tento výsledek předčil moje očekávání, je velmi dobrý. Druhá část této otázky zněla: *Pokud Vaše odpověď byla ano, jaká?* Tuto možnost využilo velice málo respondentů, velmi často se opakovala odpověď „*nevím*“, dále odpovědi „*zákaz dovozu*“ a „*kontroly jaderných elektráren*“. Nejkurióznější odpověď byla: „*objevilo se doporučení vzít si jodovou tabletu*“.

Na základě zjištěného součtu všech bodů jsem vypočítala průměr bodů na jednoho respondenta, je 11,69 bodů z celkových 25 možných, tedy celková úspěšnost 46,76 %. Tato hodnota i statistické hodnocení dobré shody vypovídá o malé informovanosti obyvatel české republiky o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Fukušima. Tedy je nemůžeme nahradit normálním rozdělením. Takto malá informovanost obyvatel ČR může být důsledkem nezájmu obyvatelstva o tuto problematiku a mediální zkresleností informací, i přes to že seriózní média podávala v celku úplné a seriózní informace o této havárii.

K mému překvapení byl vyvrácen předpoklad, že znalosti obyvatel v jednotlivých krajích se neliší. Náhodně jsem vybrala čtyři kraje a po párech jsem testovala jejich bodové hodnocení dvoujvýběrovým t-testem. První pár krajů: Jihočeský a Moravskoslezský kraj, po testování t-testem na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (rozdíl na úrovni 95 %), nevykazoval statisticky významný rozdíl. Ale porovnání krajů Hlavní město Praha a Plzeňský prokázalo, že existuje statisticky významný rozdíl mezi znalostmi respondentů v jednotlivých krajů. Průměry bodů respondentů jednotlivých krajů jsou: Hlavní město Praha: 12,11 bodů, Jihočeský kraj 12,37 bodů, Jihomoravský kraj 11,56 bodů, Karlovarská kraj 10,64 bodů, Liberecký kraj 8,82 bodů, Moravskoslezský 11,79 bodů, Olomoucký kraj 10,95 bodů, Pardubický kraj 13,71 bodů,

Plzeňský kraj 11,2 bodů, Středočeský kraj 10,32 bodů, Ústecký kraj 11,45 bodů, kraj Vysočina 13,14 bodů, Zlínský kraj 11,95 bodů. Na první pohled je patrné, že se průměry krajů liší. Statistickým důkazem je provedení t-testu u krajů Hlavní město Praha a Plzeňský, tento test prokázal, že se statisticky významně liší na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Tyto rozdíly v informovanosti obyvatelstva v jednotlivých krajích mohou být způsobeny rozdílným zájmem o tuto problematiku.

Pokud bychom teoreticky měli připustit podobnou událost, jako byla Fukušimská havárie, je možné, že na popud obyvatelstva bude ukončena činnost jaderných elektráren na našem území.

5 Závěr

Fukušimská havárie byla jako druhá klasifikována sedmým stupněm INES, tedy jako nejzávažnější havárie, stejně jako Černobylská havárie. Pro střední Evropu byly závažnější důsledky v mínění obyvatelstva v jaderné energetice, než kontaminace životního prostředí radionuklidy. Pokud bude panovat strach z jaderných havárií, nečeká jadernou energetiku žádná budoucnost.

Tato práce vyvrátila obě hypotézy, tedy znalosti obyvatel ČR nejsou ani základní a znalosti se v jednotlivých krajích statisticky významně liší. Byly splněny cíle práce v kapitole 1.3, je vypracovaný přehled účinků ionizujícího záření na lidské zdraví a v kapitole 1.2.4 je popis Fukušimské havárie. Další cíle práce byly splněny dotazníkovým šetřením.

Při zpracování této bakalářské práce jsem dospěla mimo jiné k závěru, že havárie ve Fukušimě přinesla velké poučení zejména pro další případné závažné havárie, nejen v jaderné energetice, ale pro havárie celkově, protože značné škody na životech a zdraví způsobila nešetrná evakuace. Tuto nešťastnou evakuaci bych chtěla připomínat dalším generacím, aby lépe hodnotily rizika, která nese samotná havárie a která ponese samotná evakuace nebo jiná opatření k ochraně obyvatelstva. Dále bych doporučila více se zaměřit na informovanost obyvatelstva o radiačních haváriích a jejich následcích, proto nabídnu svojí práci k nahlédnutí a zveřejnění Státnímu ústavu radiační ochrany a útvaru Vnitřních a vnějších vztahů ČEZ na Jaderné elektrárně Temelín a Dukovany, kteří by mohli využít poznatky obsažené v této bakalářské práci.

6 Seznam informačních zdrojů

(1) ULLMANN, V. Jaderná a radiační fyzika, 1.2. Radioaktivita [online], [cit. 2015-02-01]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>

(2) FREINTINGER SKALICKÁ, Zuzana, Jiří HALAŠKA, Renata HAVRÁNKOVÁ, Jiří KUBEŠ, Leoš NAVRÁTIL, Václav NAVRÁTIL, Jozef SABOL, Ladislav SIROVÝ a Friedo ZÖLZER. Radiobiologie: Záření alfa. Radiobiologie [online]. 2010 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/14/141.html>

(3) FREINTINGER SKALICKÁ, Zuzana, Jiří HALAŠKA, Renata HAVRÁNKOVÁ, Jiří KUBEŠ, Leoš NAVRÁTIL, Václav NAVRÁTIL, Jozef SABOL, Ladislav SIROVÝ a Friedo ZÖLZER. Radiobiologie: Záření beta. Radiobiologie [online]. 2010 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/14/142.html>

(4) ÖSTERREICHER Jan, VÁVROVÁ Jiřina. Přednášky z radiobiologie. Hradec Králové. Ústav radiobiologie a imunologie, Vojenská lékařská akademie J. E. Purkyně, 2003, ISBN 80-86571-01-7

(5) REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Neutronové záření. © ENCYKLOPEDIIE FYZIKY. Encyklopedie fyziky [online]. 2006 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/806-neutronove-zareni>

(6) REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Aktivita zářiče a rozpadový zákon. © ENCYKLOPEDIIE FYZIKY. Encyklopedie fyziky [online]. 2006 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/807-aktivita-zarice-a-rozpadovy-zakon>

(7) FREINTINGER SKALICKÁ, Zuzana, Jiří HALAŠKA, Renata HAVRÁNKOVÁ, Jiří KUBEŠ, Leoš NAVRÁTIL, Václav NAVRÁTIL, Jozef SABOL, Ladislav SIROVÝ a Friedo ZÖLZER. Radiobiologie: veličiny dozimetrie ionizujícího záření. Radiobiologie [online]. 2010 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/16.html>

(8) ICRP: Publikace 103, Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany 2007, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. Ann ICRP.2007;37(2-4):1-332.

(9) VÁVRA, Václav a Zdeněk LOSOS. Atom a jeho stavba. ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD, Přírodovědecká fakulta Masarykova univerzita, Brno. Multimediální studijní texty z mineralogie pro bakalářské studium [online]. 2013 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_3_2_atom/kap_3_2_atom.htm

(10) Přírodní radioaktivita a problematika radonu. © SÚRO, v.v.i. SÚRO [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz>

(11) FIALA, Lukáš. Kosmické záření. © FYZIKÁLNÍ ÚSTAV AKADEMIE VĚD ČR. Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i. [online]. 2001 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www-hep2.fzu.cz/Auger/cz/kosmzar.html#co>

(12) DVOŘÁK, Pavel. Ionizující záření pro zdraví: radioterapie, nukleární medicína a rentgenová diagnostika. Otevřená věda [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://archiv.otevrena-veda.cz/users/Image/default/C1Kurzy/NH2006pdf/2.pdf>

(13) SPURNÝ, V., ŠLAMPA, P. Moderní radioterapeutické metody. VI. díl. Základy radioterapie. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1999, 118 s., ISBN 80-7013-267-1.

- (14) EKULA, J., HEŘMAN, M., VOMÁČKA, J. et al. Radiologie. Olomouc: Univerzita Palackého, 2001, 208 s., ISBN 80-244-0259-9.
- (15) PETERA, J. Moderní radioterapeutické metody. V. díl. Brachyterapie. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1998, 33 s., ISBN 80-7013-266-3.
- (16) Jaderný reaktor. ČEZ, a. s. ČEZ, a. s. [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k35.htm>
- (17) SÚRAO: Správa úložišť radioaktivních odpadů. [online]. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Radioaktivni-odpady>
- (18) RAJNOHA, Adam. Využití Rentgenova záření pro defektoskopické systémy. ELEDUS - ELECTRONICS & EDUCATION. ELEDUS - Electronics & Education [online]. 2014 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://eledus.cz/vyuziti-rentgenova-zareni-pro-defektoskopicke-systemy/>
- (19) FREINTINGER SKALICKÁ, Zuzana, Jiří HALAŠKA, Renata HAVRÁNKOVÁ, Jiří KUBEŠ, Leoš NAVRÁTIL, Václav NAVRÁTIL, Jozef SABOL, Ladislav SIROVÝ a Friedo ZÖLZER. Radiobiologie: průmyslové zdroje ionizujícího záření. Radiobiologie [online]. 2010 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/433.html#hladinomery>

(20) IONIZAČNÍ DETEKTOR KOUŘE. © ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, Fakulta elektrotechnická, Katedra měření. Katedra měření České vysoké učení technické v Praze - Fakulta elektrotechnická [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z:

http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A5M38MEB/A5M38EMBP11_13SECURITY.pdf

(21) CHARVÁTOVÁ, Marie a Alexandr POPKOV. Základní vědomosti o chemických, biologických a jaderných zbraních a možnostech jejich teroristického zneužití. 1. vyd. České Budějovice: A. Popkov, 2010, 113 s. ISBN 978-80-254-8066-3

(22) Problematika uranem barveného skla. SÚJB [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/problematika-uranem-barveneho-skla/>

(23) Encyclopedia Britannica. (C) 2015 ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, Inc. Windscale fire [online]. 2015, 16. 12. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/>

(24) Havárie jaderných elektráren. COPYRIGHT 2015 ČEZ, a. s. ČEZ [online]. 2010, 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/havarie_7.html

(25) Jaslovské Bohunice. ČELIGA, Peter. © JASLOVSKÉ BOHUNICE. Z hystórie tómký [online]. 2012 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.jaslovskébohunice.sk>

(26) Backgrounder on the Three Mile Island Accident. © USNRC, UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. [online]. 2015 [cit. 2015-04-15].
Dostupné z: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>

(27) Backgrounder on Chernobyl Nuclear Power Plant Accident. © USNRC.UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION.UNITED STATES [online]. 2013, 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/factsheets/chernobyl-bg.html>

(28) Fukushima Daiichi - A One Year Review. (c) TEPCO. TEPCO [online]. 2012 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/review/index-e.html>

(29) Princip reaktoru typu BWR. © AF POWER AGENCY, a.s. All for power [online]. 2011 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/Princip%20reaktoru%20typu%20BWR.pdf>.

(30) Fukushima Accident. © WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. World Nuclear Association [online]. 2012, 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/info/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-accident/>

(31) ANZAI, Kazunori, Nobuhiko BAN, Toshihiko OZAWA a Shinji TOKONAMI. Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: facts, environmental contamination, possible biological effects, and countermeasures. © JCBN. US National Library of Medicine [online]. 2013, 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3246178/>

(32) SÚRO. Stručný přehled biologických účinků záření [online], [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucnyprehled-biologickyh-ucinku-zareni/>

(33) KOLÁČEK, Petr, Ing. Optimalizace radiační ochrany v jaderné elektrárně. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, 2002. ISSN 1213-4198.

(34) ZÖLZER, F., KUNA, P. a NAVRÁTIL, L. Mechanizmy účinků ionizujícího záření. České Budějovice. ZSF JČU. 2006

(35) KLENER, V. et al. Principy a praxe radiační ochrany. Praha: Azin, 2000, 619 s., ISBN 80-238-3703-6.

7 Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnoty radiačních váhových faktorů podle doporučení ICRP	14
Tabulka 2 Hodnoty tkáňových váhových faktorů podle doporučení ICRP	14
Tabulka 3 Odpovědi v absolutních četnostech	39
Tabulka 4 procentuální četnosti	40
Tabulka 5 počty správných odpovědí	41
Tabulka 6 Škálování výsledků dotazníkového šetření.....	42
Tabulka 7 Výsledky šetření empirických parametrů	42
Tabulka 8 Intervalové rozdělení četností výsledků	44
Tabulka 9 Hodnoty jednotlivých integrálů pro testování znalostí.....	45
Tabulka 10 Výsledky výpočtů pro testování znalostí.....	46
Tabulka 11 Škálování výsledků u respondentů z Jihočeského a Moravskoslezského kraje	47
Tabulka 12 Výsledky empirických parametrů respondentů z Jihočeského kraje.....	48
Tabulka 13 Výsledky empirických parametrů respondentů Moravskoslezského kraje .	48
Tabulka 14 Škálování výsledků dotazníkového šetření u respondentů z krajů Hlavní město Praha a Plzeňský.....	51
Tabulka 15 Výsledky empirických parametrů u respondentů Hlavního města Prahy....	51
Tabulka 16 Výsledky empirických parametrů u respondentů Plzeňského kraje	52

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 Rozpadové řady	16
Obrázek 2 Kosmické záření	17
Obrázek 3 Rozdělení dávek obyvatelstva	23
Obrázek 4 Reaktor BWR	28
Obrázek 5 Schéma význačných procesů a jejich časové posloupnosti účinků ionizujícího záření na živou tkáň	31
Obrázek 6 Zásahová a radikálová teorie	32

9 Seznam příloh

Příloha A: Dotazník

Příloha A

Dotazník: Vnímání obyvatel ČR o radiační havárii Fukušima

Dobrý den,

Jmenuji se Nikola Orthová a studuji bakalářský obor Ochrana obyvatelstva se zaměřením na chemické, biologické, radiologické a jaderné noxy a výbušniny, na Zdravotně sociální fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Ráda bych Vás tímto požádala o vyplnění tohoto krátkého dotazníku (asi 5 min), který bude použit výhradně pro psaní bakalářské práce.

Děkuji Vám za ochotu a za Váš čas.

1. Pohlaví:

- žena
- muž

2. Kolik Vám je let?

- 15 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- více

3. Ve kterém kraji bydlíte?

- Hlavní město Praha
- Středočeský
- Jihočeský
- Plzeňský
- Karlovarský
- Ústecký
- Liberecký
- Královéhradecký
- Vysočina
- Jihomoravský
- Olomoucký
- Zlínský
- Moravskoslezský
- Pardubický

4. Vaše nejvyšší dosažené vzdělání?

- základní
- střední odborné bez maturity
- střední odborné s maturitou
- gymnázium
- vyšší odborné
- vysokoškolské (Bc.)
- vysokoškolské (Mgr., Ing.)
- Jiné:

5. Víte, v kterém roce se stala Fukušimská havárie?

- 2001
- 1991
- 2011**
- 2004

6. Víte, co bylo hlavní příčinou této havárie?

- ano**
- ne

7. Pokud ano, co bylo hlavní příčinou této havárie?

- zemětřesení a následná vlna tsunami**
- lidský faktor, zanedbání povinností
- vada použitých materiálů
- nevydařený technologický pokus

8. Jak velké území tato havárie ohrozila radiací?

- celý Svět
- celou Asii
- pouze areál elektrárny
- některé prefektury (kraje) Japonska**

9. Měla Fukušimská havárie přímý dopad na zdraví obyvatel České republiky?

- ano
- ne**
- nevím

10. Pokud ano, jak?

- radioaktivním spadem ve formě mraku (vítr a déšť)
- dovozem kontaminovaných potravin (zejména ryb)
- dovozem kontaminovaného zboží (elektronika, nepotraviny)
- Jiné:

11. Víte, kolik lidí zemřelo bezprostředně na ozáření z jaderné havárie ve Fukušimě?

- 0 - 10**
- 10 - 50
- 50 - 100
- více

12. Víte, jaký podíl ozáření obyvatel pochází z jaderných havárií?

- méně než 1%**
- 1% 5%
- 5% 20%
- více

13. Znáte ještě další zdroje ozáření lidí? Pokud ano, označte jaké:

Zaškrtněte všechny platné možnosti.

- sluneční záření**
- vyšetření ultrazvukem
- vyšetření RTG, CT
- přirozené záření Země**
- hutní průmysl
- signál mobilních telefonů
- chemický průmysl
- kosmické (záření)**
- mikrovlny (mikrovlnky)
- radon v budovách**
- lasery
- těžba kamene
- svařování, tavení kovů
- houby**
- sonary, naváděcí zařízení
- Jiné:
- hoření (spalování)

14. Víte, jaké okamžité (v rámci hodin až dní) účinky na lidské zdraví má/může mít ozáření?

Zaškrtněte všechny platné možnosti.

- akutní nemoc z ozáření**
- narušení imunitního systému**
- popáleniny, vředy na kůži**
- neplodnost**
- bolesti hlavy
- slepota**
- rakovina
- vypadání vlasů**
- zažívací obtíže**
- mutace
- bolesti svalů**
- poruchy krevetvorby**

15. Víte, co je to akutní nemoc z ozáření?

- nemoc vyvolaná jednorázovým ozářením ve vysoké dávce**
- nemoc vyvolaná dlouhodobým ozařováním v malých dávkách
- fyzické projevy strachu z radiologických vyšetření
- každé nádorové onemocnění, vyvolané radioaktivním zářením
- nevím

16. Které komplikace mohou nastat i desítky let po ozáření?

- nádorová onemocnění**
- bolesti hlavy
- neplodnost
- poruchy krevetvorby

17. Který z lidských orgánů je nejnáchylnější k vyvolání rakoviny ozářením?

- plíce
- štítná žláza**
- mozek
- srdce

18. Co je to jodová profylaxe? Další názvy jsou: jodid draselný, kaliumjodid.

- lék proti rakovině
- **lék proti ozáření, nutno vzít ihned po havárii**
- prevence proti ozáření, bere se pravidelně, pokud je předpoklad setkání s ionizujícím zářením
- lék na nemoci z ozáření

19. Myslíte si, že byla na území ČR prováděna nějaká opatření v návaznosti na jadernou havárii ve Fukušimě? Všimli jste si nějakých?

- ano
- ne

20. Pokud Vaše odpověď byla ano, jaká?

.....

Děkuji Vám za Váš čas.

Ráda zodpovím Vaše dotazy.

Nikola.Orthova@seznam.cz