



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

**Analýza současných poznatků o vlivu malých radiačních dávek na lidský  
organismus**

**Analysis of Current Knowledge about the Effects of Low Radiation Doses on  
the Human Body**

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva  
Studijní obor: Civilní nouzové plánování  
Vedoucí práce: prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc.

**Bc. Jana Vaňková**

---

**Kladno, květen 2017**

## Z a d á n í   d i p l o m o v é   p r á c e

Student: **Jana Vaňková**  
Studijní obor: Civilní nouzové plánování  
Téma: **Analýza současných poznatků o vlivu malých radiačních dávek na lidský organismus**  
Téma anglicky: Analysis of Current Knowledge about the Effects of Low Radiation Doses on the Human Body

### Zásady pro vypracování:

Cílem práce je analyzovat současné poznatky o vlivu nízkých radiačních dávek (do 1 Sv) na lidský organismus na základě literárních údajů a posoudit informovanost české populace o vlivu ionizujícího záření, jeho přítomnosti ve vnějším prostředí a míru radiofobie. K ověření cíle jsme stanovily hypotézy - H1: Více než 70 % respondentů pocítuje strach z účinků radioaktivního záření. H2: Méně než 40 % dotazovaných je známo, že radioaktivní záření působí na cestující během letecké přepravy. Teoretickou část bude obsahovat poznatky o malých radiačních dávkách z literárních zdrojů. Praktickou část bude tvořit dotazníkové šetření od 1 000 respondentů. Sběr dat bude probíhat ve městech Domažlice a Plzeň. Respondenti budou rozděleni podle pohlaví, věku a vzdělání. Dotazník bude vytvořen ve spolupráci se specialistou v oblasti veřejného mínění a zaměřen na téma ionizující záření a radiofobie. Z tohoto šetření bude vyvozeno současné povědomí pacientů o malých radiačních dávkách a jejich obavách na jejich zdravotní stav. Výstupem práce bude doporučení ke zvýšení informovanosti veřejnosti o výskytu radioaktivního záření.

### Seznam odborné literatury:

- [1] EUROPEAN RADIATION RESEARCH SOCIETY, Annual meeting. 37th Annual Meeting of the European Radiation Research Society: 26th-29th August 2009, Prague, Czech Republic: abstracts, ed. 1., Prague: Manus, 2009, 182 s., ISBN 978-80-86571-19-5
- [2] KLENER, Vladislav, Malé dávky záření a riziko rakoviny: mimoterčové účinky v ozářených buněčných populacích, ed. 1., 3, číslo 87, 2008, Vesmír, s. 189-193, ISSN 0042-4544
- [3] PENHAKER, Marek, Lékařské terapeutické přístroje, ed. 1., Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 216 s., ISBN 978-80-248-1558-9
- [4] HANUS, Václav, ed., BLÁHA, Václav, ed. a KORTANOVÁ, Martina, ed., Nízké dávky ionizačního záření: sborník materiálů ze semináře České nukleární společnosti konaného dne 5. října 2005 v Konferenčním centru ÚJV Rež, ed. 1., Praha: Česká nukleární společnost, 2006, 26 s., ISBN 80-02-01790-0

Vedoucí: prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc.  
Konzultant: Jana Bryknarová

Zadání platné do: 20.08.2018

.....  
vedoucí katedry / pracoviště

.....  
děkan

V Kladně dne 12.12.2016

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem **Analýza současných poznatků o vlivu malých radiálních dávek na lidský organismus** vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně dne 16.05.2017

.....  
Podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu profesorovi za jeho odborné vedení, za pomoc a ochotu při tvorbě diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala paní Janě Bryknarové z agentury Ipsos, která nám dodala potřebné informace k tvorbě dotazníku a k vyhodnocení nasbíraných dat. Poděkování si zaslouží také všichni, kteří jakýmkoliv způsobem pomohli se sběrem dat a samozřejmě všichni respondenti.

## **Abstrakt**

Malé dávky ionizujícího záření jsou obecně definovány jako interval od nuly do 100 mSv. Tento rozsah může být přísnější nebo benevolentnější v závislosti na aplikaci ionizujícího záření. Nejvíce otázek ke vztahu dávky a účinku ionizujícího záření se objevuje u velikosti dávky pohybující se kolem nuly. Zde se dosavadní informace stále obnovují a rozšiřují prostřednictvím zejména epidemiologických studií.

Nové poznatky jsou získávány jak v oblasti genetických změn způsobených malými dávkami ionizujícího záření, tak vzniku maligních onemocnění. Při rozvoji maligního onemocnění působí najednou několik faktorů (genetické dispozice, životní styl, závislosti, pohybová aktivita), tudíž působí-li na člověka ionizující záření o malých dávkách, nelze záření označit jednoznačně za příčinu zhoubného bujení.

Metodou dotazníkového šetření jsme vyhodnotili závěry týkající se informovanosti široké veřejnosti o vlastnostech, zdrojích a účincích ionizujícího záření. Zajímali jsme se také o vztah populace k ionizujícímu záření, zda v jeho přítomnosti pociťuje strach a jestli je ve zdravotnictví ionizující záření významné pro diagnostiku a terapii. Součástí dotazníkového šetření byly i otázky zaměřující se na problematiku hlubinného úložiště radioaktivního odpadu, jaderných elektráren a pojmu špinavá bomba.

Prostřednictvím výsledků vyhodnocených dat jsme ověřili námi stanovené hypotézy, které se nám však nepotvrdily. Předpokládali jsme, že více jak 70 % dotazovaných pociťuje strach při rentgenovém vyšetření, avšak podle výsledků je to jen 53 %. Dále jsme očekávali, že méně než 40 % tázaných je informováno o přítomnosti ionizujícího záření během letu letadlem. Informováno je 47 % dotazovaných.

## **Klíčová slova**

Radiační dávka; lidský organismus; účinek; analýza; radiační zátěž

## **Abstract**

Small doses of ionizing radiation are generally defined as a range from zero to 100 mSv. This range may be more stringent or benevolent depending on the application of ionizing radiation. Most questions about the relationship between the dose and the effect of ionizing radiation appear for a dose size around the zero mark. Here the information is still being renewed and expanded, in particular through epidemiological studies.

New knowledge is being acquired both in the field of genetic changes caused by small doses of ionizing radiation and in the development of malignant diseases. Many factors (genetic disposition, lifestyle, dependence, physical activity) act in the development of malignant disease, so if human beings are exposed to small doses of ionizing radiation, radiation cannot be unilaterally identified as the cause of malignant growth.

Using the questionnaire survey method, we evaluated the conclusions regarding the general public's awareness of the properties, sources, and effects of ionizing radiation. We also concentrated on the relationship of the population to ionizing radiation, whether there is any fear in the presence of ionizing radiation in the healthcare sector, where ionizing radiation is important for diagnosis and therapy. The questionnaire survey was also focused on the issues of deep repositories of radioactive waste, nuclear power plants, and the concept of the dirty bomb.

Through the results of the data evaluation, we have verified the hypotheses that we have established, but which we have not confirmed. We assumed that more than 70 % of respondents felt fear of X-ray examination, but the results showed the true figure to be only 53 %. Furthermore, we expected less than 40 % of respondents to be informed about the presence of ionizing radiation during aircraft flights. A total of 47 % of respondents are informed.

## **Keywords**

Radiation dose; human organism; effect; analysis; radiation load

## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Současný stav .....	10
2.1	Definice malých radiačních dávek.....	10
2.2	Riziko stochastických účinků .....	12
2.3	Lineárnost a bezprahovost stochastických účinků .....	15
2.3.1	Nadhodnocení rizika LNT hypotézy.....	17
2.3.2	Zlehčení rizika LNT hypotézy .....	18
2.4	Maligní onemocnění .....	20
2.5	Dědičné poruchy .....	21
2.6	Epidemiologické studie.....	23
2.7	Radiační zátěž člověka.....	26
2.7.1	Přírodní zdroje .....	28
2.7.2	Umělé zdroje ionizujícího záření .....	32
2.7.3	Profesní ozáření .....	34
2.7.4	Malé dávky při haváriích v Černobylu a Fukušimě.....	38
2.8	Hlubinné úložiště .....	39
2.9	Špinavá bomba.....	39
3	Cíl práce a hypotézy.....	42
4	Metodika .....	43
5	Výsledky .....	45
6	Diskuze .....	73
7	Závěr .....	88
8	Seznam použitých zkratk .....	89
9	Seznam použité literatury .....	91
10	Seznam použitých obrázků .....	95
11	Seznamu použitých tabulek .....	96

12	Seznam použitých grafů.....	97
13	Seznam příloh .....	98



# 1 ÚVOD

Krátce po začátku 21. století se zvyšuje zájem o rozšiřování poznatků v oblasti malých dávek ionizujícího záření a jejich účinků. Tomuto tématu se věnuje hned několik vědeckých dokumentů zpracovaných v různých jazycích. Malými dávkami se zabírají i mezinárodní komise (ICRP), vědecké výbory (UNSCEAR), národní akademie věd (NAC - BEIR) či národní akademie medicíny (Académie des Sciences - Académie Nationale de Médecine).

Z těchto dokumentů vychází dva druhy poznatků. Jednou z možností je pozorování kolektivu nadměrně ozářených lidí, tzv. epidemiologické studie, a druhou variantou získávání poznatků je práce s pokusnými zvířaty, nižšími organismy nebo buněčnými kulturami, která doplňuje epidemiologickou studii. Spolu s těmito novými poznatky však vyvstávají na povrch důležité otázky a hypotézy k dosavadní platnosti a správnosti limitace v rámci radiační ochrany, které buď to vyvracejí, nebo upevňují stávající charakter koncepce. Nejvíce diskutovanou oblastí je lineární průběh závislosti účinků na malých dávkách a bezprahovost stochastických účinků.

Součástí této práce je analýza současných názorů a objevů odborníků týkající se problematiky malých dávek ionizujícího záření, informace o zdrojích a míře radiační zátěže člověka zejména po ozáření malými dávkami, se kterými jsme ve styku každý den. Prostřednictvím dotazníkové metody jsme se snažili objasnit postoje a vztah široké veřejnosti k ionizujícímu záření. Cílem šetření je zjistit informovanost a obavy veřejnosti v oblasti ionizujícího záření a vyvodit doporučení ke zvýšení veřejného povědomí.

## 2 SOUČASNÝ STAV

### 2.1 Definice malých radiačních dávek

Definice malých dávek byla dříve formulována jako dávky, u nichž mluvíme o stochastických účincích, naopak u velkých dávek popisujeme účinky deterministické. Avšak tato charakteristika není přesná, protože i u vysokých dávek a vysokých dávkových příkonů pozorujeme vyšší riziko vzniku stochastických účinků. Proto bylo nutné přistoupit k validnějšímu a pravdivějšímu vymezení. Malé dávky nezpůsobují bezprostřední účinky na lidský organismus, s podáním malé dávky se zvyšuje pravděpodobnost výskytu pozdních účinků. [1] [2]

UNSCEAR v roce 1993 zavádí pro jednorázovou dávku převyšující 100 mGy nebo pro dávkový příkon vyšší než 6 mGy/h označení tzv. řídké ionizující záření anebo pro jednorázové dávky o velikosti 50 mSv tzv. hustě ionizující záření. [1]

Dle zprávy BEIR VII z roku 2006 jsou udávány hodnoty pro záření s nízkým LET tak, že malé dávky charakterizuje interval kolem nuly až do výše 100 mSv. Dokument ICRP 99 z roku 2006 definuje nízké dávky jako dávky nižší než roční limity pro radiační pracovníky (20 mSv) a pro obyvatelstvo (1 mSv). V tomto dokumentu jsou také klasifikované a označované dávky o velikosti 1 Sv jako mírně vysoké (moderately high), o velikosti 100 mSv jako mírné (moderate), 10 mSv nízké, 1 mSv velmi nízké dávky a 0,1 mSv extrémně nízké. [1] [3]

Pro malé dávky ionizujícího záření určil UNSCEAR v roce 2010 hodnoty nižší než 200 mGy a malé dávkové příkony odpovídají velikosti 0,1 mGy/min, to platí pro externí X záření a gama záření. Avšak výbor připouští existenci různých hodnot definujících malé dávky v závislosti na účelu použití. [4]

Ve zprávě UNSCEAR z roku 2012 je uvedena tabulka obsahující různá označení rozmezí absorbovaných dávek platících pro záření s nízkým LET. (viz tabulka 1) [5]

Tabulka 1 Terminologie a rozmezí dávek záření s nízkým LET [5]

<b>terminologie skupin dávek</b>	<b>rozmezí absorbovaných dávek záření s nízkým LET</b>
vysoké	vyšší než 1 Gy
mírné	100 mGy-1 Gy
nízké	10 mGy-100 mGy
velmi nízké	nižší než 10 mGy

V nesespecializovaných publikacích nízké dávky často korespondují s dávkami obdrženy z přírodního prostředí a pohybují se v rozmezí od 1 do 5 mGy. Na druhou stranu pro odborníky léčící zhoubné onemocnění představuje pojem nízká dávka individuální a rozdílné hodnoty. AFRRI se převážně zabývá dávkami vyvolávající akutní radiační syndrom. Pro účely AFRRI jsou nízké dávky obecně vyjádřeny jako dávky, které nezpůsobují pozorovatelné akutní radiační účinky, což odpovídá dávkám přibližně nižším než 1 Gy. Dávku 1 Gy AFRRI charakterizuje jako mírně vysokou (moderately high) a dávky nižší než 10 mGy jako velmi nízké (very low). Pro jednotnost s ICRP, UNSCEAR a NRC dokumenty představují nízké dávky hodnoty 100 mGy a nižší. [6]

Účinky dávek, které člověk získá z umělých zdrojů během krátkého časového období a které přesahují 250 mSv, můžeme dobře pozorovat a studovat po explozích v Hirošimě a Nagasaki, po jaderných haváriích, po terapii pacientů s onkologickým onemocněním nebo u pracovníků exponovaných těmito dávkami. Hůře statisticky pozorovatelné jsou účinky dávek nižší než 100 mSv, které odhadujeme prostřednictvím lineární extrapolace od vyšších hodnot, a jejich vliv na lidský organismus je velice malý. U hodnot klesajících pod 20 mSv, kdy umělé ozáření odpovídá či je nižší než přírodní pozadí, existuje mnoho otázek a hypotéz vyjadřující jejich vliv. [7]

Rizika pro malé dávky a nízké dávkové příkony jsou odvozována UNSCEAR od vysokých dávek a vysokých dávkových příkonů pomocí faktoru efektivity dávky a dávkového příkonu (DDREF). Nedostatečná přesnost statistického měření a působení

rušivých jevů neumožňují přesné stanovení DDREF. Pro radiační ochranu Komise ICRP zavedla DDREF rovnající se 2. Komise ICRP poznamenává, že pro vyvolání mutací u člověka se hodnoty DDREF pohybují od 2 do 4 a u pokusných zvířat je toto rozmezí mezi hodnotami 2 a 3. Komise ICRP však nenalezla pádné důvody ke změně hodnoty DDREF a stále se přiklání k hodnotě 2, která platí pro všechny typy nádorů. Komise ICRP zároveň uvádí, že různým orgánům a tkáním mohou odpovídat odlišné účinky dávek a dávkových příkonů. [8]

Ve zprávě BEIR VII se na základě radiobiologických a epidemiologických podkladů ověřovala stanovená hodnota DDREF s využitím statistické analýzy. Modální hodnota vyplývající z analýz odpovídala 1,5 a byla doplněna o rozpětí od 1,1 do 2,3. Avšak tyto hodnoty byly označené za subjektivní a odpovídající pouze konkrétnímu výběru, a tak výbor NRC potvrzuje již stanovenou hodnotu DDREF 2, která i přesto nevylučuje závěry provedených analýz. [8]

## **2.2 Riziko stochastických účinků**

Stochastické účinky jsou náhodné, individuální a nepředvídatelné. S rostoucí dávkou ionizujícího záření, se zvyšuje pravděpodobnost vzniku stochastických účinků. Udává se průměrný koeficient rizika vyjadřující vznik maligního nádoru indukovaného ionizujícím zářením. Tento koeficient odpovídá  $0,055 \text{ Sv}^{-1}$  nebo 5,5 % na 1 Sv. Pokud bychom vzali 1 000 osob, které získají dávku 1 Sv, tak u 55 bychom očekávali vznik zhoubného nádoru. [3] [9]

Předpokládá se, že u nízkých dávek cca do 1 Sv je míra účinku lineárně závislá na dávce a že stochastické účinky nemají práh, proto jsou označovány jako bezprahové. Tento konzervativní přístup je obecně rozšířen, avšak v současné době se setkáme s mnoha studii a hypotézami, které tento závěr vylučují. [9]

I u expozice nízkým dávkám vyvstává na povrch několik otázek týkající se rizika vzniku stochastických účinků. Koncepce radiační ochrany rozděluje nízké dávky do 4 skupin, ke kterým bylo přiřazeno určité riziko. [10]

Tabulka 2 Hodnocení rizika při ozáření malými dávkami v rámci radiační ochrany [10]

<b>velikost efektivní dávky</b>	<b>riziko</b>
nižší než 0,1 mSv	zanedbatelné
0,1-1 mSv	minimální
1-10 mSv	velmi nízké
10-100 mSv	nízké

ICRP 103 se zabývá poznatky v oblasti efektivní dávky nepřevyšující 100 mSv nebo absorbované dávky kolem 100 mGy při nízkém LET. Tyto dávky mohou být podané jak jednorázově, tak i za celý rok. Díky experimentálním a epidemiologickým studiím můžeme hovořit o možnosti vzniku rizika způsobující zhoubné onemocnění, a to již po obdržení dávky kolem 100 mSv či nižší. Mnohem více záhadné jsou poznatky o riziku vyvolávající genetické poruchy. [8]

V současné době neexistuje přímá evidence negativních účinků malých dávek na organismus. Sledování populace žijící v Čínské lidové republice, Indické republice a USA v prostředí s vysokým radiačním pozadím neodhalilo škodlivé následky. Navíc byly prokázány pozitivní účinky nízkých dávek prostřednictvím adaptivní odpovědi a tzv. hormesis phenomenon, při kterém se aktivují reparační mechanismy, jež by bez působení ionizujícího záření nebyly zmobilizovány. Avšak nesmíme opomenout otázky týkající bystander efektu, jenž naopak rozšiřuje následky expozice malým dávkám. [11]

Odborníci na základě studie prokázali riziko vzniku onemocnění oběhového systému po obdržení nízké dávky. Navýšení populačního rizika na 1 Sv pro všechna oběhová onemocnění se pohybuje v rozmezí 2,5 % (ve Francouzské republice) až 8,5 % (v Ruské federaci). [12]

I když si je Komise ICRP vědoma jistých odchylek rizika mezi ženami a muži a ve vztahu k věku, kdy byly jedinci exponováni záření, jsou nominální koeficienty průměrované pro obě pohlaví a podle Komise ICRP by měly být použity pro celou

populaci. Koeficienty se liší ve stanovení rizik pro různé orgány a tkáně a bere se v úvahu i relativní újma po expozici gonád vzhledem k dědičným účinkům. Riziko dědičných účinků odpovídá v celkové populaci  $0,2 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ , pro dospělé pracovníky činí  $0,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ . Koeficient nádorů zapříčiňující smrt činí 5 % per Sv. [8]

U kojenců a dětí, u nichž se očekává plný reprodukční potenciál, se riziko genetických poruch několikrát navyšuje. U starší populace riziko klesá v závislosti se snižující reprodukční schopností. Spontánní výskyt genetických poruch v neozářené populaci připadá na 5-10 ze 100 živě narozených dětí. [13]

Pro dospělé pracovníky činí celkový koeficient rizika úmrtí na zhoubné nádory indukované radiací  $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ , což odpovídá 4 úmrtím na 100 pracovníků exponovaných efektivní dávkou 1 Sv. Celková populace je zatížena vyšším koeficientem rizika, který odpovídá hodnotě  $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ . Avšak lidé umírají i na zhoubná onemocnění vznikající spontánně, bez vlivu ozáření, kdy populační riziko odpovídá 25 %. Tedy každý čtvrtý člověk umírá na následky maligního onemocnění. U dětí se tyto koeficienty navyšují dvakrát až třikrát, naopak u lidí starších 50 let se riziko snižuje 5-10krát (neplatí pro některé typy leukemií). [13]

Tabulka 3 Nominální koeficienty rizika vztažené k újmě pro stochastické účinky záření s malým dávkovým příkonem [14]

ozářené osoby	nominální koeficient rizika ( $10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ )					
	maligní onemocnění		dědičné účinky		celkem	
	ICRP 103	ICRP 60	ICRP 103	ICRP 60	ICRP 103	ICRP 60
<b>celá populace</b>	5,5	6,0	0,2	1,3	5,7	7,3
<b>dospělí</b>	4,1	4,8	0,1	0,8	4,2	5,6

## 2.3 Lineárnost a bezprahovost stochastických účinků

Účinky nízkých dávek radiace na sebe vztahují velké množství pozornosti, protože se s nízkými dávkami setkáváme dennodenně a mohou mít potenciálně dlouhodobé účinky na život člověka. Předmětem studií jsou tedy modely vyjadřující závislost dávky a účinku. [15]

Malé dávky ionizujícího záření a jeho pozdní účinky na lidský organismus jsou předmětem několika hypotéz. Jakákoliv dávka může představovat pro živý organismus jisté nebezpečí. Jelikož mluvíme zejména o účincích stochastických, je potřeba prozkoumat jejich lineárnost a bezprahovost i u hodnot přibližující se nule, kde neplatí dané zákonitosti. [2]

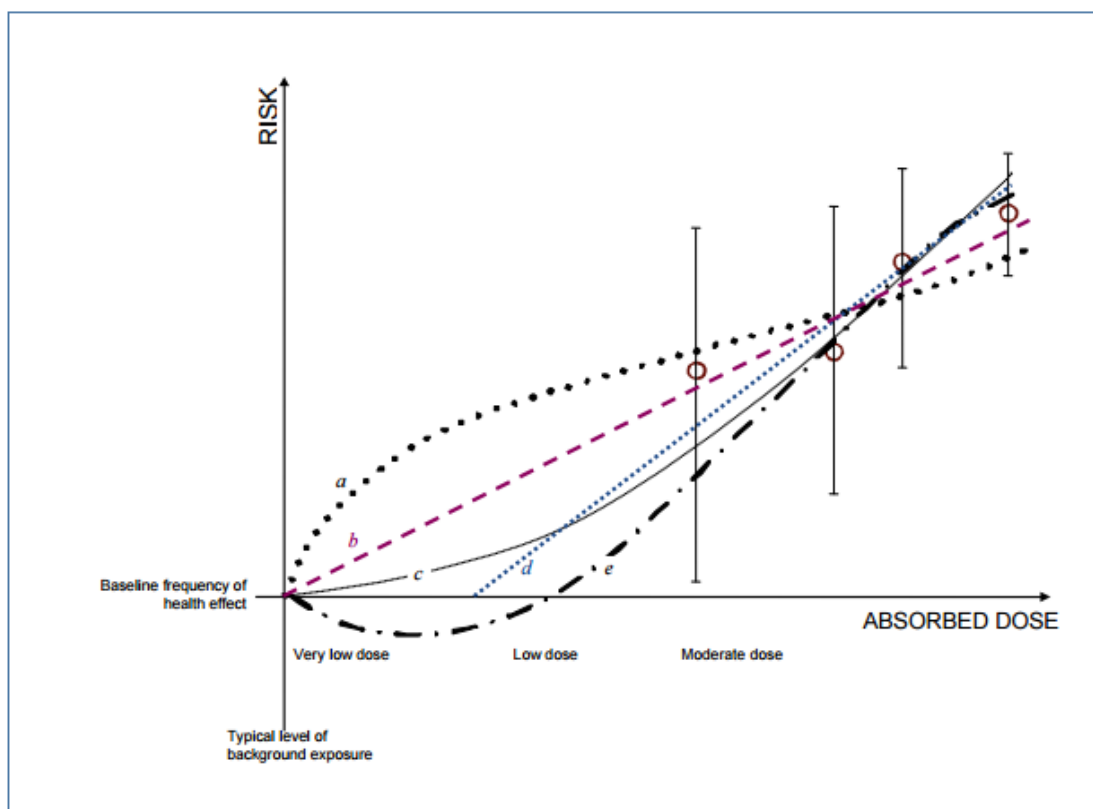
Oproti dávkám vyšším nelze u malých dávek jednoznačně určit vztah dávky a účinku na lidský organismus. Někteří odborníci tudíž přistoupili k metodě, kde od vyšších dávek, u nichž byl prokázán vztah k biologickému účinku, extrapolovaně dosadí hodnoty i k dávkám malým. Pomocí této metody lze ihned odvodit možné škodlivé dopady na lidský organismus. [16]

Model vztahu dávka - účinek zastávající lineárnost a bezprahovost označujeme jako LNT risk model. Tento model podporují ICRP, NCRP, UNSCAER, proti se staví jiné instituce, např. Francouzská akademie věd, na základě důkazů o ochranných postradiačních odezvách buňky, kterými jsou aktivace reparačních procesů a řízená programovaná smrt poškozené buňky. Tyto nesrovnalosti poukazují na potřebu dalších výzkumů malých dávek. [6]

Výbor NRC soudí, že lineární bezprahový model je rozumným popisem vztahu mezi nízkými dávkami a výskytem zhoubných nádorů indukovaných ionizujícím zářením, protože při dávkách kolem 100 mSv lze jen ztěžka vyhodnotit riziko vzniku maligního onemocnění u lidí, a tudíž i nejmenší dávka může potenciálně zvýšit riziko pro člověka. Zpráva dále obsahuje i popis lineárně-kvadratického modelu, který byl přijat pro leukemii a hypotetického lineárního modelu s prahem. [3]

Pro hypotézu o linearitě svědčí několik experimentálních podkladů, ze kterých je tento vztah zřejmý a nacházíme tak shodu v předpokladu přímé úměrnosti dávky a účinku. Avšak nalezneme i takové studie, jež prokázaly, že směrem k menším hodnotám dávky klesá přímka pod předpokládaný průběh, což by znamenalo přecenění reálného rizika. Jiné výjimečné experimenty zase objevily svými pozorováními případy, kdy směrem k nižším hodnotám přímka stoupá nad očekávaný průběh, a to by podporovalo teorii podcenění rizika spojeného s hypotézou linearitě. [17]

Následující obrázek zobrazuje schematické znázornění vztahu dávky a účinku pro velmi malé, malé a střední dávky, a to pro riziko zhoubného onemocnění. Dávky jsou znázorněny ve vztahu k přírodnímu radiačnímu pozadí. Zvýrazněné body představují pozorování zvýšeného výskytu případů specifických typů zhoubných nádorů vyskytující se v populaci exponované mírným dávkám. V oblastech nízkých dávek se křivka vztahu dávky a účinku různě mění. Křivky vyjadřují: (a) supralineární průběh, (b) LNT model, (c) lineárně kvadratický průběh, (d) prahový model a (e) hormesi. [5]



Obrázek 1 Znázornění vztahu dávky a účinku u rizika zhoubného onemocnění pro velmi nízké, nízké a střední dávky [6]



Hypotézu linearity a bezprahovosti nelze chápat jako nějakou zákonitost, jejím hlavním účelem je využití pro potřeby radiační ochrany jako možné zobecnění dat, kde pro oblast malých dávek počítá s nadhodnocením situace a podhodnocení situace zůstává jen zřídka pravděpodobné. [17]

### **2.3.1 Nadhodnocení rizika LNT hypotézy**

Nalezneme však odborníky hodnotící LNT model jako přeceněný a ti říkají, že rizika vzniku účinků jsou nižší, než lze očekávat nebo vůbec neexistují. Někteří zastávají názor podporující výhodné účinky malých dávek záření. Tyto hypotézy byly postaveny na ekologických studiích nebo na studiích, které nelze hodnotit jako reprezentativní data vztahující se na celé lidské tělo, a proto je NRC neakceptuje. [3]

Za ochranu před účinky záření jsou zodpovědné enzymy, které umožňují opravy nebo eliminaci buněk postižených fatálním poškozením - apoptóza. Aktivace některých takovýchto enzymů se uskutečňuje ozářením. Denně můžeme v lidském genomu pozorovat 100 000 úprav, které lze z větší části opravit. Záření o dávce 1 Gy podmíní vznik asi 40 DBS, 1 000 SSB, 3 000 lézí na bazích, 150 vazeb a 30 DNA můstků. [1]

#### **2.3.1.1 Hormeze**

Některé zdroje uvádí, že působení nízkých dávek ionizujícího záření by mohlo mít pozitivní vliv na lidský organismus, kdy jsou buňky stimulovány k reparačním procesům na úrovni chromozomů. Tyto procesy by měly mít schopnost zpreparovat jak poškození vzniklé expozicí ionizujícímu záření, tak defekty vzniklé působením metabolismu, které by nešly za normálních podmínek opravit. Mluvíme poté o hormezi nebo o jakési imunizaci organismu. Fenomén hormeze způsobuje příznivou odpověď buněk na expozici nízkou dávkou, ale tato teorie není zcela prokázána. [1] [16]

Fenomén hormeze byl ověřován pouze na bakteriích, jejichž kultury byly rozděleny do dvou skupin. Jedna skupina byla vložena do stínícího boxu, kde množství radioaktivní zátěže kleslo pod hodnotu přírodního pozadí. Druhá skupina byla vystavena působení slabého pole ionizujícího záření. U obou skupin byly zajištěny stejné teplotní, tlakové,

vlhkostní podmínky. Z tohoto experimentu vzešel výsledek, který prokázal lepší životní vývoj bakterií, na něž působilo záření. [16]

Avšak pro změnu přístupu k biologickým účinkům záření na člověka, je tento experiment na bakteriích nedostatečný. Pro úpravu norem a předpisů by bylo potřeba dalších experimentů na úrovni vyšších organismů a klinických studií. Problematiku malých dávek mohou ovlivnit nejen studie, ale i nové objevy v oblasti biofyzikální či molekulárně biologické. [1] [16]

#### 2.3.1.2 Adaptivní odpověď

Po ozáření nízkou dávkou záření pohybující se mezi 5 a 10 mGy se v intervalu 3-6 hodin snížil účinek vyšších dávek záření, které jsou v řádech jednotek Gy. Jedním z možných výkladů je, že vlivem malých dávek ionizujícího záření jsou aktivovány reparační procesy v buňce. Ochrana adaptivní odpovědi u malých dávek stoupá, až v oblastech dávky 0,1-0,2 Gy adaptivní odpověď ztrácí svoji funkci. [2] [16]

Adaptivní odpověď (odezva) je vícestupňový děj. Po ozáření dochází ke zpomalení buněčného cyklu, a tím vzniká více prostoru pro působení reparačních mechanismů. [17]

### 2.3.2 Zlehčení rizika LNT hypotézy

Objevují se názory příklánějící se k stanovisku vyjadřující možnost vzniku větší míry poškození po expozici malými dávkami, než se předpokládá u modelu LNT. Výbor NRC však tento názor nepodporuje. Lze říci, že výbor NRC zastává teorii, čím nižší je dávka, tím menší je pravděpodobnost vzniku poškození lidského organismu. Tento závěr podporuje skutečnost, že průchod jedné jediné částice ionizujícího záření buněčnou DNA vyvolává úměrně nižší riziko poškození než při průchodu většího množství částic ionizujícího záření. [3]

#### 2.3.2.1 Bystander effect

Nové objevy v oblasti biologie poukazují na bystander effect, kdy ozářená buňka komunikuje s buňkou neozářenou pomocí chemických signálů nebo jiných mechanismů.

To by mohlo naznačovat, že i při nízkých dávkách záření může vzniknout větší účinek, než by se dalo předpokládat na základě extrapolace dávek vysokých. Bystander effect byl prokázán již po ozáření dávkou ve výši 5 mGy. Změny neozařených buněk se projevují ve formě tvorby mikrojader, mutací, maligních transformací, mohou ztrácet schopnost klonovat se nebo je indukována apoptóza. Jiní se domnívají, že se zvýšeným počtem buněčných smrtí způsobených bystander efektem se snižuje riziko zhoubného onemocnění, a to díky snížení počtu buněk ozářených s potenciálním vznikem maligního nádoru. [3] [18]

Ozářená buňka komunikuje s okolím prostřednictvím gap junction nebo cytotoxických látek v extracelulárním prostoru. Bylo prokázáno, že postižené buňky obsahují velké množství látek vyvolávajících oxidativní stres, které posléze buňky uvolňují do okolí. Těmito látkami jsou reaktivní kyslíkové radikály a oxidy dusíku. Působením oxidativního stresu vznikají ve větším množství bodové mutace (zejména delece), jež byly objevené u buněk ovlivněných bystander efektem. U bystander efektu byla prokázána aktivace proliferace a adaptace buněk na další ozáření. [18]

#### 2.3.2.2 Genomická instabilita

Efekt genomické nestability poukazuje na časový faktor, kdy se změny na ozářených buňkách projeví až na příštích generacích. Ozářené buňky bezprostředně po ozáření nejeví příznaky poškození. Přitom tyto změny jsou na rozdíl od změn způsobených klasickými mutacemi vratné. Genomickou nestabilitu lze prokázat různými genetickými ukazateli např. transformací maligního charakteru, odchylkami na chromozomech, specifickými genovými mutacemi a přežitím buněk. [2]

Výskyt chromozomových aberací byl objeven u několika buněčných generací, kde nově vznikají v přežívajících buňkách. Genomická nestabilita by tak mohla přispívat k fenoménu opožděné letality buněk a dále by se mohla podílet na časově opožděné sérii mutací, které podmiňují rozvoj zhoubného onemocnění. [1]

## 2.4 Maligní onemocnění

Zpráva ICRP 103 uvádí, že po roce 1990 se názory týkající se souvislosti expozice záření a poškození DNA jednotlivé buňky posílily a zároveň se došlo k závěru, že vystavení působení záření má veliký význam na rozvoj zhoubného nádoru. Tyto názory také přispěly k důležitosti malých dávek, což vedlo k poupravení hodnocení relativní biologické účinnosti, radiačních váhových faktorů a působení dávky a dávkového příkonu. Další zlepšení přístupu jsme mohli zaznamenat v oblasti vlivu záření na DNA, kde mluvíme zejména o komplexních formách dvojitého zlomu DNA, o jejich opravách a vzniku mutací. [8]

Pokud se u člověka rozvine maligní onemocnění, nelze za původce jednoznačně označit ionizující záření, protože v současné době nebyly objeveny žádné dostupné biomarkery specifické pro záření indukované účinky. Tak jednoznačné odlišnosti není schopna patologická diagnostika určit. S jistými výjimkami se můžeme setkat v případě specifických druhů zhoubného nádoru štítné žlázy, kdy byl jedinec vystaven expozici záření v dětském věku. I přesto nelze jednoznačně zdravotní účinek připsat ozáření. [5]

Mezi kancerogenezi spontánně indukovanou a vyvolanou ionizujícím zářením neprokázaly studie rozdíly v procesu vzniku, a proto předpokládají, že cesta vzniku je u obou stejná. [19]

Výbor NRC rozvinul a prezentoval odhady rizika vzhledem k nízkým dávkám v lidském těle. Jeden z odhadů pracuje s očekávaným rizikem maligního onemocnění při jednorázovém ozáření dávkou 0,1 Sv. Riziko závisí na pohlaví a věku, kdy došlo k expozici. S větším rizikem se počítá u žen a osob mladšího věku. V průměru se očekává, že u 1 osoby ze 100 se rozvine zhoubné onemocnění včetně leukemie. U maligních nádorů vzniklých z jiných příčin je poměr vyjádřen 42 osob na 100. U expozice dávkou 0,01 Sv se předpokládá výskyty 1 maligního onemocnění na 1000 osob. Při dlouhodobé expozici nízkými dávkami (cca 70 let) získanými z přírodního záření, vyjma radonu a jiných záření s vysokým LET, připadá zhoubné onemocnění na 1 člověka ze 100. Tyto odhady jsou však nejisté, z důvodu limitace údajů použitých při vývoji rizikových modelů. [3]

Při rozvoji nádoru po ozáření hraje velkou roli časový faktor. Interval mezi ozářením a manifestací nádoru může trvat i několik let. U leukemie medián doby latence odpovídá osmi letům, u solidních nádorů je to pak v rozmezí 15-25 let. [17]

Dle SÚJB se období latence u leukemie pohybuje v intervalu od 5-20 let, pro nádory plic pak v intervalu 10-40 let. [13]

## 2.5 Dědičné poruchy

V polovině dvacátého století odhadovaly analýzy, že při celotělovém ozáření je pravděpodobnost vzniku genetické poruchy stejná nebo vyšší než u vzniku nádorových onemocnění. Tyto analýzy byly postaveny pouze na pokusech s myšmi a nižšími organismy. Extrapolací těchto poznatků na člověka se došlo k předpokladům, že pro oblast malých dávek platí lineární a bezprahový vztah. Na konci dvacátého století na základě dlouhodobého sledování potomků obětí vystavených jadernému bombardování v Japonsku vydala ICRP v dokumentu ICRP 60 stanovisko, že u těchto potomků nebylo statisticky prokázáno genetické poškození. Tyto výsledky se neshodují s poznatky získanými na zvířatech, u nichž se možnost výskytu genetických poruch objevila. Na základě dosažených poznatků byl vydán v ICRP 60 odhad, že z 10 000 osob ozářených dávkou 1 Sv onemocní genetickou poruchou 100 osob. Genetické poruchy tak představovaly 18 % z celkového počtu zdravotní újmy. [1] [17]

V roce 1990 byla publikována zpráva, že neexistují statistické signifikantní nežádoucí účinky u japonských dětí exponovaných a přeživších osob. Což nasvědčuje tomu, že u relativně nízkých dávek (cca 400 mSv a méně), které obdrželi přeživší, je riziko genetických poruch velice nízké. 65 % přeživších obdrželo dávku menší než 100 mSv. U dětí trpících maligním onemocněním a podstupujících radioterapii s vysokými dávkami nebyla též prokázána vyšší frekvence genetických chorob. [3]

Na začátku jednadvacátého století UNSCAER vydává poněkud odlišnou zprávu od ICRP, kde na 10 000 osob vystavených dávce 1 Sv připadá 20 případů genetického poškození. To odpovídá 3-4 % z celkové zdravotní újmy. Zmírnění výskytu genetických poškození ovlivnily nové poznatky v oblasti genetických onemocnění chronického

charakteru, smrtnosti u multigenových poruch, molekulární genetiky, regulací metabolismu atd. [1]

Na základě studií získaných UNSCEAR 2001 a NAS/NRC 2006 získala Komise ICRP nový náhled na riziko genetických poruch. Zejména po zveřejnění zprávy v roce 2001, kde UNSCEAR uvádí, že riziko dědičných chorob na základě sledování obětí jaderných bomb a poznatků získaných na pokusných myších bylo dříve přeceňované. Komise také ukotvila a začlenila novou metodu stanovující riziko u multifaktoriálních nemocí. Jelikož stále chybí použitelná data pro odvozování rizika u lidí, přistupuje se nadále ke studiím na myších, které mají prokázat vztah mezi mutacemi zárodečných buněk a zářením. [8]

Komise ICRP se přiklání k názoru vyhodnocování rizik platící pouze do druhé generace, zároveň je tu jistá obava o podcenění rizika. Na významu po experimentech odhalující pouze nepatrné odchylky mezi genetickým rizikem u druhé nebo desáté generace tyto pochybnosti klesají. Další vývoj poznatků je podle Komise ICRP neudržitelný. Odhad genetický rizik činí dle Komise ICRP pro první dvě generace 0,2 % na 1 Gy a shoduje se s odhadem UNSCEAR 2001. [8]

Současné studie neprokázaly přímý vztah mezi expozicí rodičů a vzestupu genetických poruch u potomků. I když jsou tyto vztahy prokázány na experimentech prováděných na pokusných zvířatech, tak Komise ICRP zahrnuje možnost vzniku genetické poruchy do systému radiační ochrany. [8]

S pokračujícím nedostatkem údajů o mutacích vyvolaných zářením u člověka a naléhavá potřeba odhadů rizika genetických onemocnění se přistoupilo k nepřímé predikci genetických rizik u lidí použitím údajů z experimentů na myších. Pro predikci rizika zahrnující genetické onemocnění u dětí ozářených osob se využívá metoda doubling dose method (DD), která je vztažena na rámec přirozeně vyskytujících se genetických poruch. DD je definována jako množství záření, které je nutné k indukci takového počtu mutací, jako je spontánně indukovaných v jedné generaci. Velká hodnota DD označuje malé relativní riziko mutace, naopak malá hodnota DD vyjadřuje velké relativní riziko mutace.

Dle výsledků humánních studií potomků obětí jaderných bomb, byla zvolena zdvojující dávka 1 Gy pro lidskou populaci. [3] [17]

Během posledních deseti let se díky pokroku ve vědě zjistilo, že u nízkých dávek nebo dlouhodobých dávek záření s nízkým LET je míra genetického rizika velice malá ve srovnání s frekvencí genetických onemocnění v populaci. Studie prokázaly nedostatek významného množství nežádoucích účinků. [3]

## 2.6 Epidemiologické studie

Tato studie se zabývá sledováním populací, které byly nadměrně ozářené. Zaměřuje se na zdravotní poškození lidí v těchto populacích, zejména na nový výskyt zhoubných nádorových onemocnění a na úmrtnost spojenou s tímto druhem onemocnění. Sledovaná populace by měla být co nejširší a je zapotřebí znát míru její zátěže. Ke sledované populaci musí být zvolena vhodná kontrolní skupina osob. Důležitou podmínkou k získání validních výsledků těchto studií je vyloučení rušivých elementů. [2]

Studie může mít charakter retrospektivní (case-control, případ-kontrola), kdy jsou zpětně vyhledáváni jedinci s daným poškozením a k nim se vybírají zdraví jedinci, kteří disponují podobnými fyzickými a sociálními znaky. Obdržené expozice se zjišťují zpětně. [2] [17]

Prospektivní (kohortová) forma studie se s výhodou využívá pro rozsáhlejší populace, u nichž byl objeven větší výskyt poškození zdraví. U této studie se zvolí dvě zdravé skupiny lidí, přičemž jedna je již ovlivněná působením záření a druhá zde funguje jako kontrolní. Velikost expozice je od začátku sledování známá. [2] [17]

Výsledky vyjadřují hodnoty koeficientů absolutního rizika, kde se udává pravděpodobný výskyt jevu na 10 000 člověkoroků a hodnoty koeficientů relativního rizika, které je vyjádřeno v násobku spontánního výskytu očekávaného účinku. [2]

Největší zdroj takto postižených lidí poskytují města Hirošima a Nagasaki, kam byly na konci druhé světové války shozeny dvě atomové bomby. Další možností sledování exponované populace představuje území zahrnující Běloruskou republiku, Ukrajinu

a Ruskou federaci, které významně ovlivnil výbuch jaderné elektrárny v Černobylu v roce 1986. Monitorují se i osoby vystavené vlivu radonu a jeho produktům, jako jsou horníci vdechující radon v uranových dolech a obyvatelé domů obsahující vyšší koncentrace radonu. [2]

Epidemiologické metody jsou vystavěny na základě extrapolace z rozdílů mezi neozářenými skupinami a skupinami ozářenými dávkou vyšší než 100 mGy. Některé z těchto metod se pyšní poznatkem, který prokázal významně vyšší riziko vzniku maligního nádoru i u dávek v řádu desítek mGy. Avšak pro zhodnocení účinku menších dávek je zapotřebí obrovského počtu monitorovaných lidí. Účinky ještě nižších dávek už tyto studie nedokážou obsáhnout. [2]

Studie doby přežití (Life Span Study, LSS) se vztahují na přežívající oběti po výbuchu atomových bomb v roce 1945, kde se dávky pohybovaly od 100 do 4000 mSv. Úmrtnost na zhoubné onemocnění byla sledována od října 1950 do prosince 1997, incidence maligních nádorů byla zaznamenávána od ledna 1958 do prosince 1998. Zjištěná data poskytla spolehlivější informace o riziku maligního onemocnění a sledování jeho incidence. LSS se vztahuje i na odhad rizika pro děti, které byly vystaveny působení záření již v raném věku. Bylo sledováno více než 100 tisíc osob a u 85 % z nich byly posouzeny individuální dávky na orgány. Velikost dávek se pohyboval od 1 mGy i menší po hodnoty přesahující 4 Gy, z toho 80 % osob bylo exponováno dávkou nižší než 100 mGy. Závěry prokázaly, že pro solidní nádory po expozici dávkou nižší než 150 mSv, platí přibližně lineární vztah. U ozáření těhotných žen bylo zvýšené množství zhoubných nádorů i při nízkých dávkách pohybující se kolem 10 mSv. [8] [3] [17]

Vyhodnocovány byly pozdní účinky po expozici lékařského ozáření, u kterého bylo využito různých typů LET záření a různé energie záření. Jedna studie zahrnuje 14 000 pacientů léčených kvůli ankylozní spodylitidě, u kterých bylo zjištěno zvýšené riziko ve vztahu k dávkou u leukémie, maligního onemocnění plic, jícnu, pankreatu, tlustého střeva atd. S delším odstupem od ozáření relativní riziko klesalo. Další výzkum studoval 200 000 pacientek s maligním nádorem děložního krčku, z nichž polovina podstoupila



zevní ozáření či brachyterapii. U 4 188 žen byl prokázán sekundární výskyt zhoubného onemocnění a k dispozici jsou také individuální odhady dávek. [17]

V mnoha studiích se také zabývali horníky uranových a jiných dolů z Ameriky, Kanady, Švédska, Francouzské republiky, Austrálie, Čínské lidové republiky, ale i ze západní oblasti České republiky. Závěry všech výzkumů se shodovaly na významném účinku kumulativní expozice, ale odlišovaly se kvantitativním vyhodnocením míry rizika. Z nového vyhodnocení studií prostřednictvím jednotné analýzy se potvrdila vazba rizika na kumulativní expozici a z výsledků se prokázal úbytek relativního rizika v závislosti na dosaženém věku, době od expozice a expozičním příkonu. [17]

Výhradně česká studie zahrnovala 4 320 horníků jáchymovských dolů (1948-1959), 5 624 horníků příbramských dolů (1968-1975), 914 horníků lupkových dolů v oblasti Rakovníku (1960-1980). Po vyhodnocení výsledků bádání v roce 1995 vědci evidovali z 10 864 osob 3 880 úmrtí, z toho 911 na následky maligního onemocnění plic. [17]

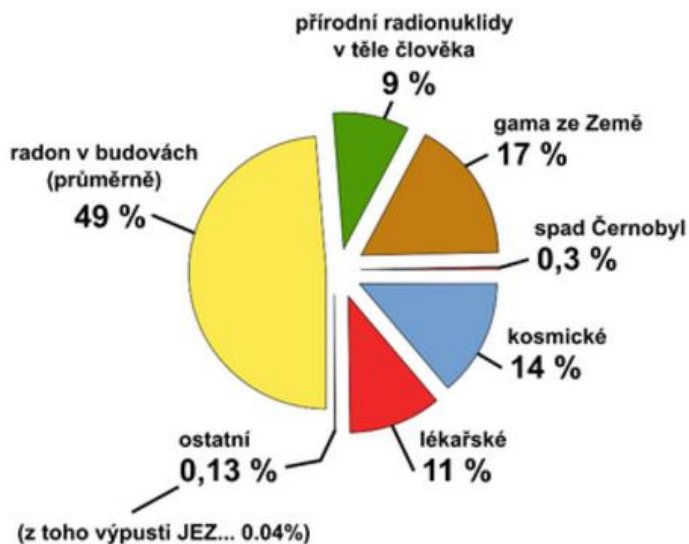
V roce 2015 nově zveřejněná studie ze Švýcarské konfederace poukazuje na výskyt některých typů maligního onemocnění u dětí v souvislosti s expozicí nízkým dávkám z přírodního prostředí. Studie se účastnilo 2 093 660 dětí, které se narodily v letech 1990-2000. Sledování probíhalo do roku 2008. Dle údajů dětského onkologického registru bylo zaznamenáno 1 782 případů zhoubného onemocnění, z toho 530 připadlo leukemii, 328 případům s diagnózou lymfomu a 423 nádorům CNS. Důležitým faktorem bylo místo bydliště, z něhož byly odvozeny různě vysoké hladiny radiace přírodního pozadí. Podle stupně radiace byly děti rozděleny do 4 skupin: úroveň radiace nepřesuje hodnotu 10 nSv/h, úroveň radiace mezi hodnotami od 100 do 150 nSv/h, úroveň radiace mezi 150-200 nSv/h a poslední skupina s hodnotami pozadí přesahující 200 nSv/h. U dětí byla vyloučena možnost vývoje zhoubného nádoru, který by byl způsoben jinými vlivy. Výsledky dokázaly, že mezi dětmi žijícími v oblastech s vyšší hodnotou radiace přírodního prostředí se vyskytoval větší počet případů maligního onemocnění, jako je leukemie a mozkové nádory. Dvojnásobné riziko vzniku leukémie nebo nádorů CNS se prokázalo u dětí z poslední skupiny, kde hodnota radiace přírodního prostředí přesahuje 200 nSv/h, než u dětí ze skupiny první. [20]

Medicínské studie a studie životního prostředí využila Komise ICRP pro další zhodnocení rizika zhoubného onemocnění. Porovnáním s LSS a dalšími zdroji se dospělo k závěru, že pro některé orgány existuje patrná shoda rizika zhoubného onemocnění, ale našly se i patrné rozdíly odhadu radiačního rizika. [8]

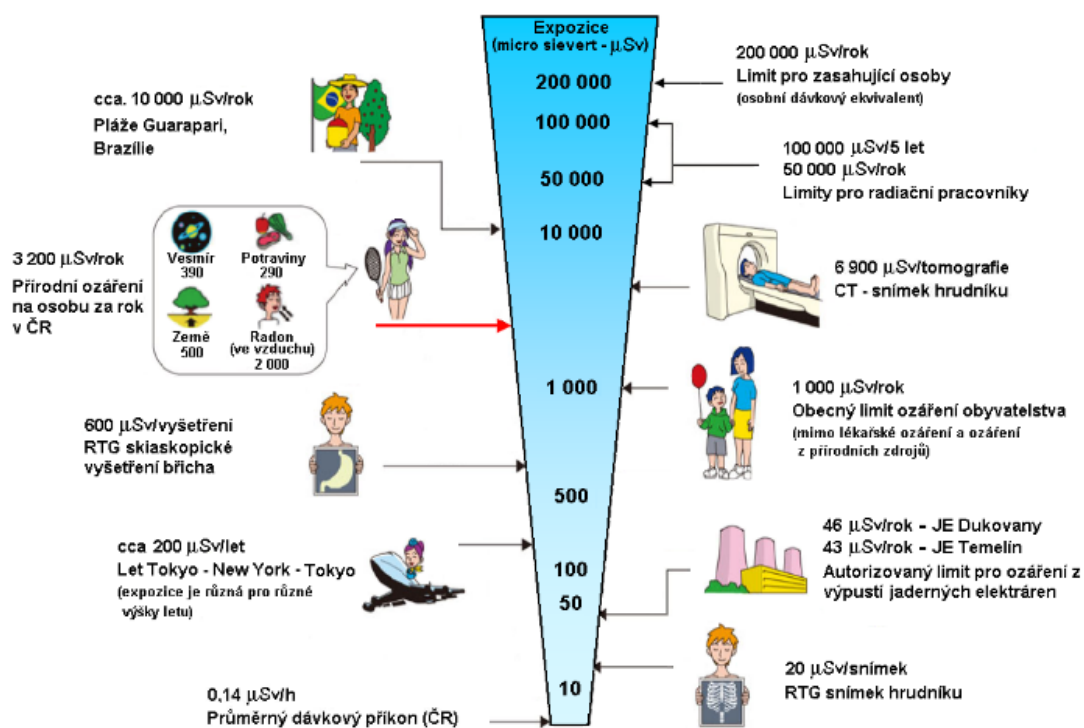
Mezi epidemiologické studie můžeme zařadit i ekologické (korelační) studie, které sledují ukazatele zdravotního stavu určující jednotlivé populační skupiny ve vztahu k různým faktorům získaných ve skupinách. [17]

## **2.7 Radiační zátěž člověka**

Zpráva UNSCEAR zveřejnila v roce 2000 obsáhlý přehled různých zdrojů, úrovně celosvětové radiační zátěže a zhodnocení havárie v Černobylu. 85 % zátěže zapříčiňuje působení přírodního pozadí, asi 14 % připadá na lékařské ozáření a 1 % spadá k umělé vytvořeným zdrojům. Míra zátěže přírodního prostředí se liší místo od místa. To je dáno obsahem radioaktivních nerostů v půdě, vodě a navyšující se zátěží kosmického záření v místech s vyššími nadmořskými výškami. Lékařské využití ionizujícího záření a jeho zátěž na člověka, představuje největší část zátěže z uměle vytvořených zdrojů, závisí na úrovni zdravotnické péče, avšak průměrná roční dávka je malá ve většině částí světa. Ale nejvíce obav obyvatelstva se vztahuje ke zdrojům umělého záření, zejména k jaderným zařízením. [21] [22]



Obrázek 2 Zdroje záření a celková zátěž na obyvatelstvo ČR [22]



Obrázek 3 Expozice ionizujícímu záření a platné limity v ČR [26]

### 2.7.1 Přírodní zdroje

Přírodní ozáření je dáno složkou kosmického záření a složkou přírodních radionuklidů. Přírodní radionuklidy dělíme ještě na 3 skupiny: kosmogenní (vznikají interakcí kosmického záření se stabilními prvky obalu Země –  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ), primordiální (původní, vznikly v raných obdobích vesmíru, mají dlouhý poločas přeměny –  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ), sekundární (vznikají z původních radionuklidů prostřednictvím rozpadových řad). Sekundární a primordiální radionuklidy označujeme také jako terestriální, protože pochází přímo z planety Země. [17]

Lidé jsou vystavováni působení přírodního radiačního pozadí každý den. Roční dávka získaná od přírodního prostředí vztažená na celý svět představuje interval od 1 do 10 mSv. Jako střední hodnota je brána velikost 2,4 mSv. Vliv radonu a jeho produktů (1,2 mSv/rok) tvoří polovinu přírodní zátěže. Druhé největší zastoupení má záření pocházející z kosmu, poté záření ze zemských zdrojů (půdy, kamenů, hornin) a záření vycházející z jídla, vody a samotného lidského těla. Průměrnou roční expozici z přírodního prostředí 0,2-1 mSv připadá záření s nízkým LET. [3]

Faktory, které by mohly snižovat radiační zátěž, zahrnují pobyt v nižších nadmořských výškách, kdy se oddalujeme od působení kosmického záření, a ve vyšších podlažích budovy, kde snížíme expozici radonu a jeho produktů. [3]

Tabulka 4 Roční efektivní dávky za rok 2000 z přírodního pozadí [21]

<b>zdroj - přírodní pozadí</b>	<b>roční efektivní dávky v mSv</b>	<b>typické rozmezí v mSv</b>
vnější		
kosmické záření	0,4	0,3-1,0
terestriální gama záření	0,5	0,3-0,6
vnitřní		
inhalace	1,2	0,2-10
ingesce	0,3	0,2-0,8
<b>celkem</b>	<b>2,4</b>	<b>1,0-10</b>

Tabulka 5 Efektivní dávky z přírodního pozadí [7]

<b>zátěž z přírodního pozadí</b>	<b>efektivní dávka v mSv/rok</b>
dávka z draslíku v lidském těle	0,39
přírodní pozadí v ČR	2,5-3
přírodní pozadí Kerali v Indii	17
přírodní pozadí Guarapari v Brazílii	175
přírodní pozadí Ramsar v Iráku	400

#### 2.7.1.1 Kosmické záření

Kosmické záření obsahuje složky pocházející ze Slunce, dále pak z explodujících hvězd nazývané také jako supernovy. V jídle a vodě působí radioizotopy uranu a thoria. V každém žijícím organismu nacházíme radioizotop uhlíku ( $^{14}\text{C}$ ), draslíku a mnoho dalších prvků. [3]

Částice primární složky kosmického záření disponují vysokými energiemi a jsou to z 85 % protony, jádra helia 12,5 %, dále pak elektrony a těžší jádra. Jen malá část primární složky pronikne až na povrch Země, protože během průchodu atmosférou dochází

k reakcím, ze kterých pak vzniká sekundární složka tvořená protony, neutrony, lehkými jádry a fotony. Intenzita kosmického záření je odlišná na různých místech na Zemi a mění se i s výškou, což je důležité pro leteckou dopravu. Na 600 letových hodin ve výšce 10 km odpovídá průměrná ekvivalentní dávka 4 mSv a ve výšce 12 km činí 7,5 mSv. [23]

#### 2.7.1.2 Radon

Vzhledem k ostatním státům Evropy je v České republice koncentrace radonu v objektech jedna z nejvyšších. V současnosti je měřen tzv. radonový index pozemku, jelikož největším zdrojem radonu je geologické podlaží, které ovlivňuje i obsah radonu v podzemní vodě. Radonové riziko z geologického podlaží je zpracováno ve formě map. Průměrná objemová aktivita radonu v budovách se v ČR pohybuje kolem  $118 \text{ Bq/m}^3$ , což nás řadí na nejvyšší pozice mezi zeměmi světa s největší objemovou aktivitou v budovách. Téměř 2-3 % obyvatel žije v prostorách s objemovou aktivitou převyšující  $400 \text{ Bq/m}^3$ , to je jako kdyby absolvovali každý den rentgenové vyšetření plic. Objemová aktivita radonu povrchových vod se pohybuje v jednotkách Bq/l a podzemních vod v řádech 100 až 1000 Bq/l, přičemž nejvyšší objemová aktivita radonu ve vodě byla naměřena v jáchymovských lázních v řádu 1000 Bq/l. Ve světě byla naměřena objemová aktivita i o velikosti 10 až 1000 kBq/l. [24] [25]

Voda obohacená o radon se využívá v lázeňství, kde přispívá k léčbě poškozených kloubů, ať už metabolickým onemocněním nebo osteoporózou, po úrazech či operacích. Radonová koupel obsahuje vodu o aktivitě 4,5-5,5 kBq/l, podává se šestkrát do týdne. Absorbovaná dávka pak odpovídá zátěži jako polovina klasického jednoduchého rentgenového snímku. [25]

Ozdravná opatření proti vlivu radonu je dána 2 principy. Jedním je odstranění zdroje radonu a druhý představuje přerušování působení radonu ze zdroje na člověka. Tyto opatření zahrnují izolaci staveb od podlaží, úpravu půdy, vhodné stavební materiály a ventilace. U vody je pak nutné zajistit zvýšené odvětrávání, kompenzovat zdroj vody anebo vodu radonu zbavit. [25]

Česká epidemiologická studie se zabývala účinky působení radonu. Tato studie se prováděla v oblasti Středočeského plutonu, kde byla naměřena nejvyšší koncentrace přesahující pětkrát průměr ČR. V rámci studie bylo sledováno 12 000 jedinců žijících na tomto území od roku 1960 do roku 1999, u nichž se zjišťovalo jejich zaměstnání, věk, kouření, pobyt v dané oblasti, a pokud zemřeli, tak i příčina jejich úmrtí. Dále byla měřena koncentrace radonu v obydlích, ze které byly vypočítány obdržené dávky. 1/3 sledovaných osob zemřela do konce roku 1999. Rozbor prokázal o 13 % vyšší výskyt maligního onemocnění plic, než připadá na republikový průměr. Zvýšený výskyt maligního onemocnění plic byl zjištěn u osob žijících v budovách s koncentrací radonu převyšující 400 Bq/m<sup>3</sup>. [26]

Ze světových studií byl výskyt rizika maligního nádoru plic prokázán již od hodnot koncentrace radonu 150 Bq/m<sup>3</sup>. U nižších koncentrací se nepodařilo riziko jednoznačně prokázat, pro jeho zhodnocení by byla potřeba sledování obrovského množství populace. S narůstající koncentrací, o 100 Bq/m<sup>3</sup>, se navyšuje riziko maligního onemocnění plic o 16 %. Působení radonu na lidský organismus ještě navyšuje kouření jedince. [27]

*Tabulka 6 Příčiny a počet úmrtí ve srovnání s působením radonu [25]*

<b>příčina úmrtí</b>	<b>počet úmrtí v ČR v roce 2008</b>
maligní onemocnění plic	5402
maligní onemocnění plic způsobené radonem	800-900
při dopravních nehodách	832
virová encefalitida	7

Studie zabývající se chromozomální aberacemi vyvolanými působením radonu na adolescenty ve vztahu ke genetickému polymorfismu sledovala 118 adolescentů z Kemerovské oblasti, též Kuzbass, a 116 dárců sloužící ke kontrole. Výsledky ukázaly, že dlouhodobá expozice radonu indukuje chromozomové poškození lidských somatických buněk, přičemž u adolescentů s genetickým polymorfismem GSTM 1 byl pozorován zvýšený výskyt chromozomových aberací (0,45 %). [11]

## 2.7.2 Umělé zdroje ionizujícího záření

Lidské tělo je dále vystavováno expozici záření s nízkým i vysokým LET ze zařízení generující rentgenové záření a z radioaktivních materiálů využitelných v medicíně, výzkumu, průmyslu. Jako umělé zdroje označujeme rentgenky, umělé radionuklidy, urychlovače a jaderné reaktory. V USA bylo prokázáno, že 79 % zátěže pro člověka z těchto uměle vytvořených zdrojů představuje lékařské ozáření a nukleární medicína. Na spotřebitelské produkty, jako jsou tabákové výrobky, domácí zásobníky vody, stavební materiál, detektory kouře, televize, počítačové obrazovky, připadá 16 %. Pracovní ozáření, radioaktivní spad a cyklus jaderného paliva činí méně než 5 % zátěže z uměle vytvořených zdrojů a méně než 1 % z kombinace přírodního pozadí a uměle vytvořených zdrojů. Při cestování proudovými letadly vzniká zátěž na každých 1 000 mil 0,01 mSv. Pokud lidé žijí v blízkosti uhelných výrobních zařízení, pak zátěž odpovídá 0,0003 mSv. Pobyt v okolí rentgenových scannerů vytváří zátěž 0,00002 mSv. Obývání oblastí vzdálených 50 mil od jaderné elektrárny zatěžuje lidský organismus 0,00009 mSv. [3] [23]

Tabulka 7 Roční efektivní dávky za rok 2000 z umělých zdrojů [21]

<b>zdroj – umělé zdroje</b>	<b>roční efektivní dávky v mSv</b>	<b>typické rozmezí v mSv</b>
lékařské ozáření (primárně diagnostické rentgenové záření)	0,4	0,04-1
testy nukleárních zbraní v atmosféře	0,005	nejvíce 0,15 v roce 1963
černobylská havárie	0,002	nejvyšší průměr 0,04 naměřen v roce 1986 v oblasti severní polokoule
produkce jaderné energie	0,0002	

Dojde-li prostřednictvím radiodiagnostického vyšetření ke zpětnému zjištění gravidity, je nutné znát odhad dávky v zárodku nebo plodu a jeho stáří. Velikost dávky určuje druh použitého přístroje, typ vyšetření, nastavené parametry, počet uskutečněných snímků



a jejich formát, centrace, a pokud byla provedena skiaskopie, pak i její délka expozice. Pro odhad dávky na plod existují výpočtové programy SÚJB u standardního vyšetření. SÚJB disponuje podklady pro určení zátěže plodu v rámci vyšetření na nukleární medicíně. Zhodnocení dávky po vyšetření CT provádí SÚRO. Jedná-li se o rentgenové vyšetření oblastí hlavy, krku, hrudníku a končetin, pak se velikost dávky pohybuje pod jednotkami mGy. Plod je v rozmezí mezi třetím a patnáctým týdnem stáří nejvíce ohrožen. Plod ozářený dávkou pod 20 mGy není ohrožen a nehrozí nepříznivý vývoj těhotenství. Relativně bezpečná dávka se pohybuje do 50 mGy. Dávky v rozmezí 100 až 200 mGy mohou mít na vývoj plodu nepříznivý vliv. [17]

Dle SÚJB je zárodek mezi 8. a 25. týdnem stáří senzitivní na rozvoj mentální retardace, práh k jejímu vyvolání činí asi 0,2 Gy. Plod ohrožuje vznik zhoubných nádorů zejména od 4. týdne, jež se projevují již v dětství nebo až v dospělosti, a riziko se navyšuje dvakrát až třikrát oproti dospělému jedinci. [13]

Tabulka 8 Efektivní dávky spojené s některými činnostmi [7] [28]

<b>některé činnosti</b>	<b>efektivní dávka v mSv</b>
požití jednoho banánu	0,0002
kouření 20 cigaret denně během 1 roku (Po, Pb)	0,36
rentgen ruky	0,001
rentgen zubu	0,005
rentgen hrudníku	0,02
mamografie	0,1
let letadlem z USA do Tokia a zpět	0,2
sedmihodinový let do USA	0,05
CT hlavy	2 (6,9 dle zdroje FN Motol)
CT hrudníku	8
CT břicha či pánve	10
PET/CT celého těla	15
průměrná roční dávka pilota transatlantických letů	10
průměrné roční dávky kosmonautů na ISS	200

### 2.7.3 Profesní ozáření

Z důvodu ochrany zaměstnanců pracujících se zdroji ionizujícího záření bylo nutné hodnotit a usměrňovat jejich ozáření. V mezinárodních dokumentech (ICRP, IAEA) a také v legislativě České republiky jsou uvedené limity ozáření, které umožňují sledování exponovaných osob. Vyhodnocení ozářených pracovníků se provádí prostřednictvím osobního monitorování za využití různých druhů dozimetrů, jež jsou každý měsíc vyhodnocovány. [29]

Tabulka 9 Odvozené limity [28]

<b>základní veličina</b>	<b>operační veličina <math>H_p</math> (d)</b>	<b>odvozený limit <math>H_p</math> (d)</b>
efektivní dávka	$H_p$ (10)	20 mSv za kalendářní rok, resp. 100 mSv za 5 následujících let s maximem 50 mSv během 1 roku
ekvivalentní dávka pro oční čočku	$H_p$ (3)	150 mSv za kalendářní rok <i>v legislativě ČR nezaveden, neboť nepřekročení lze dostatečně přesně hodnotit pomocí <math>H_p</math> (10) a <math>H_p</math> (0,07)</i>
ekvivalentní dávka v 1 cm <sup>2</sup> kůže, ekvivalentní dávka na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky	$H_p$ (0,07)	500 mSv za kalendářní rok

V roce 2011 bylo zjištěno, že průměrná roční dávka radiačních pracovníků představuje 0,79 mSv na jedince. Kolektivní dávka činí 16,1 Sv. Dále bylo objeveno 28 případů, kdy došlo k jednorázovému ozáření dávkou přesahující 20 mSv, a u 2 případů byly naměřeny hodnoty prstového dozimetru vyšší než 150 mSv. Po vyšetření událostí a přepočítání osobní dávky zahrnující účinek ochrany olověné zástěry, nedošlo k obdržení dávky vyšší než je roční limit a limit vyhodnocený za 5 let. [29]

U ekvivalentní dávky pro oční čočku došli odborníci po výsledcích z epidemiologických studií k závěru, že k rozvoji kataraktu může dojít po podání nižších dávek. A proto ICRP zavedlo doporučení, kde snižuje limit za 150 mSv/rok na 20 mSv/rok. Toto omezení by mohlo mít vliv na počet provedených výkonů na intervenční kardiologii, kde by docházelo k překročení daného limitu. Pracujícím na intervenční kardiologii bylo doporučeno, aby využívali vhodné ochranné prostředky (padnoucí ochranné brýle, závěsné stropní stínění), které by měly snížit dávku na oční čočku 3 krát až 8 krát. [30]

Studie radiačního zatížení pracovníků Kliniky nukleární medicíny a endokrinologie na 2. Lékařské fakultě Univerzity Karlovy a ve Fakultní nemocnici Motol probíhala v letech 2006 až 2011 a jejím cílem bylo zhodnocení zátěže pracovníků a radiační ochrany

pracoviště. Data byla sbírána z výsledků monitorování, a to prostřednictvím vyhodnocení osobních a prstových dozimetrů. Jedno monitorovací období odpovídá jednomu měsíci. Používaná radiofarmaka měla během sledovaného časového období průměrnou roční aktivitu pohybující se od 2,75 do 5 900 GBq. [31]

Z výsledků byly patrné průměrné kolektivní dávky pro radiologické asistenty a sestry. Nulové hodnoty u pracovníků se objevují z důvodu minimální detekované dávky dozimetru, která u filmového dozimetru činí 0,1 mSv a u OSL 0,05 mSv. Největší zátěž byla pozorována u laborantů připravujících radiojód potřebný k terapii štítné žlázy. [31]

Prokázalo se, že naměřené hodnoty jsou v souladu s dávkovými limity, které stanovil dozorový orgán. Lze konstatovat dostatečnou radiační ochranu. A to i přes tendenci mírného zvyšování jednotlivé zátěže pracovníků jak kolektivní průměrné efektivní dávky, tak průměrné kolektivní ekvivalentní dávky na končetiny, která se odvíjí od většího počtu a variability diagnostických vyšetření a léčebných přístupů. [31]

Odborníci prostřednictvím studie pracovníků Kliniky nukleární medicíny Fakultní nemocnice Ostrava v období od roku 2006 do roku 2012 posuzovali průměrné roční efektivní dávky a průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce. Opět zde byly vyhodnocovány osobní a prstové dozimetry jedenkrát za měsíc. Avšak i přes skutečnost, že se na daném pracovišti navyšuje počet vyšetření i terapií, výsledky průměrné roční efektivní dávky vykazovaly z části klesající tendenci u všech sledovaných skupin. U průměrné roční ekvivalentní dávky naopak pozorujeme navýšení, a to z důvodu používání radiofarmak o vyšší aktivitě. Nebyly však překročeny dávkové limity stanovené dozorovým orgánem. [32]

Současná nejrozsáhlejší studie (The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk among Radiation Workers in the Nuclear Industry: estimates of radiation-related cancer risks) se pokusila zanalyzovat dávky klasifikované jako velmi nízké a četnost zhoubných nádorů spojené s profesním ozářením. Do studie bylo zahrnuto 407 931 monitorovaných pracovníků, pohybujících se v kontrolovaném pásmu a zaměstnaných minimálně rok v jaderném výzkumu či průmyslu. Do výzkumu se zapojilo 15 zemí, ženy i muži s různým

životním stylem a sociálním zázemím. 6 % studovaných pracovníků již zemřelo, z toho na následky maligního onemocnění 6 519 případů. Střední efektivní dávka odpovídala 19 mSv, přičemž většina sledovaných lidí získala pouze malé dávky záření. Dávka převyšující 100 mSv obdržena za celý život byla zjištěna u cca 5 % lidí. Data o výskytu maligních nádorů získaná od pracovníků vystavených umělé radioaktivitě se porovnávala s daty o výskytu maligních nádorů obdrženy od ekvivalentní skupiny, jež nepřišla do kontaktu s umělou radioaktivitou. Z výsledků bylo patrné, že po expozici dávce 100 mSv se riziko maligního onemocnění zvýší o 9,7 %, ale toto riziko se může pohybovat v intervalu od 2,8 % po 17,7 %. S dávkou 20 mSv se celoživotní riziko navyšuje o 2 %. Dosažené výsledky jsou v souladu s praxí, kdy jsou nízké dávky lineárně extrapolované od vysokých dávek. Určité nejistoty do studie přináší skutečnost, že do výzkumu u sledované skupiny pracovníků nebyl začleněn faktor kouření a přirozeného radiačního pozadí. Odborníci prokázali, že větší riziko hrozí ženám než mužům a mladším lidem. [7]

Studie obsahující 300 000 zaměstnanců jaderných zařízení ve Francouzské republice, v USA a UK nosící dozimetrické přístroje umožnila zkoumání rizika spojeného s expozicí nízkým dávkám. Tým vědců zkoumal příčiny smrti zaměstnanců, které porovnávali s expozičními záznamy i přes 60 let starými. Již během výzkumu došlo k několika úmrtím. V průměru bylo zjištěno, že zaměstnanci obdrželi o 1,1 mSv ročně nad úroveň přírodního prostředí. Studie potvrdila, že se riziko leukemie úměrně zvýší s dávkou a poukázala na platnost linearity i pro extrémně nízké dávky. Dále bádání poukazuje na indukci leukemie prostřednictvím přírodního prostředí, i když zvýšení rizika pro jednotlivce je malé. [33]

Vědci zjistili, že během 27 let práce v průmyslu zemře na leukemii 531 zaměstnanců, z toho 30 úmrtí je přičítáno záření. Avšak v této studii neexistuje přímý důkaz zvýšení rizika u pracovníků vystavených nahromaděné extrémně nízké expozici záření nepřesahující 50 mSv. Ale z matematické extrapolace údajů vyplývá, že každá akumulace 10 mSv dávky záření zvýšila riziko leukemie u pracovníka o asi 3 % ve srovnání s průměrným rizikem skupiny pracovníků ve studii. Tato data také zpochybňují předpoklad ICRP, že riziko leukemie u dlouhodobé expozice nízkými dávkami je nižší než u jednorázové expozice. [33]

#### 2.7.4 Malé dávky při haváriích v Černobylu a Fukušimě

Dávky, kterým byli vystaveni likvidátoři a populace po černobylské havárii, lze klasifikovat jako nízké a jejich dopady byly studovány prostřednictvím epidemiologických studií. 10 % likvidátorů, jež obdrželi dávky vyšší než 250 mSv, hrozí zvýšený výskyt onemocnění, zejména zhoubného charakteru. Velká část likvidátorů byla vystavena expozici o velikosti přesahující 100 mSv. Naopak u většiny obyvatelstva obdržené dávky nepřesahovaly hranici 100 mSv. Mezi likvidátory pracujícími v okolí havárie v prvním roce od neštěstí bylo zjištěno, že při získání dávky 100 mSv se navýší riziko maligního onemocnění za celý život o 7,6 % a u dávky 250 mSv se zvýší riziko o 19 %, ale přesněji se udává navýšení rizika v rozmezí 5 až 36 %. Likvidátoři se potýkali zejména s vypuknutím nemoci z ozáření. [7]

Dále se od roku 1986 do roku 2007 sledoval výskyt leukemie u 104 000 likvidátorů, u kterých se po 4 letech objevil nepatrný nárůst případů leukemie než u neozářené skupiny. Také se prokázala závislost mezi incidencí a velikostí dávky. Pokles výskytu leukemie na běžnou úroveň byl pozorován po roce 1998 a účinky ozáření po havárii přestaly být zjevné. [7]

V dalších zasažených oblastech Ruské federace, Běloruské republiky a Ukrajiny bylo asi 6 milionů lidí vystaveno dávce 7 mSv. Celkově tedy bylo zasaženo přibližně 7 milionů lidí, u kterých se vlivem radiace odhaduje na 4 000 až 20 000 případů zhoubného onemocnění v celé době dožití, přičemž výskyt maligních nádorů z jiných příčin odpovídá 1 700 000 případům. Nejvíce pak hrozilo a bylo pozorováno zhoubné onemocnění štítné žlázy, jež je vyvoláno vnitřní kontaminací prostřednictvím radioaktivního jódu, zejména u dětí a u osob mladších 18 let. [7]

Odlišnou situaci můžeme sledovat v případě havárie jaderné elektrárny ve Fukušimě, kdy díky včasnému zásahu a zavedením ochranných opatření získalo obyvatelstvo dávku na úrovni zlomku přírodního prostředí. Nepředpokládá se výskyt maligního onemocnění štítné žlázy, a to z důvodu včasné kontroly vodních zdrojů, potravin a také eventuálního zásobování z jiných oblastí. [7]

U žádného pracovníka jaderné elektrárny nebyly prokázány dávky, které by vyvolaly známky nemoci z ozáření. 6 pracovníků bylo vystaveno expozici vyšší než 250 mSv. Celkově lze říci, že 167 pracovníků obdrželo dávku vyšší než 100 mSv. Zdravotní dopady havárie by, na základě zkušeností z černobylské havárie, měly být zanedbatelné. [7]

## 2.8 Hlubinné úložiště

Odpady radioaktivního charakteru mohou být ukládány pouze v lokalitách tomu určených a nazývají se úložiště radioaktivních odpadů. Tento systém zajišťuje separaci odpadů od životního prostředí, uvolňování zářičů v co nejnižší míře a splňuje podmínky na bezpečné zacházení s radioaktivními odpady. Úložiště mohou být dvojího charakteru: povrchová a hlubinná. V hlubinných úložištích by měly být uloženy odpady, které by v povrchových úložištích ohrožovaly životní prostředí, jako je vyhořelé jaderné palivo. [17]

Hlubinnými úložišti se zabývá Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO), která má za úkol zajistit bezpečné a zejména dlouhodobé uložení vyhořelého paliva z jaderných elektráren a jiných vysokoaktivních odpadů vznikajících v důsledku fungování jaderné energetiky, průmyslu, zdravotnictví nebo výzkumných zařízení. Česká republika ročně vyprodukuje 80 tun vyhořelého paliva a odpadů. Takto vzniklý odpad není příliš výhodné skladovat, protože by musel po uplynulém časovém intervalu (100 let) přemístěn do nových kontejnerů, což by bylo ekonomicky náročné. Další možností by bylo přepracování vyhořelého paliva a odpadu, ale z tohoto procesu stále vzniká odpad, se kterým je nutno nějak zacházet. Hlubinná úložiště by měla problém vyhořelého odpadu řešit trvale. Bezpečnost tohoto úložiště by měl zaručit několikanásobný systém bariér, a tím zajistit izolaci vlivu radioaktivity na okolí. Příkladem účinnosti bariér je přírodní reaktor Oklo v Africe nebo ložisko uranu v Ruprechtově v České republice. Činnost spojená s úložištěm by měla být pravidelně podrobována kontrole kvality i efektivity. Vybudování hlubinného úložiště slibuje i nové pracovní nabídky a výhody pro obce. [34]

## 2.9 Špinavá bomba

Špinavá bomba je klasifikována jako průmyslová či vojenská trhavina obohacená o méněcenný radioaktivní materiál pocházející z jaderných elektráren nebo z průmyslových

a medicínských zářičů. Zjednodušeně řečeno jakýkoliv prostředek využitelný pro rozšíření radionuklidů. Může být také nazývána jako špinavá puma a lze ji zahrnout do tzv. radiologického terorismu. [35] [36]

Po aktivaci trhaviny dojde k rozptýlení radioaktivního materiálu. Hlavním úkolem špinavé bomby není likvidace či zneschopnění osob nebo zamoření okolí, nýbrž vyvolání paniky mezi obyvatelstvem. Hrozí tak zahlcení nemocničních zařízení osobami vyžadující poskytnutí pomoci. Většina lékařů nemá dostatečné zkušenosti s touto problematikou. Jen s obtížemi bude možné obyvatelstvu vysvětlit či objasnit reálné následky špinavé bomby, které jsou v rovině stochastických účinků. [35]

Jelikož je výroba, použití radiologické zbraně a dostupnost radiologického materiálu mnohem snazší než u jaderných bomb či zbraní, lze předpokládat vyšší pravděpodobnost teroristického útoku s využitím radiologického materiálu. Podle průzkumů odborníků odpovídá pravděpodobnost útoku prostřednictvím špinavé bomby 20 %, útok na chemická zařízení či jaderné elektrárny hrozí z 11 %, na atak chemickou zbraní připadá 10 %, využití biologické zbraně 9 % a jaderné zbraně 6 %. [37]

Vědecký pořad Horizon televize BBC uveřejnil výsledky šetření, které modelovalo situaci použití špinavých bomb v Londýně a ve Washingtonu. Zjištěná zdravotní rizika se vztahovala pouze na osoby vyskytující se v blízkosti útoku nebo osoby, jež se dostaly do styku s kontaminací. Riziko zhoubného onemocnění se navýšilo jen minimálně. Největší dopady se projeví na ekonomické situaci. [38]

K výrobě špinavé bomby lze využít materiál získaný z oblastí průmyslu, zemědělství, geologie nebo zdravotnictví, přičemž nejsnazší přístup je k cesiovým, kobaltovým či dalším zdrojům radionuklidů v nemocnicích. Ale i každý požární hlásič obsahuje radionuklid zvaný americium ( $^{241}\text{Am}$ ). Jak už bylo zmíněno špinavá bomba má za úkol vyvolat paniku a oslabit, zatížit stávající společnost. Velké obnosy by spolykala opatření týkající se evakuace, likvidace trosků a dekontaminace, ale také uzavření kontaminovaných oblastí. [39]



Výbuch špinavé bomby ničí majetek i životy lidí, ale záření by nemělo způsobit akutní nemoc z ozáření. Riziko představuje radioaktivní prach, který se může šířit a kontaminovat velké území. Pro snížení kontaminace a ohrožení lidí existují pokyny. V pokynech je uvedeno, že by si dotyčný měl zakrýt nos a ústa, neměl by se dotýkat zasažených předmětů, měl by se schovat v budově s nepoškozenými dveřmi a okny, popřípadě je utěsnit, a vypnout klimatizační či ventilační systém. Jestliže je osoba již v uzavřeném prostoru, měla by si odložit oblečení, vložit jej do pytle či vaku a utěsnit je. Poté by se měl jedinec celý umýt vodou s mýdlem a sledovat komunikační a vysílací zařízení. [39]

I přes skutečnost, že použití špinavé bomby nikde nebylo prokázáno, existuje podle ředitelky SÚJB, Ing. Dany Drábové Ph.D., MBA, nebezpečí využití špinavé bomby ze strany Islámského státu. [40]

### **3 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY**

Cílem diplomové práce je analyzovat současné poznatky o vlivu nízkých radiačních dávek (do 1 Sv) na lidský organismus na základě literárních údajů a posoudit informovanost české populace o vlivu ionizujícího záření, jeho přítomnosti ve vnějším prostředí a míru radiofobie.

K ověření cíle jsme stanovily hypotézy:

H1: Více než 70 % respondentů pociťuje strach z účinků radioaktivního záření.

H2: Méně než 40 % dotazovaných je známo, že radioaktivní záření působí na cestující během letecké přepravy.

## 4 METODIKA

K vypracování praktické části diplomové práce jsme zvolili kvantitativní výzkum, který vytvoříme ze statistického vyhodnocení dat dotazníkového šetření. Strukturu a obsah šetření jsme zkompletovali s pomocí konzultantky z agentury Ipsos zabývající se veřejným míněním. Dotazník je určený pro širokou veřejnost a zahrnuje otázky na téma ionizujícího záření a radiofobie (viz příloha 1). Do šetření se zapojilo 1 015 účastníků, kteří byli rozděleni podle pohlaví, věku, dosaženého vzdělání a místa, kde došlo k vyplnění dotazníku.

Sběr respondentů probíhal ve městech Domažlice a Plzeň. Tištěné dotazníky jsme rozmístili ve zdravotnických zařízeních města Domažlice, v prostorách rychlého občerstvení Kravárek v Plzni a v budovách škol (viz tabulka 10). Zodpovězené dotazníky respondenti vhazovali do předem připravených boxů. Zástupkyně Útvaru náměstkyně pro ošetrovatelskou péči FN Plzeň nám sběr dat nepovolila, protože přístup k respondentům můžeme získat kdekoli jinde, a navíc bychom obtěžovali jejich pacienty. Nedomluvili jsme se ani s domovy pro seniory obou měst (viz tabulka 11).

*Tabulka 10 Místa, kde jsme získávali respondenty*

<b>zdravotnická zařízení</b>	<b>školy</b>	<b>jiná místa</b>
Domažlická nemocnice, a.s.	Gymnázium J.Š. Baara Domažlice	občerstvení Kravárek ulice Koterovská Plzeň
Chirurgie, s.r.o. Msgre. B. Staška 265 Domažlice	Masarykovo gymnázium Plzeň	
čekárna praktického lékaře MUDr. Jiřího Soldána Msgre. B. Staška 265 Domažlice		

Tabulka 11 Domovy pro seniory, kde vedení zamítlo uskutečnění šetření

<b>domovy pro seniory</b>
Centrum sociálních služeb Domažlice
Domov sv. Františka, Plzeň
Senior residence Terasy z.ú., Plzeň
Domov sv. Aloise, Plzeň

Pro snazší distribuci a přístup k široké veřejnosti jsme vytvořili dotazník také v elektronické podobě pomocí internetových stránek Vyplňto.cz, kde jsme si v nastavení podmínek zadali, aby soubor nebyl veřejně publikovaný. K zajištění průběhu šetření pouze v určených městech jsme jednotlivce oslovovali sami. Odpovědi na dané otázky nám byly zasílané na předem zvolenou e-mailovou adresu. Rady k vyhodnocení dat a vytvoření grafické podoby nám poskytla již zmíněná zástupkyně agentury přes veřejné mínění Ipsos.

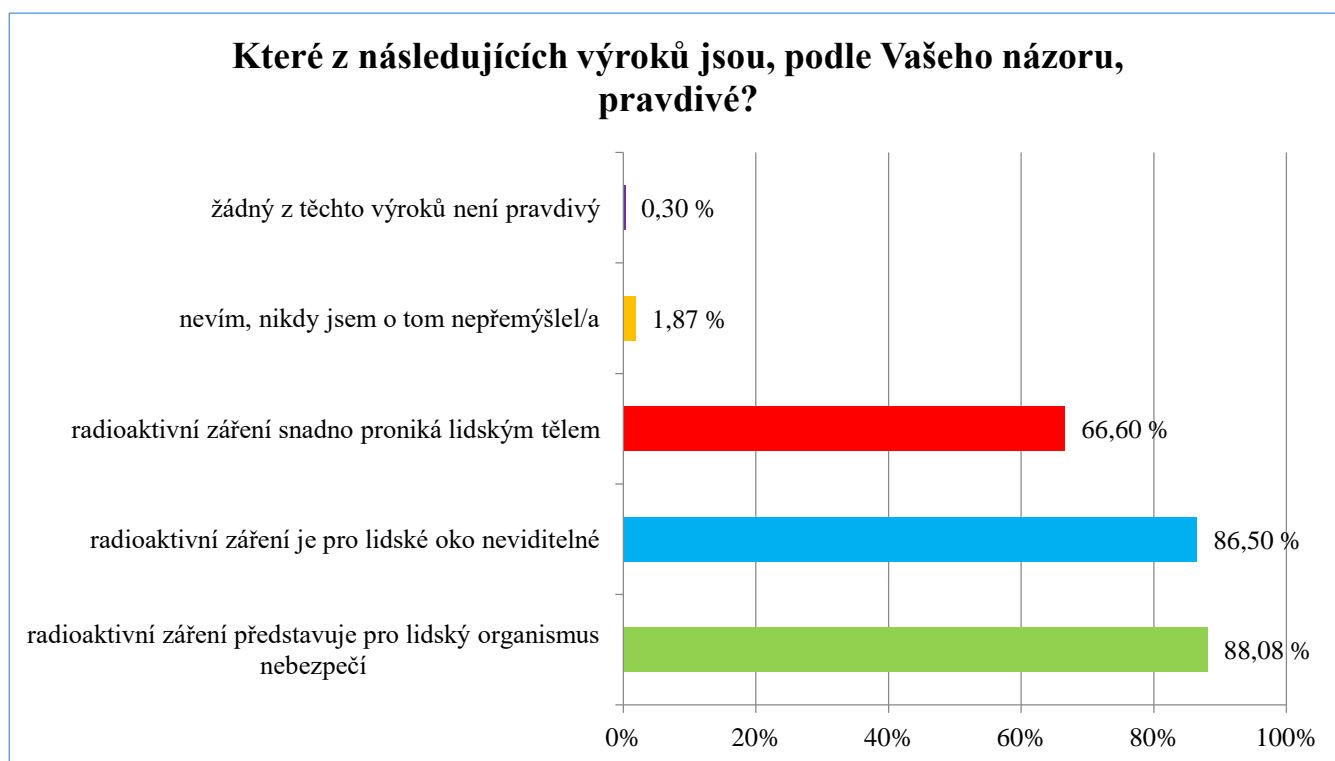
Formální úpravu a uspořádání otázek jsme vytvořili také s pomocí konzultantky. Doporučila nám, abychom nevolili otázky otevřeného charakteru a abychom mezi možností odpovědí zahrnuli i varianty - nevím, nejsem si jistý/á, nikdy jsem o tom nepřemýšlel/a, nikdy jsem o tom neslyšel/a. Tyto únikové metody by nám měly částečně zajistit úspěšné dokončení vyplnění dotazníku respondenty a měli bychom se vyhnout tomu, aby se tázané osoby dostávaly do bezvýchodných situací. Konkrétní znění otázek a odpovědí jsme vytvářeli s vedoucím práce prostřednictvím konzultace.

Poslední část dotazníku tvoří sociodemografické hledisko, které je důležitou součástí šetření. Je umístěné na konci, protože do našeho výzkumu chceme zahrnout populaci každého věku, vzdělání, mužského i ženského pohlaví. Pouze lokalitu sběru jsme omezili na města Plzeň a Domažlice.

## 5 VÝSLEDKY

Do vyhodnocení nasbíraných dat jsou zahrnuty elektronické a tištěné dotazníky. Data z obou metod sběru jsme vložili do společného dokumentu. Grafické i tabulkové znázornění výsledků jsme vytvořili prostřednictvím Microsoft Excel.

**1. Které z následujících výroků jsou, podle Vašeho názoru, pravdivé? Povinná otázka, u které musel respondent zvolit alespoň jednu odpověď.**

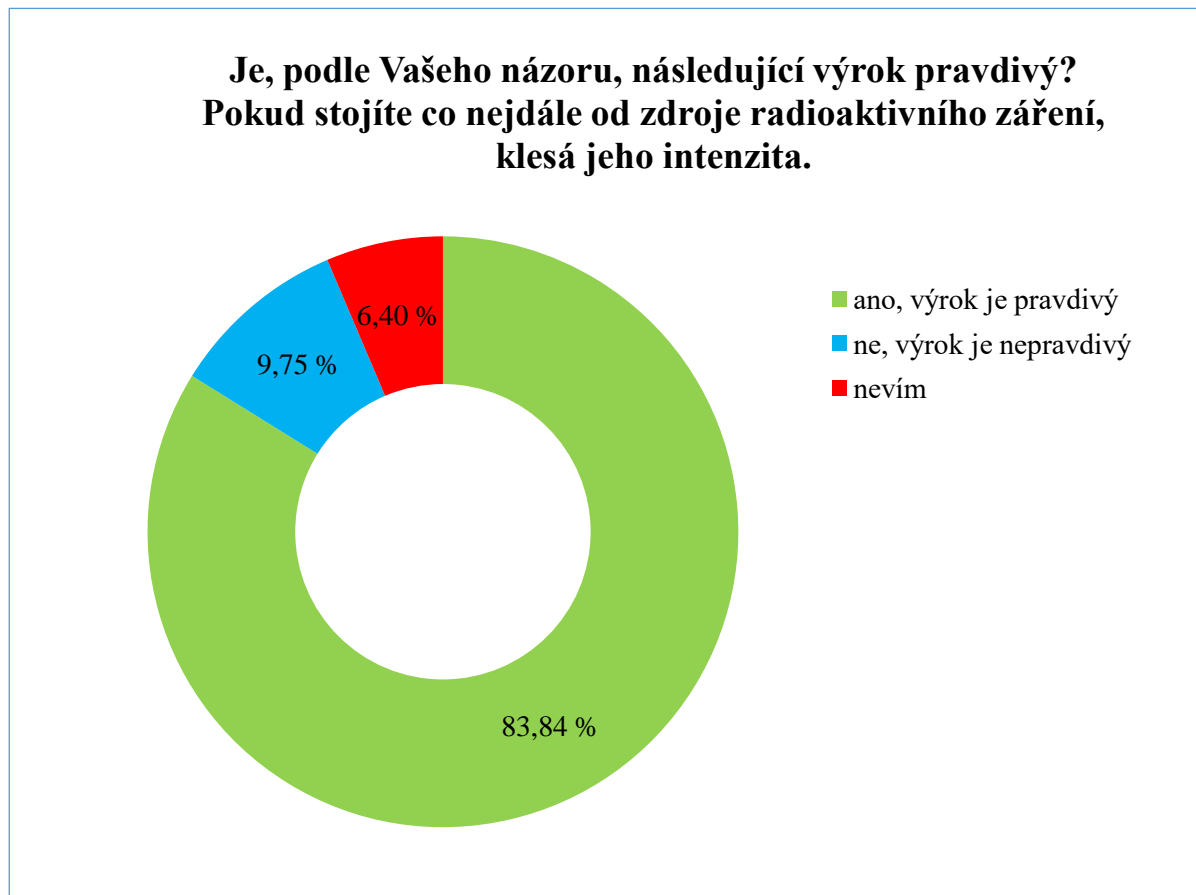


*Graf 1 Vyhodnocení odpovědí na otázku 1*

Tabulka 12 Vyhodnocení odpovědi na otázku 1

odpověď	celkový počet respondentů		široká veřejnost kromě studentů		studenti do 19 let	
n	1 015		780		235	
forma odpovědi	ano	ne	ano	ne	ano	ne
radioaktivní záření představuje pro lidský organismus nebezpečí	<b>894</b>	121	<b>681</b>	99	<b>213</b>	22
radioaktivní záření je pro lidské oko neviditelné	<b>878</b>	137	<b>664</b>	116	<b>214</b>	21
radioaktivní záření snadno proniká lidským tělem	<b>676</b>	339	<b>546</b>	234	<b>130</b>	105
nevím, nikdy jsem o tom nepřemýšlel/a	<b>19</b>	996	<b>19</b>	761	<b>0</b>	0
žádný z těchto výroků není pravdivý	<b>3</b>	1 012	<b>1</b>	1 014	<b>2</b>	232

2. Je, podle Vašeho názoru, následující výrok pravdivý? Pokud stojíte co nejdále od zdroje radioaktivního záření, klesá jeho intenzita. Povinná otázka, u které musel respondent zvolit pouze jednu z nabízených možností.

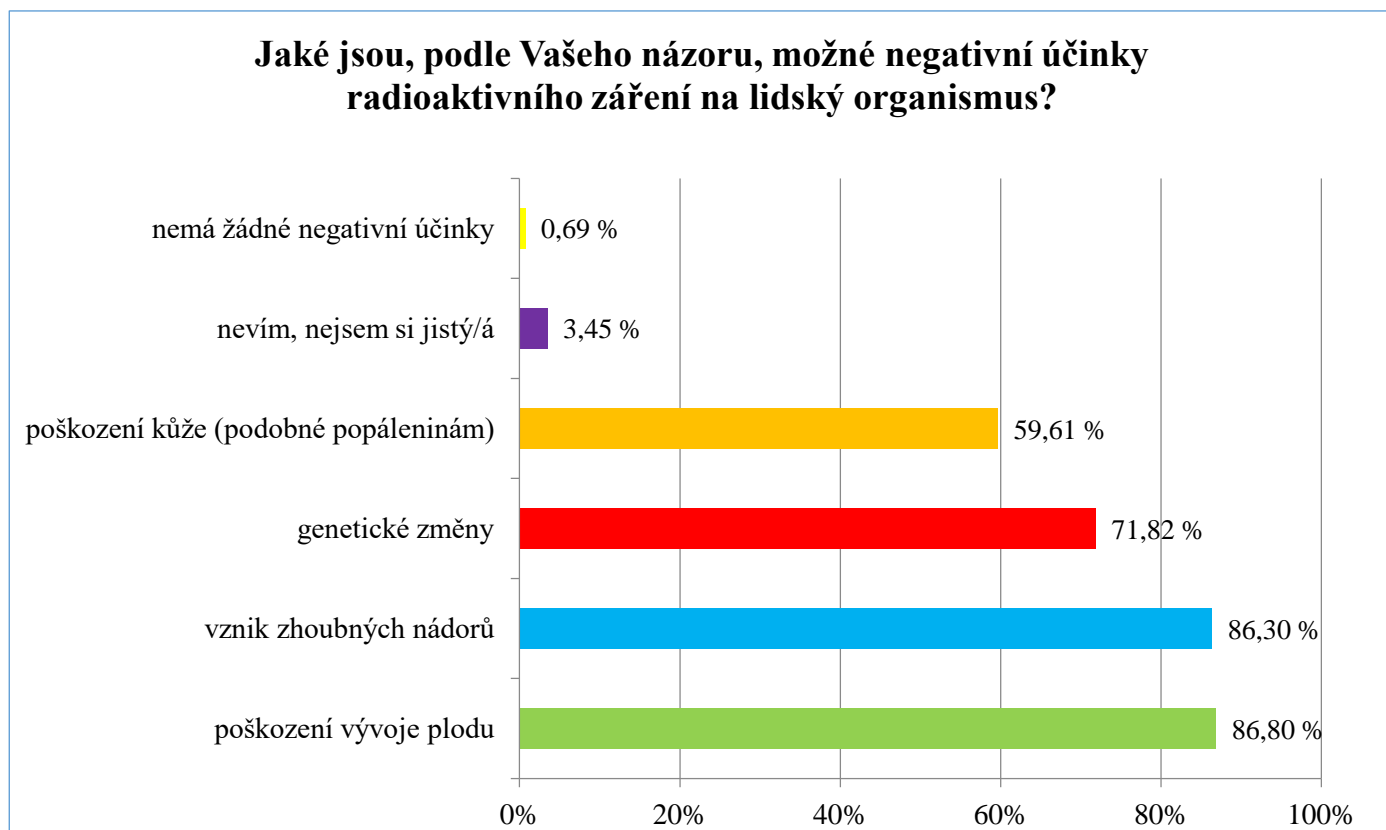


Graf 2 Vyhodnocení odpovědí na otázku 2

Tabulka 13 Vyhodnocení odpovědí na otázku 2

odpověď	celkový počet respondentů		široká veřejnost kromě studentů		studenti do 19 let	
	ano	ne	ano	ne	ano	ne
<b>n</b>	<b>1 015</b>		<b>780</b>		<b>235</b>	
<b>forma odpovědi</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>
ano, výrok je pravdivý	851	164	645	135	206	29
ne, výrok je nepravdivý	99	916	85	695	14	221
nevím	65	950	50	730	15	220

**3. Jaké jsou, podle Vašeho názoru, možné negativní účinky radioaktivního záření na lidský organismus?** Povinná otázka, u které musel respondent zvolit alespoň jednu odpověď.



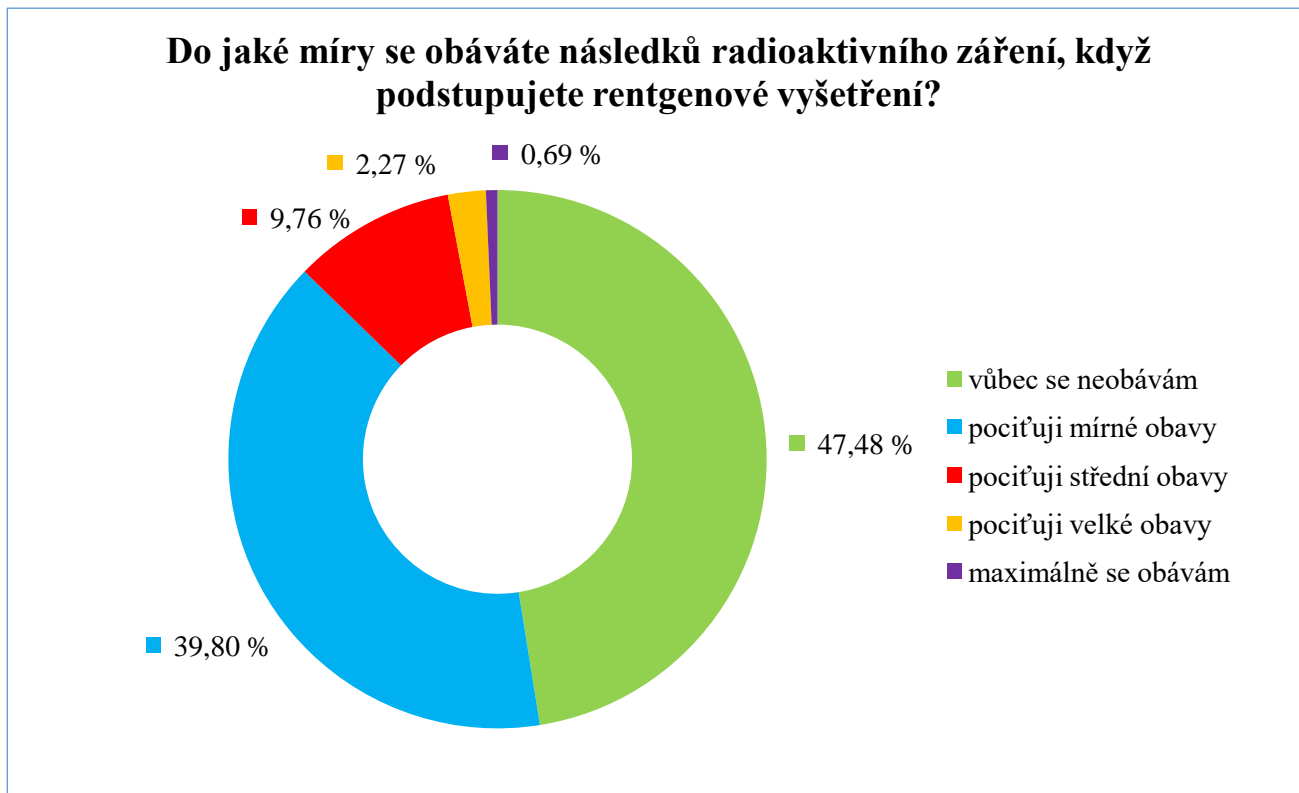
Graf 3 Vyhodnocení odpovědí na otázku 3



Tabulka 14 Vyhodnocení odpovědi na otázku 3

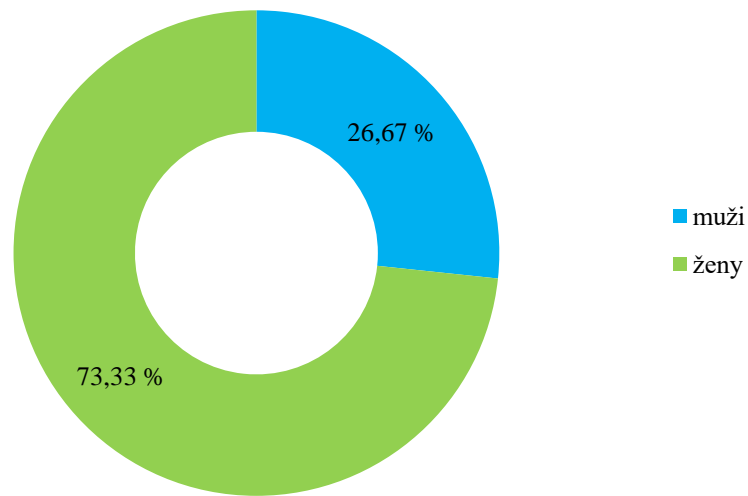
odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
n	1 015		780		235	
forma odpovědi	ano	ne	ano	ne	ano	ne
poškození vývoje plodu	881	134	684	96	197	38
vznik zhoubných nádorů	876	139	682	98	194	41
genetické změny	729	286	568	212	161	74
poškození kůže (podobné popáleninám)	605	410	502	278	103	132
nevím, nejsem si jistý/á	35	980	35	745	0	0
nemá žádné negativní účinky	7	1 008	5	775	2	233

4. Do jaké míry se obáváte následků radioaktivního záření, když podstupujete rentgenové vyšetření? Povinná otázka, u které musel respondent zvolit pouze jednu z nabízených možností.



Graf 4 Výhodnocení odpovědí na otázku 4

**Poměr odpovědí mužů a žen, kteří se maximálně obávají nebo pocítují velké obavy.**

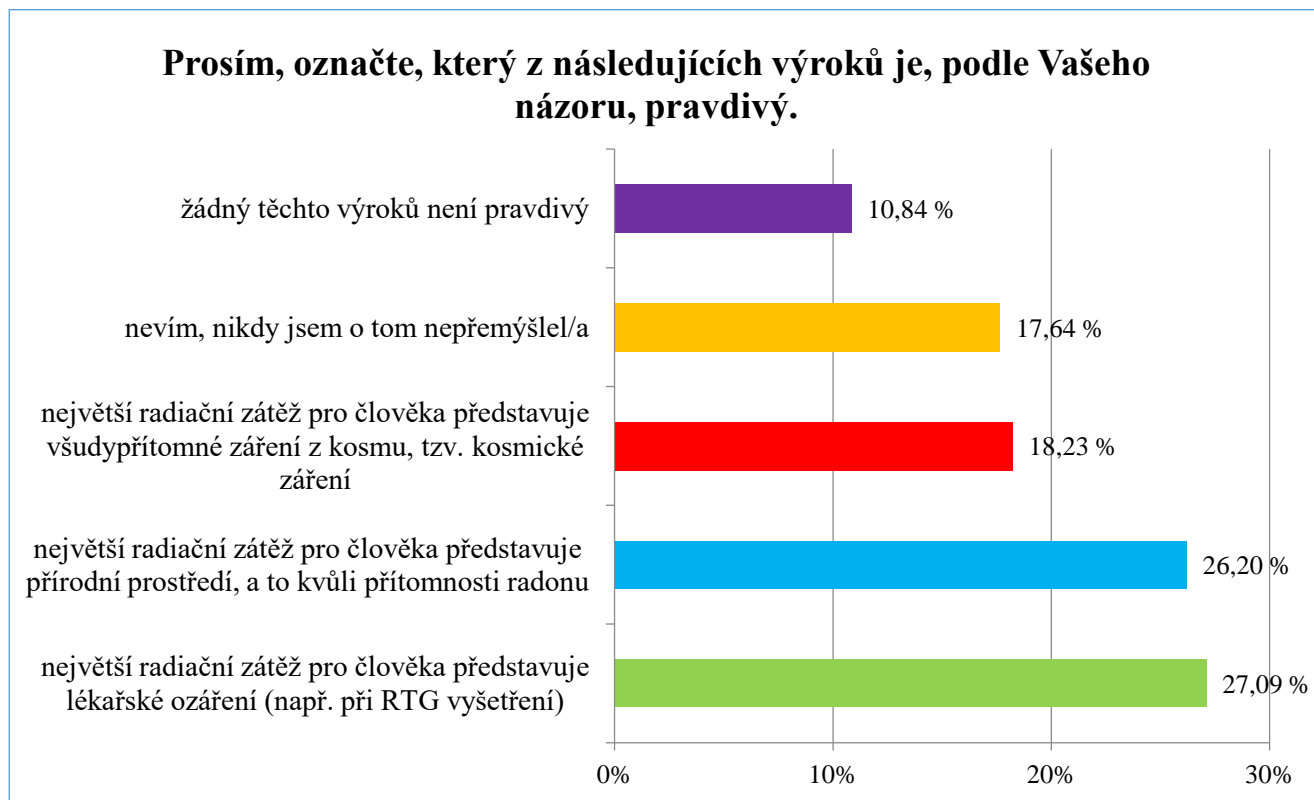


Graf 5 Poměr odpovědí mužů a žen, kteří se maximálně obávají nebo pocítují velké obavy

Tabulka 15 Vyhodnocení odpovědí na otázku 4

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
	ano	ne	ano	ne	ano	ne
<b>n</b>	<b>1 015</b>		<b>780</b>		<b>235</b>	
<b>forma odpovědi</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>
vůbec se neobávám	482	533	351	429	131	104
pocítuji mírné obavy	404	611	321	459	83	152
pocítuji střední obavy	99	916	83	697	16	219
pocítuji velké obavy	23	992	19	761	4	231
maximálně se obávám	7	1 008	6	774	1	234

5. **Prosím, označte, který z následujících výroků je, podle Vašeho názoru, pravdivý.** Povinná otázka, u které musel respondent zvolit pouze jednu z nabízených možností.

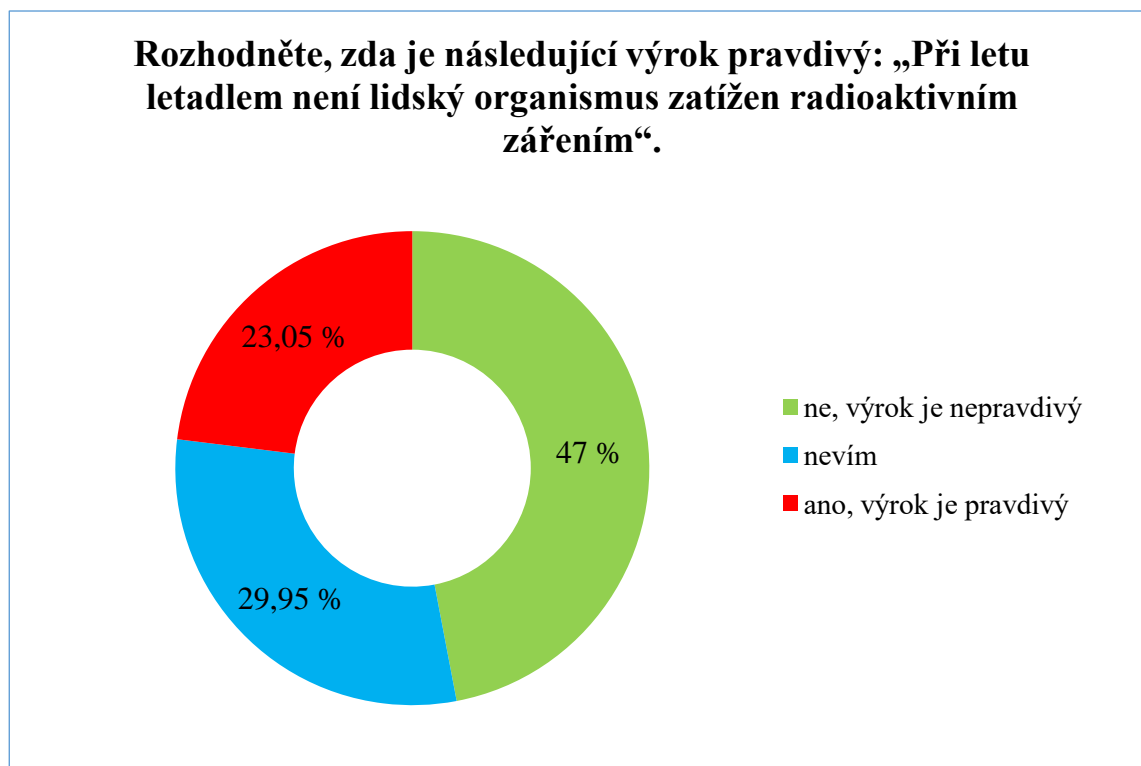


Graf 6 Vyhodnocení odpovědí na otázku 5

Tabulka 16 Vyhodnocení odpovědí na otázku 5

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
n	1 015		780		235	
forma odpovědi	ano	ne	ano	ne	ano	ne
největší radiační zátěž pro člověka představuje lékařské ozáření (např. při RTG vyšetření)	275	740	198	582	77	158
největší radiační zátěž pro člověka představuje přírodní prostředí, a to kvůli přítomnosti radonu	266	749	234	546	32	203
největší radiační zátěž pro člověka představuje všudypřítomné záření z kosmu, tzv. kosmické záření	185	830	133	647	52	183
nevím, nikdy jsem o tom nepřemýšlel/a	179	836	137	643	42	193
žádný těchto výroků není pravdivý	110	905	78	702	32	203

6. Rozhodněte, zda je následující výrok pravdivý: „Při letu letadlem není lidský organismus zatížen radioaktivním zářením“. Povinná otázka, respondent musel zvolit jednu z nabízených odpovědí a podle toho se mu zobrazily nebo měl pokračovat další otázky.

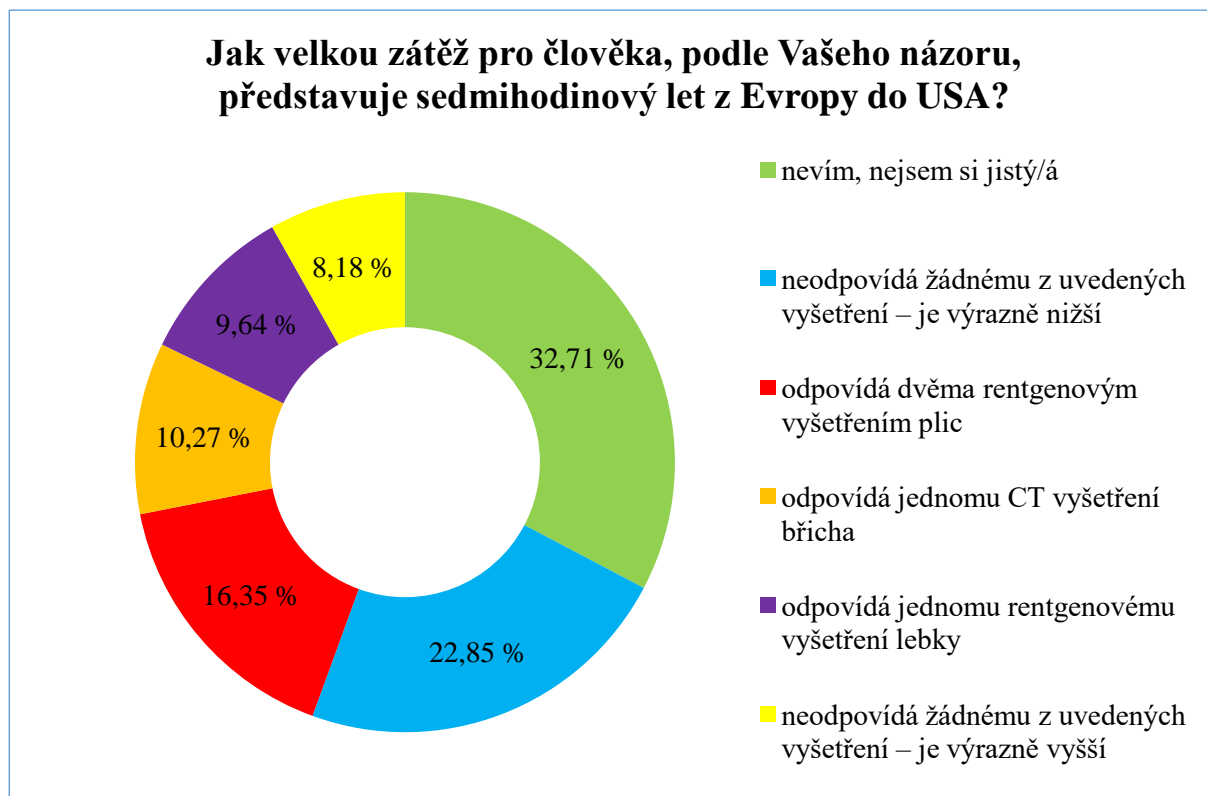


Graf 7 Vyhodnocení odpovědí na otázku 6

Tabulka 17 Vyhodnocení odpovědí na otázku 6

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
	ano	ne	ano	ne	ano	ne
<b>n</b>	<b>1 015</b>		<b>780</b>		<b>235</b>	
<b>forma odpovědi</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>
ne, výrok je nepravdivý	477	538	360	420	117	118
nevím	304	711	244	536	60	175
ano, výrok je pravdivý	234	781	176	604	58	177

7. Jak velkou zátěž pro člověka, podle Vašeho názoru, představuje sedmihodinový let z Evropy do USA? Povinná otázka, respondent musel zvolit jednu z nabízených možností.



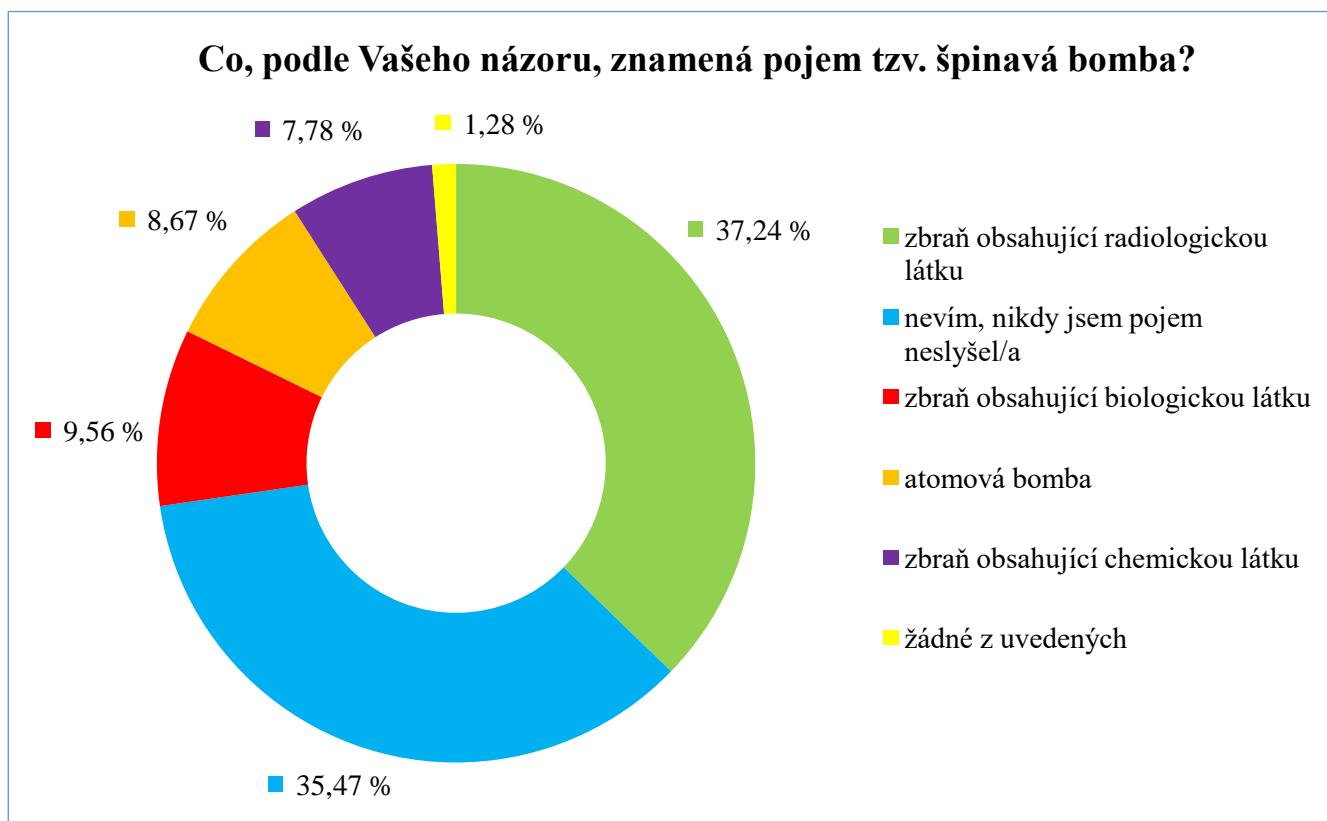
Graf 8 Vyhodnocení odpovědí na otázku 7

Tabulka 18 Vyhodnocení odpovědi na otázku 7

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
n	477		360		117	
forma odpovědi	ano	ne	ano	ne	ano	ne
nevím, nejsem si jistý/á	156	321	125	235	31	86
neodpovídá žádnému z uvedených vyšetření – je výrazně nižší	109	368	64	296	45	72
odpovídá dvěma rentgenovým vyšetřením plic	78	399	67	293	11	106
odpovídá jednomu CT vyšetření břicha	49	428	41	319	8	109
odpovídá jednomu rentgenovému vyšetření lebky	46	431	31	329	15	102
neodpovídá žádnému z uvedených vyšetření – je výrazně vyšší	39	438	32	328	7	110



8. Co, podle Vašeho názoru, znamená pojem tzv. špinavá bomba? Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.

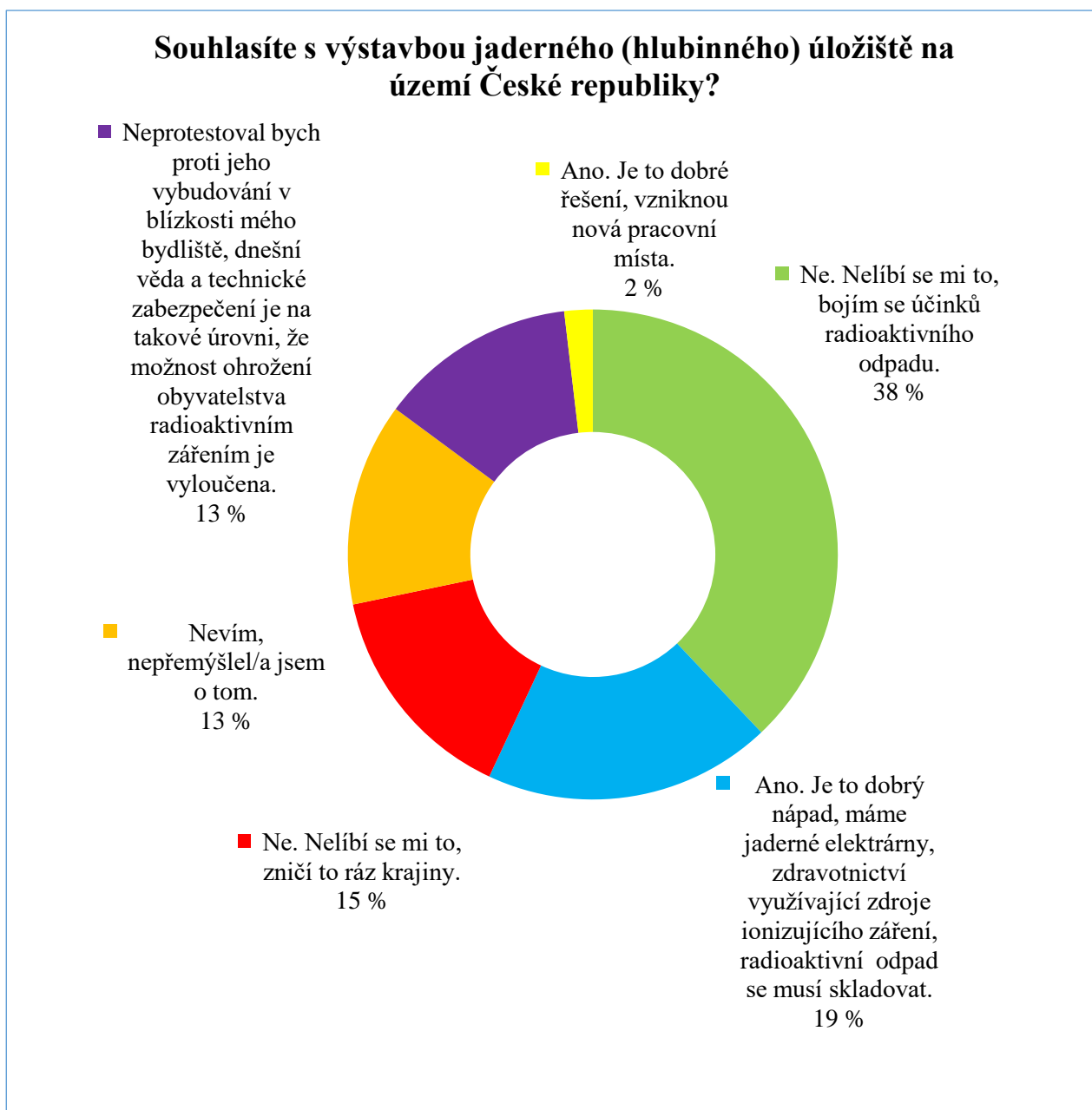


Graf 9 Vyhodnocení odpovědí na otázku 8

Tabulka 19 Vyhodnocení odpovědi na otázku 8

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
n	1 015		780		235	
forma odpovědi	ano	ne	ano	ne	ano	ne
zbraň obsahující radiologickou látku	378	637	292	488	86	149
nevím, nikdy jsem pojem neslyšel/a	360	655	274	506	86	149
zbraň obsahující biologickou látku	97	918	84	696	13	222
atomová bomba	88	927	71	709	17	218
zbraň obsahující chemickou látku	79	936	49	731	30	205
žádné z uvedených	13	1 002	10	770	3	232

9. Souhlasíte s výstavbou jaderného (hlubinného) úložiště na území České republiky? Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.

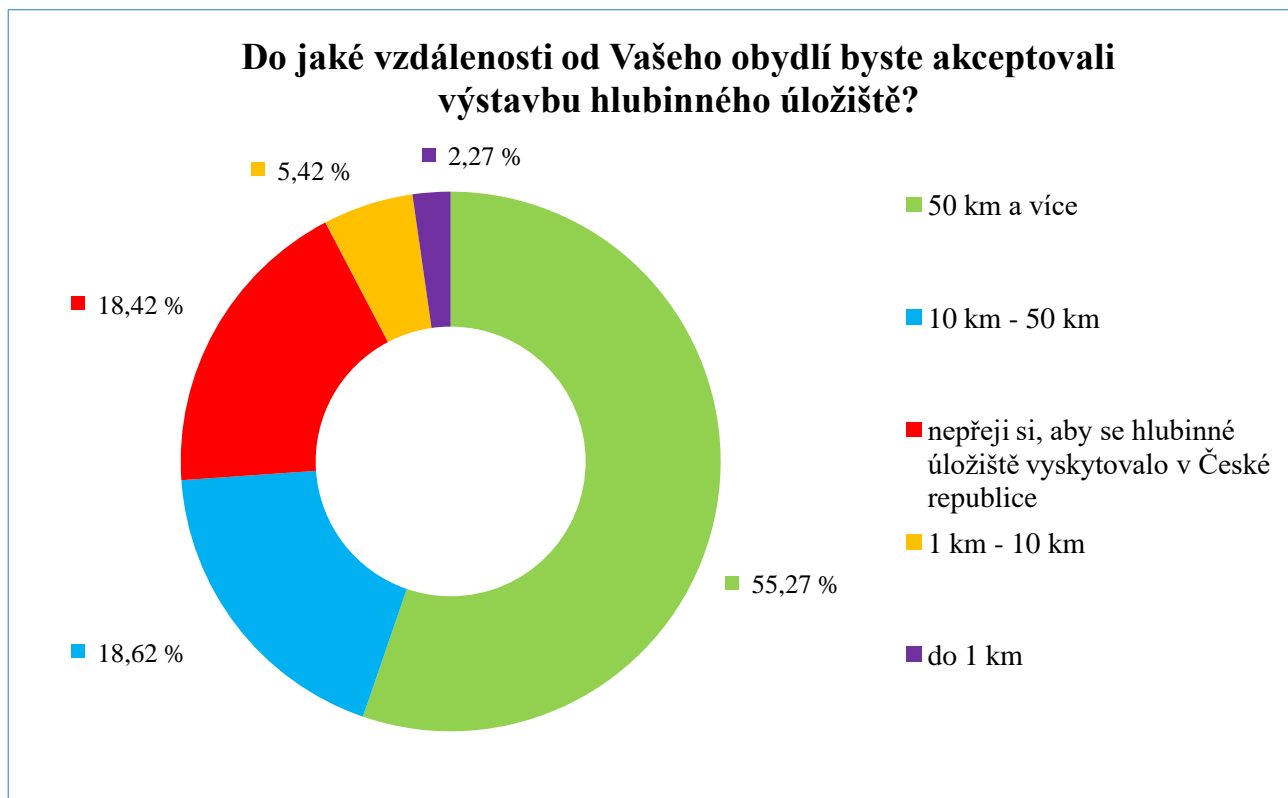


Graf 10 Vyhodnocení odpovědí na otázku 9

Tabulka 20 Vyhodnocení odpovědí na otázku 9

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
n	1 015		780		235	
forma odpovědi	ano	ne	ano	Ne	ano	ne
Ne. Nelíbí se mi to, bojím se účinků radioaktivního odpadu.	385	630	297	483	88	147
Ano. Je to dobrý nápad, máme jaderné elektrárny, zdravotnictví využívající zdroje ionizujícího záření, radioaktivní odpad se musí skladovat.	193	822	152	628	41	194
Ne. Nelíbí se mi to, zničí to ráz krajiny.	150	865	104	676	46	189
Nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom.	136	879	105	675	31	204
Neprotestoval bych proti jeho vybudování v blízkosti mého bydliště, dnešní věda a technické zabezpečení je na takové úrovni, že možnost ohrožení obyvatelstva radioaktivním zářením je vyloučena.	132	883	107	673	25	210
Ano. Je to dobré řešení, vzniknou nová pracovní místa.	19	996	15	765	4	231

**10. Do jaké vzdálenosti od Vašeho obydlí byste akceptovali výstavbu hlubinného úložiště?** Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených odpovědí a mohl dopsat jiné návrhy řešení nakládání s radioaktivním odpadem.



Graf 11 Výhodnocení odpovědí na otázku 10

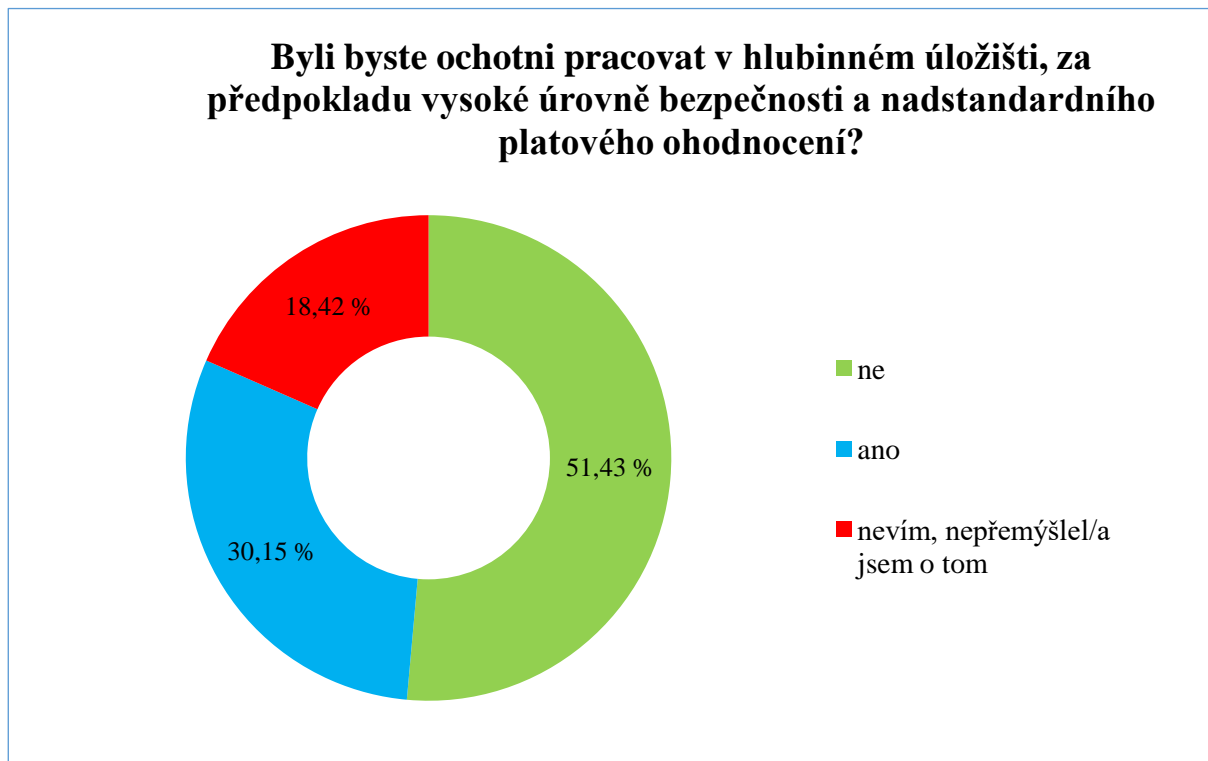
Tabulka 21 Vyhodnocení odpovědí na otázku 10

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
n	1 015		780		235	
forma odpovědi	ano	ne	ano	ne	ano	ne
50 km a více	<b>561</b>	454	<b>433</b>	347	<b>128</b>	107
10 km - 50 km	<b>189</b>	826	<b>136</b>	644	<b>53</b>	182
nepřeji si, aby se hlubinné úložiště vyskytovalo v České republice	<b>187</b>	828	<b>147</b>	633	<b>40</b>	195
1 km - 10 km	<b>55</b>	960	<b>45</b>	735	<b>10</b>	225
do 1 km	<b>23</b>	992	<b>19</b>	761	<b>4</b>	231

Tabulka 22 Návrhy respondentů na řešení problematiky radioaktivního odpadu

návrhy řešení	počet
nevím	106
v jiném státě, v jiné zemi - Rumunsko, Rusko, Německo, Řecko, Irák, Írán, Izrael, Ukrajina, Grónsko, Antarktida	24
neobydlená místa - oceány, moře, poušť	20
mimo zemi	12
nevytvářet jaderný odpad	12
jiné využití	4
šetrná likvidace	2
recyklace	1
neobydlené části - ne oceány, moře	1
odprodat v rámci zahraničního obchodu	1
1 000 km	1
100 km	1
spálit	1
jedno celosvětové skladiště, pokud možno na odlehlém ostrově	1

11. Byli byste ochotni pracovat v hlubinném úložišti, za předpokladu vysoké úrovně bezpečnosti a nadstandardního platového ohodnocení? Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.



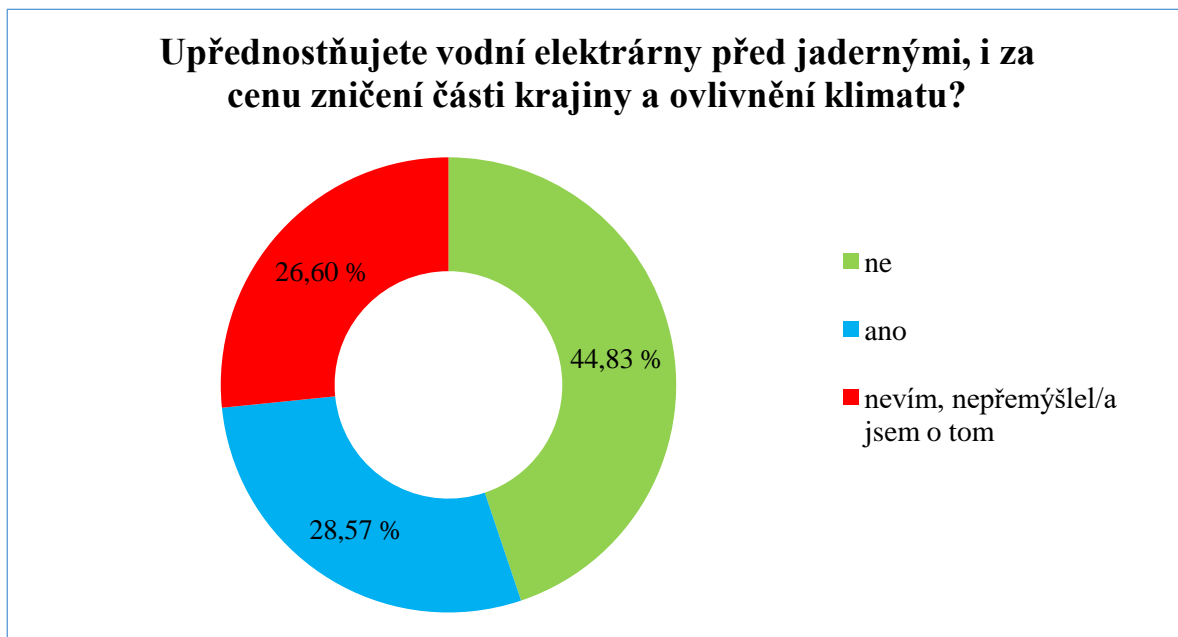
Graf 12 Vyhodnocení odpovědí na otázku 11

Tabulka 23 Vyhodnocení odpovědí na otázku 11

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
	ano	ne	ano	ne	ano	ne
<b>n</b>	<b>1 015</b>		<b>780</b>		<b>235</b>	
<b>forma odpovědi</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>
ne	522	493	417	363	105	130
ano	306	709	211	569	95	140
nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom	187	828	152	628	35	200



**12. Upřednostňujete vodní elektrárny před jadernými, i za cenu zničení části krajiny a ovlivnění klimatu?** Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.

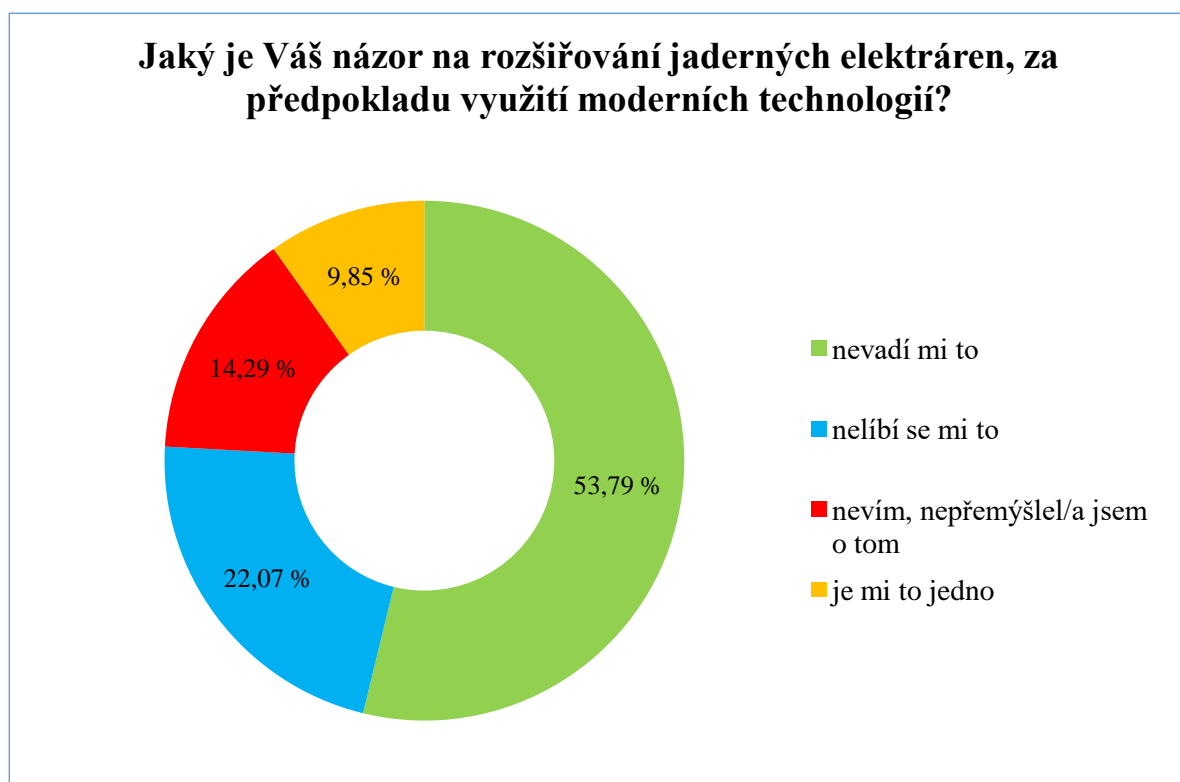


Graf 13 Vyhodnocení odpovědí na otázku 12

Tabulka 24 Vyhodnocení odpovědí na otázku 12

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
	ano	ne	ano	ne	ano	ne
<b>n</b>	<b>1 015</b>		<b>780</b>		<b>235</b>	
<b>forma odpovědi</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>
ne	<b>455</b>	560	<b>351</b>	429	<b>104</b>	131
ano	<b>290</b>	725	<b>210</b>	570	<b>80</b>	155
nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom	<b>270</b>	745	<b>219</b>	561	<b>51</b>	184

**13. Jaký je Váš názor na rozšiřování jaderných elektráren, za předpokladu využití moderních technologií?** Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.

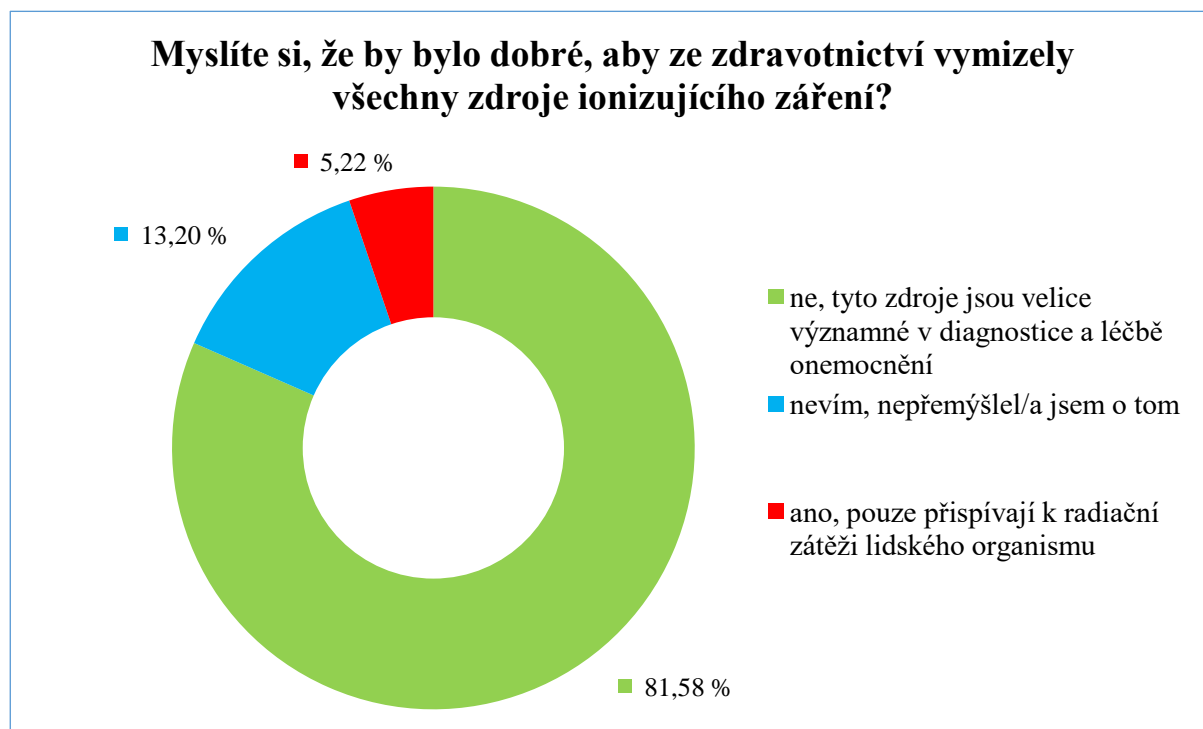


*Graf 14* Vyhodnocení odpovědí na otázku 13

Tabulka 25 Vyhodnocení odpovědí na otázku 13

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
n	1 015		780		235	
forma odpovědi	ano	ne	ano	ne	ano	ne
nevadí mi to	546	469	417	363	129	106
nelíbí se mi to	224	791	194	586	30	205
nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom	145	870	118	662	27	208
je mi to jedno	100	915	51	729	49	186

**14. Myslíte si, že by bylo dobré, aby ze zdravotnictví vymizely všechny zdroje ionizujícího záření?** Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.



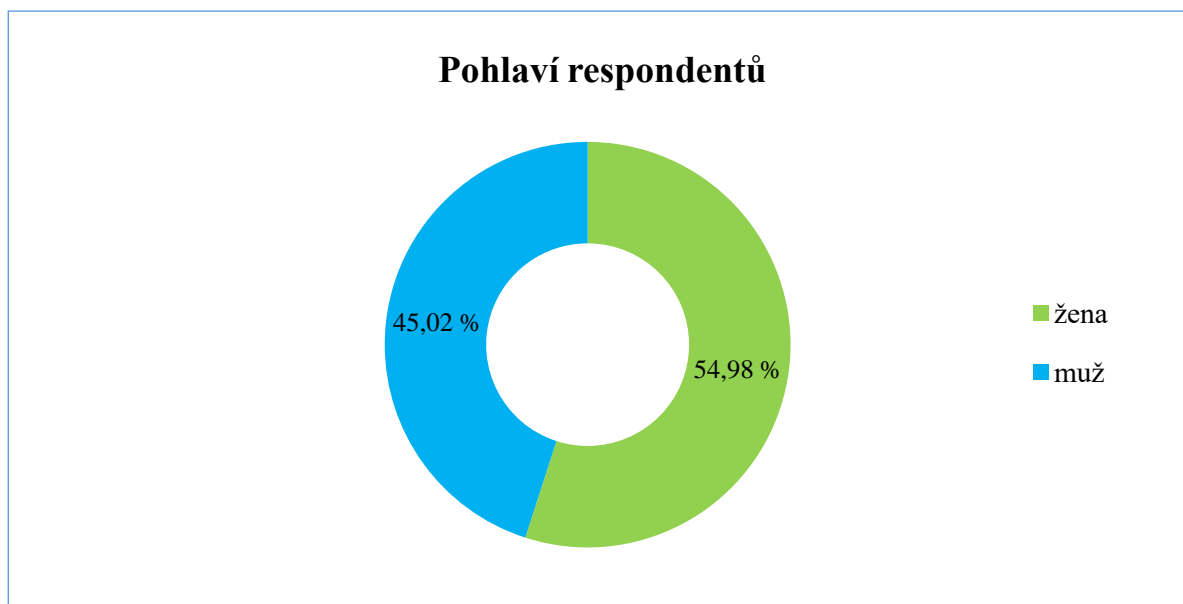
Graf 15 Vyhodnocení odpovědí na otázku 14

Tabulka 26 Vyhodnocení odpovědí na otázku 14

odpověď	celkový počet respondentů		počet široké veřejnosti kromě studentů		počet studentů do 19 let	
n	1 015		780		235	
forma odpovědi	ano	ne	ano	ne	ano	ne
ne, tyto zdroje jsou velice významné v diagnostice a léčbě onemocnění	828	187	626	154	202	33
nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom	134	881	109	671	25	210
ano, pouze přispívají k radiační zátěži lidského organismu	53	962	45	735	8	227

### R1. Pohlaví:

Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.



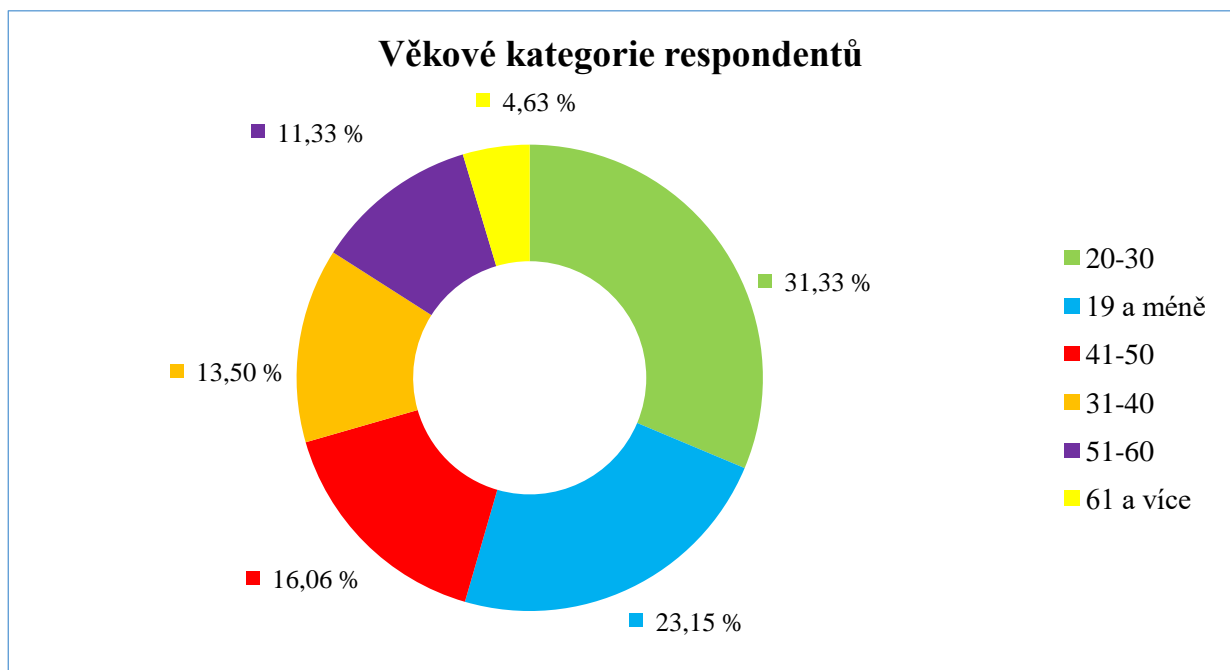
Graf 16 Pohlaví respondentů

Tabulka 27 Poměr pohlaví respondentů

odpověď	celkový počet respondentů 1 015
žena	558
muž	457

**R2. Věková kategorie:**

Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.



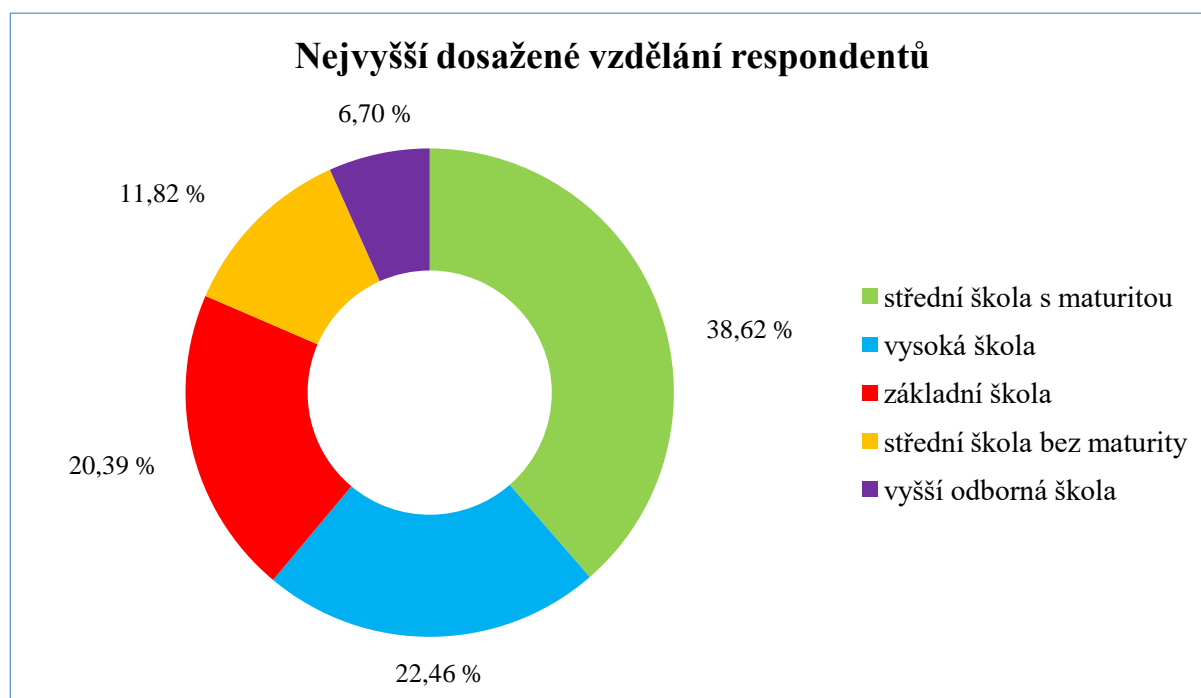
Graf 17 Věkové kategorie respondentů

Tabulka 28 Věkové kategorie respondentů

odpověď	celkový počet respondentů 1 015
20-30	318
19 a méně	235
41-50	163
31-40	137
51-60	115
61 a více	47

### R3. Nejvyšší dosažené vzdělání:

Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.



Graf 18 Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů

Tabulka 29 Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů

odpověď	celkový počet respondentů 1 015
střední škola s maturitou	392
vysoká škola	228
základní škola	207
střední škola bez maturity	120
vyšší odborná škola	68

**R4. Město, kde byl dotazník vyplněn:**

Povinná otázka, respondent musel zvolit pouze jednu z nabízených možností.



Graf 19 Město vyplnění dotazníku respondenty

*Tabulka 30 Město vyplnění dotazníku respondenty*

<b>odpověď</b>	<b>celkový počet respondentů 1 015</b>
Plzeň	518
Domažlice	497



## 6 DISKUZE

Jedním z důvodů, proč jsem si zvolila toto téma pro diplomovou práci, byl můj osobní střet s lidmi, kteří panikařili kvůli účinkům ionizujícího záření při rentgenovém či CT vyšetření. To mě přivedlo na jeden postřeh, že většina populace si hrozby více připouští ve zdravotnických zařízeních než, když se jedná o hrozbu související se zábavou a dovolenou. Všichni vědí, že při rentgenovém a CT vyšetření, nebo jak někteří tvrdí tak i při magnetické resonanci, působí radioaktivní záření. Mají z něho strach, protože jsou ovlivněni svojí nevědomostí o vlastnostech, vlivu a přítomnosti ionizujícího záření a protože jsou často médií strašeni, a to podněcuje v lidech pocit paniky a obav. V současné době se setkáváme s tím, že zájem o studium a povolání radiologického asistenta není příliš valný, a to kvůli přítomnosti a vlivu ionizujícího záření. Přitom ozáření pracovníků se pohybuje nízko pod hranicí stanovených limitů.

Za to, když se jedná o dovolenou, nevadí veřejnosti dobrovolně a bez rozmyslu projít rentgenovým scannerem při letištní kontrole, nevědí o přítomnosti ionizujícího záření během letu, které zatěžuje člověka podobně jako běžné rentgenové vyšetření. A už vůbec si neuvědomují, že radiační pozadí v destinaci, kam jedou, může být vyšší než v České republice. Jsem si vědoma, že pro člověka největší hrozby představují hygienicky závadná strava, okradení, neadekvátní ubytování, pád letadla, které zastíní možné obavy z působení ionizujícího záření.

Tímto nechci znevažovat vliv ionizujícího záření na člověka, jen mi přijde, že v dnešní době se dostává veřejnosti nedostatek validních informací o ionizujícím záření nebo případně jsou tyto poznatky předávány příliš odborně a pro běžného člověka nepochopitelně. Což se odráží i na zájmu jedince zabývat se více do hloubky o ionizující záření.

Avšak v roce 2016 byla zveřejněna publikace Programu OSN pro ochranu životního prostředí (UNEP) a sekretariátu Vědeckého výboru OSN o účincích atomového záření (UNSCEAR), která formuluje informace o ionizujícím záření pro laickou populaci

srozumitelně. Cílem publikace je poskytnout pomoc při zvýšení povědomí a prohloubení znalostí o zdrojích, úrovních a účincích expozice ionizujícímu záření. [41]

### **Dotazníkové šetření**

U praktické části diplomové práce jsme se potýkali s několika problémy. Již výběr agentury veřejného mínění nebyl jednoduchý. Po oslovení agentur sídlících v Praze se nám dostalo reakce pouze od jedné z nich (agentura Ipsos), která souhlasila se spoluprací s vytvořením a sestavením podoby dotazníkového šetření. Zástupkyně firmy Ipsos byla ochotná a jakýkoliv problém, se kterým jsme se setkali, nám pomohla vyřešit. Dala nám cenné rady k sestavení otázek a odpovědí. Nedoporučovala nám otevřenou formu otázek, protože bychom ztráceli spoustu potenciálních respondentů a také vyhodnocení dat by bylo komplikovanější. Naopak nám navrhla, aby součástí odpovědí byly únikové možnosti (jako například nevím, nikdy jsem o tom neslyšel/a nebo nepřemýšlel/a, nejsem si jistý/á). Vzhledem k tomu, že výběr účastníků šetření není nijak limitován pohlavím, vzděláním ani věkem jedince, nám doporučila, abychom sociodemografické hledisko dotazníku umístili na konec dokumentu. Sběr byl omezen pouze na města Plzeň a Domažlice, kde jsme cíleně oslovovali respondenty. Konzultantka nám ochotně nabídla pomocnou ruku s vyhodnocování nasbíraných dat.

Vytvořené tištěné dotazníky jsme na konci roku 2016 rozmístili na předem domluvená místa, kde jsme také ponechali boxy na vyplněné dokumenty. Naším hlavním záměrem bylo získávat data od klientů nemocničních zařízení ve městech Plzeň a Domažlice, zejména na pracovištích radiodiagnostiky. V Domažlické nemocnici se nám podařilo po dohodě s vedením zařízení náš plán uskutečnit. Na spolupráci jsme se nedohodli s administrativou plzeňské Fakultní nemocnice Lochotín. Po vyplnění a odeslání nezbytného formuláře nám bylo řečeno, že sběr dat můžeme uskutečnit kdekoliv jinde a že si nepřejí, aby jejich klienti byli obtěžováni vyplňováním dotazníků. Podle nich je zbytečné zatěžovat chod jakéhokoliv nemocničního zařízení.

V Domažlicích jsme navázali spolupráci s praktickým lékařem MUDr. Jiřím Soldánem a lékaři chirurgické ambulance MUDr. Bohumilem Černým a MUDr. Josefem Volákem (viz

kapitola 4 tabulka 10), kteří nám umožnili získávat potřebné informace od pacientů. Opět zde byly k dispozici boxy, kam bylo možné vyplněný dotazník vrátit. V případě chirurgické ambulance se na sběru respondentů aktivně podílela zdravotní sestra Daniela Jindřichová.

Sběr dat v Plzni jsme uskutečnili prostřednictvím rychlého občerstvení (viz kapitola 4 tabulka 10), kde se během dne pohybuje větší množství osob, a tak měly možnost se zapojit do průzkumu. Doplněné dotazníky mohly vhodit do připraného boxu. S oslovením veřejnosti nám pomohla majitelka stánkového prodeje Ivana Čadová.

Pro jednodušší dostupnost a šíření vyhotovených dokumentů jsme přistoupili k elektronické formě dotazování. Naše šetření jsme uskutečnili na internetových stránkách Vyplňto.cz, kde jsme dotazník vytvořili, a odkud nám bylo umožněno exportovat data pro vyhodnocení. Přístup k souboru nebyl veřejně přístupný na již zmíněných internetových stránkách. Jednotlivce jsme tedy cíleně oslovovali sami prostřednictvím e-mailu nebo dalších aplikací.

Po jisté době sběru jsme zjistili, že nám ve spektru věkové škály schází respondenti mladší devatenácti let a starší 61 let. Proto jsme se zaměřili na oslovování škol (viz kapitola 4 tabulka 10) a domovů pro seniory (viz kapitola 4 tabulka 11). Většina škol nám nebyla schopna ani jakoukoli formou odpovědět nebo reagovat na námi vznesený dotaz. Ředitelství Domažlického gymnázia a Masarykova gymnázia v Plzni nám ochotně nabídla pomoc a po dohodě s učiteli (Ing. Josef Šerlovský, Mgr. Vlasta Nováková) byly dotazníky distribuovány mezi žáky. Po vyplnění nám byly navraceny zpět k vyhodnocení.

Komunikace a domluva s domovy pro seniory byla komplikovaná. Tato zařízení (viz kapitola 4 tabulka 11) s námi neměla zájem navázat spoluprací. Zástupci domovů nám odpověděli, že dotazník je pro jejich klienty příliš odborný, že by je to mohlo rozrušit nebo obtěžovat. Vzhledem k tomu, že už v domovech probíhalo jejich dotazníkové šetření, tak by další výzkum klienty příliš zatížil.

Zájem o účast na šetření jsme pozorovali převážně u žen (55 %) a u respondentů ve věku od 20 do 31 let (31 %). Lidé v tomto věku se často pohybují v mém okolí, a tak k nim mám snazší přístup.

Prostřednictvím zpětné vazby se nám dostalo několik výtek k volbě otázek a jejich obsahu. Nejčastěji nám byla předhazovaná první otázka, ve které jsme se zabývali obecně radioaktivním zářením. Dotazy byly často vznášeny na téma, jaký druh ionizujícího záření máme na mysli. Jsme si vědomi, že ionizující záření je rozděleno na několik druhů (alfa, beta, gama, rentgenové záření, neutronové záření atd.) a že každé z nich má jiné vlastnosti i negativní vliv na lidský organismus. Avšak náš sběr probíhal v rámci široké veřejnosti, která se o tento obor nezajímá do hloubky. Proto jsme dotazník přizpůsobili laikům, abychom zjistili jejich názor na tuto problematiku a nedostávali je do obtížných situací, kdy by museli informace vyhledávat na internetových portálech. Již při oslovování osob jsme se setkali s nezájmem o vyplnění, když jsme jim sdělili, na jaké téma je dotazník koncipován. Většinou reagovaly tak, že o ionizujícím záření nic nevědí a že by si odpovědi musely najít. Snažili jsme se jim vysvětlit, že hledání informací není potřeba, že nám to spíše průzkum naruší. Zdůrazňovali jsme jim, že ať odpoví jakkoliv, tak pro nás je každá odpověď správná a že nám zjištěné výsledky umožní posoudit reálný stav povědomí veřejnosti.

### **Ověření předpokladů**

**Otázku 1** (Které z následujících výroků jsou, podle Vašeho názoru, pravdivé?), jsme zvolili, abychom zjistili, do jaké míry je veřejnost seznámena s obecnými informacemi o radioaktivním záření. Jako možnosti odpovědí jsme uvedli vlastnosti ionizujícího záření, které by mohli být pro veřejnost známé a logicky odvoditelné. Předpokládáme, že více než 50 % respondentů vybere jako svou odpověď možnost: radioaktivní záření snadno prochází lidským tělem.

Podle vyhodnocení k této variantě přistoupilo přibližně 67 % dotazovaných. Tím jsme potvrdili náš předpoklad. Důvodem nižší četnosti volby této odpovědi by mohla být skutečnost, že jsme blíže nespécifikovali druh radioaktivního záření v zadané otázce. Nejčastěji respondenti zvolili možnost, že je radioaktivní záření nebezpečné (88 %) a pro

lidské oko neviditelné (86,5 %). Myslíme si, že většina dotazovaných má základní informace o vlastnostech tohoto záření. Přibližně dvě procenta respondentů odpověděla, že o této problematice nikdy nepřemýšlela nebo že žádné z těchto tvrzení není pravdivé.

V tabulce 12 jsme porovnávali informovanost široké veřejnosti a studentů do 19 let. Většina široké veřejnosti a studentů do 19 let si myslí, že radioaktivní záření je pro lidský organismus nebezpečné (87 % populace, 91 % studentů) a pro lidské oko neviditelné (85 % populace, 91 % studentů). Podle 70 % široké veřejnosti a 55 % studentů do 19 let je vlastností radioaktivního záření snadné pronikání lidským tělem. O tvrzeních nikdy nepřemýšlelo 2,4 % respondentů z řad široké veřejnosti. Tuto možnost neoznačil ani jeden z tázaných studentů. Všechny tři správné varianty zvolilo 108 studentů do 19 let (46 % z celkového počtu studentů do 19 let) a 466 zástupců široké veřejnosti (60 % z celkového součtu dotazovaných nad 20 let).

**Otázka 2:** Je, podle Vašeho názoru, následující výrok pravdivý? Pokud stojíte co nejdále od zdroje radioaktivního záření, klesá jeho intenzita. Naším záměrem bylo si ověřit, zda si je veřejnost vědoma, jak se může chránit před působením ionizujícího záření. Tento způsob ochrany je jedním z nezákladnějších metod radiační ochrany a je jednoduché toto pravidlo použít. Podle našeho názoru více než 80 % dotazovaných zvolí možnost první: ano, výrok je pravdivý.

Z grafického znázornění výsledků je patrné, že téměř 84 % respondentů ví, že se zvyšující se vzdáleností od zdroje klesá intenzita ionizujícího záření, což je v souladu s naším předpokladem. Tudiž by tento poznatek měli být schopni využít k eliminaci nepříznivého vlivu radioaktivního záření na člověka. Tvrzení považovalo za nepravdivé 10 % tázaných a 6 % výrok nevyhodnotilo.

Otázku 2 správně zodpovědělo 83 % široké veřejnosti, nepravdivost výroku zvolilo 11 %. Studenti do 19 let označili tvrzení za pravdivé v 88 % z jejich celkového počtu. Výrok špatně vyhodnotilo 6 %. Únikovou variantu označilo u obou skupin cca 6 %.

**Otázka 3:** Jaké jsou, podle Vašeho názoru, možné negativní účinky radioaktivního záření na lidský organismus? Působení ionizujícího záření na člověka může vyvolat viditelné změny na pokožce, poškodit vývoj plodu, podmítnout vznik maligního nebo genetického onemocnění, které se neprojevuje ihned po ozáření, ale až s odstupem času. Předpokládáme, že více než 80 % respondentů vybere v dotazníkovém šetření možnost: vznik zhoubných nádorů. Součástí našeho zájmu je informovanost veřejnosti o možném ohrožení plodu při rentgenovém vyšetření.

Většina dotazovaných se domnívá, že radioaktivní záření způsobuje převážně poškození vývoje plodu a vznik zhoubných nádorů. U obou možností se četnost odpovědí pohybovala přes 86 %. Tím jsme ověřili náš odhad a zároveň jsme zjistili, že povědomí veřejnosti o možném riziku poškození plodu působením ionizujícího záření je dostatečné. Genetické změny jako negativní účinky radioaktivního záření vyhodnotilo téměř 72 % a 60 % se obává poškození kůže. Možnost, že radioaktivní záření nemá žádné negativní účinky, zvolilo 7 dotazovaných (0,7 %) a 35 respondentů (3,5 %) si nebylo jistých, jaký vliv má radioaktivní záření na lidský organismus.

V 87,7 % označila široká veřejnost za negativní účinky poškození vývoje plodu a v 87,4 % vznik zhoubných nádorů. Genetické změny zvolilo 73 % a poškození kůže 64 %. Otázku nedokázalo vyhodnotit 4,5 % široká populace. Podle 0,6 % jedinců nad 20 let nemá radioaktivní záření žádný negativní vliv. Studenti do 19 let vyhodnotili jako nebezpečné účinky radioaktivního záření poškození vývoje plodu v 84 % a vznik zhoubných nádorů v 83 %. S nižší četností označili genetické změny 68,5 % a poškození kůže 44 %. Podle 0,9 % studentů nemá radioaktivní záření špatný vliv na lidský organismus. Všechny 4 správné odpovědi vybralo 379 respondentů nad 20 let (49 %) a 54 studentů pod 19 let (23 %).

**V otázce 4** jsme zjišťovali, do jaké míry se veřejnost obává následků radioaktivního záření, když podstupuje rentgenové vyšetření. Odpovědi tvoří číselná škála od 1 do 5, kde 1 odpovídá možnosti, že se veřejnost vůbec neobává, a 5 vyjadřuje maximální obavy. Myslíme si, že více než 70 % respondentů pociťuje strach a že více než 10 % pociťuje velké obavy nebo se maximálně obává následků ozáření při rentgenovém vyšetření.

Po vyhodnocení míry obav dotazovaných jsme dospěli k závěru, že 52,5 % pociťuje jakoukoliv míru strachu, přičemž necelá 3 % se maximálně obává nebo pociťují velké obavy. Z těchto 3 % více jak polovinu tvořily ženy (73 %). Ani jeden z těchto výsledků nám nepotvrdil námi stanovené hypotézy. Překvapující byl pro nás výsledek, že se 47,5 % vůbec neobává.

Při podstupování rentgenového vyšetření se studenti do 19 let (56 %) se obávali méně než široká populace (45 %). Strach pociťovalo 44 % studentů do 19 let a více než polovina populace nad 20 let (55 %).

**V otázce 5** jsme se zaměřili na radiační zátěž člověka, ve které mají respondenti označit jeden z vybraných výroků, který je podle nich správný. Odpovědi obsahují tvrzení týkající zdrojů způsobující největší radiační zátěže pro člověka. Otázku jsme zvolili k ověření skutečnosti, že většina veřejnosti si neuvědomuje přítomnost ionizujícího záření v přírodním prostředí a že je ozařována každý den, a to pro ni představuje největší zátěž. Předpokládáme, že více než 65 % respondentů odpoví variantou: největší radiační zátěž pro lidský organismus představuje lékařské ozáření (např. při rentgenovém vyšetření).

V rámci této otázky se četnost odpovědí respondentů takřka vyrovnala, avšak jako největší zdroj zátěže (27 %) dotazovaní určili lékařské ozáření (např. rentgenové vyšetření). Tím se náš odhad nepotvrdil. Další nejčastější odpověď byla, že největší zátěž způsobuje přírodní prostředí (26 %), kvůli přítomnosti radonu, a 18 % si myslí, že největší zdroj zátěž představuje kosmické záření. Téměř stejné procento dotazovaných označilo možnost, že o dané problematice nikdy nepřemýšlelo. Pravdivost výroků vyvrátilo 11 % tázaných. Díky tomuto průzkumu jsme zjistili, že široká veřejnost má povědomí i o působení záření během každodenních činností. Avšak stále si radiační zátěž spojují více se zdrojem lékařského ozáření.

Široká populace zvolila, že největším zdrojem radiační zátěže člověka je přírodní prostředí (30 %), lékařské ozáření (25 %), kosmické záření (17 %). O této problematice nikdy nepřemýšlelo 18 % veřejnosti a pravdivost výroků nepotvrdilo 10 %. Studenti do 19 let jako největší zdroj radiační zátěže lidského organismu označili lékařské ozáření (32 %),

kosmické záření (22 %), přírodní prostředí (14 %). O radiační zátěži nikdy nepřemýšlelo 18 % studentů. Tvrzení vyvrátilo 14 %. Z tohoto porovnání je patrné, že o vlivu přírodního prostředí je lépe informována populace nad 20 let než studenti do 19 let.

**Otázkou 6** mají respondenti opět vyslovit svůj názor k pravdivosti zvoleného výroku. Tento výrok zní: Při letu letadlem není lidský organismus zatížen radioaktivním zářením. Důvodem zahrnutí této otázky bylo, abychom přiměli veřejnost se nad touto skutečností zamyslet a uvědomit si, že zdroje ionizujícího záření se nevyskytují jen ve zdravotnických zařízeních. Pokud byla zvolena možnost: ano, výrok je pravdivý nebo nevím, měl by respondent přeskočit otázku 7 a pokračovat na otázku 8. Bude-li zaškrtnuta možnost vylučující pravdivost tvrzení, přechází tázaný k otázce 7. Podle naše odhadu méně než 40 % respondentů zvolí variantu: ne, výrok je nepravdivý.

S tvrzením nesouhlasilo 47 % dotazovaných, které tak nepotvrdilo naší hypotézu. Nevědomost přiznalo 30 %. A nejmenší počet (23 %) respondentů zvolil možnost, že na palubě letadla během letu nejsou cestující vystaveni působení ionizujícího záření. Se zadaným výrokiem souhlasilo 23 % široké veřejnosti. Opačného názoru bylo 46 % a možnost nevím vybralo 31 %. Studenti do 19 let označili výrok za pravdivý v 25 %, za nepravdivý v 50 %. Zbylí studenti (25 %) vybrali variantu nevím.

**V otázce 7** vyhodnocuje dotazovaný míru zátěže získané při sedmihodinovém letu z Evropy do USA. K dispozici jsou varianty odpovědí, kde srovnáváme stupeň zátěže při letu s rentgenovým vyšetřením nebo s vyšetřením CT. Respondent mohl vyjádřit nesouhlas s vybranými vyšetřeními, a to buď variantou, že zátěž je výrazně vyšší, nebo výrazně nižší. Podle našeho předpokladu vybere méně než 20 % respondentů odpověď: odpovídá dvěma rentgenovým vyšetřením plic.

Velikost zátěže cestujících nebylo schopno určit 33 % dotazovaných a 23 % si myslí, že zátěž je výrazně nižší, než byl výběr nabízených možností. Zátěž odpovídající dvěma rentgenovým vyšetřeními plic odhadovalo 16 %. Tímto se náš předpoklad potvrdil. Ostatní respondenti volili varianty odpovědí, že zátěž odpovídá jednomu CT vyšetření břicha



(10 %), jednomu rentgenovému vyšetření lebky (10 %) nebo že zátěž je výrazně vyšší než uvedené možnosti (8 %).

K otázce 7 pokračovalo 360 respondentů široké veřejnosti a 117 studentů. Populace nad 20 let si myslí, že zatížení lidského organismu odpovídá dvěma rentgenovým vyšetření plic (18 %), je výrazně nižší než uvedené varianty (18 %), odpovídá jednomu CT vyšetření břicha (11 %). Přibližně stejné procento (9 %) přirovnalo zátěž k jednomu rentgenovému vyšetření lebky nebo zvolilo variantu, že neodpovídá žádnému z uvedených vyšetření, protože je výrazně vyšší. Nejčastěji však míru zátěže nedokázala vyhodnotit (35 %). Naopak žáci nejčastěji volili odpověď (38,5 %), že zátěž je výrazně nižší než uvedená vyšetření. Jistí si nebyli v 26,5 %. Podle studentů zatížení odpovídá jednomu rentgenovému vyšetření lebky (13 %), dvěma rentgenovým vyšetření plic (9 %), jednomu CT vyšetření břicha (7 %). Zátěž je vyšší než uvedené možnosti, uvádí 6 %.

**V otázce 8** se ptáme na pojem špinavá bomba, který se v současné době objevuje v médiích čím dál tím častěji. Zajímalo nás, jestli si je veřejnost vědoma, co tento výraz označuje. Očekáváme, že méně než 35 % respondentů vybere možnost zbraň obsahující radiologickou látku.

Možnost zbraň obsahující radiologickou látku označilo 37,2 % účastníků průzkumu. Naše očekávání se nepotvrdilo. O pojmu nikdy neslyšelo 35,5 % dotazovaných. Jinou možnost zvolilo 27,3 %.

Z bližšího porovnání odpovědí široké populace a studentů do 19 let jsme zjistili, že správnou variantu zvolilo 37 % dotazovaných nad 20 let a 37 % žáků. Stejně procento žáků označilo, že o pojmu nikdy neslyšelo. Co je špinavá bomba neví 35 % široké veřejnosti. Podle 28 % populace a 26 % žáků má špinavá bomba jiný význam. Veřejnost nejvíce volila z výběru dalších možností významu pojmu zbraň obsahující biologickou látku a studenti zbraň s chemickou látkou.

**Otázkou 9** jsme chtěli zjistit, jaký názor veřejnost zastává k výstavbě hlubinného úložiště. Předpokládáme, že méně než 10 % respondentů by neprotestovalo proti výstavbě hlubinného úložiště.

S výstavbou nesouhlasilo 38 % dotazovaných kvůli obavám z účinků radioaktivního odpadu. Jako dobrý nápad výstavbu hlubinného úložiště vyhodnotilo 19 %, protože s radioaktivním odpadem je potřeba nějak nakládat. Vytvoření nových pracovních míst oceňovala 2 %. Zničení krajiny kvůli výstavbě hlubinného úložiště se nelíbilo 15 % účastníků průzkumu. S budováním zařízení by neprotestovalo 13 % dotazovaných. Stejně procento respondentů uvedlo, že o tomto tématu nepřemýšlelo. Náš předpoklad se nepotvrdil.

Přítomnost úložiště radioaktivního odpadu v ČR odmítalo 38 % populace a 37 % studentů do 19 let, protože se bojí účinků radioaktivního odpadu. Kvůli zničení krajiny zamítlo výstavbu úložiště 13 % veřejnosti a 20 % studentů. Naopak budování úložiště pozitivně vnímalo 19,5 % populace nad 20 let a 17 % žáků, jelikož je potřeba nějak nakládat s vyprodukovaným radioaktivním odpadem. Navíc vzniknou nová pracovní místa, což je výhodné pro téměř 2 % populace ve věku 20 let a více a cca 2 % studentů. Proti úložišti by neprotestovalo 14 % široké veřejnosti a 11 % studentů do 19 let. Poslední část tvořili respondenti, kteří o tom nepřemýšleli (13,5 % populace a 13 % studentů).

**Otázka 10** je také změřena na téma hlubinného úložiště. Zde má veřejnost vyhodnotit, do jaké vzdálenosti od jejich bydliště by akceptovali výstavbu takového úložiště. Myslíme si, že méně než 5 % tázaných by strpělo hlubinné úložiště do 1 km od bydliště.

Více než polovina respondentů (55 %) by akceptovala výstavbu úložiště radioaktivního odpadu do vzdálenosti nad 50 km od domova a 18 % dotazovaných si vůbec nepřeje toto úložiště v České republice. Do 1 km by toto zařízení přijala pouze 2 %, která potvrzují naši domněnku. Ti, kteří si úložiště nepřáli v ČR, měli prostor navrhnout jiná řešení. Zbylá procenta označila možnost od 1 do 50 km.

Většina účastníků průzkumu nepřející si výstavbu hlubinného úložiště v ČR nevěděla, jak by tuto problematiku řešila. Další by radioaktivní odpad vyvezli do jiných států

(Rumunko, Ruská federace - Sibiř, Spolková republika Německo, Řecká republika, Irácká republika, Islámská republika Írán, Izrael, Ukrajina, Grónsko, Antarktida) nebo na neobydlené části planety (oceány, moře, poušť). Někteří respondenti by uvítali, aby se radioaktivní odpad vystřelil do vesmíru nebo aby se úplně ustoupilo od produkce jaderné energie.

Jak vyplývá z údajů v tabulce 21, více jak polovina populace (55,5 %) i studentů do 19 let (54,5 %) by preferovala, aby bylo jejich obydlí vzdáleno od úložiště radioaktivního odpadu minimálně 50 km. S nižší vzdáleností od domova se snižuje i ochota respondentů obou skupin přijmout hlubinné úložiště, procentuálně se pohybujeme v rozmezí od téměř 2 % do 23 %. Výstavbu si v ČR vůbec nepřeje 19 % široké veřejnosti a 17 % studentů do 19 let.

**Otázka 11:** Byli byste ochotni pracovat v hlubinném úložišti, za předpokladu vysoké úrovně bezpečnosti a nadstandardního platového ohodnocení? Naším záměrem bylo zjistit, zda by se lidé nechali zaměstnat v tomto zařízení i přes skutečnost, že s výstavbou úložiště nesouhlasili a došlo by k ní. Podle našeho názoru méně než 35 % dotazovaných by bylo ochotno pracovat v úložišti radioaktivního odpadu.

Za daných podmínek (zajištění bezpečnosti, nadstandardní plat) by v hlubinném úložišti nepracovalo 51 %. Pouze 30 % by využilo volných pracovních míst a nadstandardního platového ohodnocení. Tento výsledek potvrdil naši domněnku. O takové možnosti nepřemýšlelo 18 % respondentů. Když jsme vyhodnotili počet respondentů, kteří byli proti výstavbě hlubinného úložiště, tak 12 % respondentů by přijali pracovní nabídku v takovém to zařízení.

Více než polovina populace (53,5 %) by nechtěla pracovat v tomto zařízení, studenti do 19 let by nabídku práce odmítli v 45 %. Zaměstnat by se nechalo 27 % široké veřejnosti a 40 % žáků do 19 let. O návrhu zaměstnání nepřemýšlelo 19,5 % dotazovaných nad 20 let, 15 % studentů.

**Otázkou 12 a 13** chceme postihnout téma jaderných elektráren, a jaký názor na ně veřejnost má s ohledem na současné vnímání jaderné energie. Ptáme se široké populace, zda upřednostňuje vodní elektrárny před jadernými, i za cenu zničení části krajiny a ovlivnění klimatu, a jaký má názor na rozšiřování jaderných elektráren, za předpokladu využití moderních technologií. Předpokládáme, že více než 70 % respondentů upřednostňuje vodní elektrárny před jadernými. Podle našich odhadů méně než 20 % dotazovaných rozšiřování jaderných elektráren nevdá.

Naše domněnka nebyla potvrzena, jelikož 45 % účastníků průzkumu neupřednostňovalo vodní elektrárny před jadernými. Naopak 28 % dotazovaných vodní elektrárny upřednostňovalo a 27 % o této problematice nepřemýšlelo.

Široká veřejnost ze 45 % neprotěžovala vodní elektrárny před jadernými, jiného názoru je 27 % a 28 % zvolilo možnost, že o tom nepřemýšlelo. Studenti do 19 let preferovali vodní elektrárny před jadernými v 34 %, opačného mínění bylo 44 % a poslední variantu (nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom) označilo 22 %.

Více než polovině respondentů (54 %) nevdá rozšiřování jaderných elektráren, proti je 22 % dotazovaných. O rozšiřování elektráren neuvažovalo 14 % a 10 % to bylo jedno. Naše očekávání se nepotvrdilo.

Rozšiřování jaderných elektráren nevdá 53,5 % populace, 55 % studentů pod 19 let. Nesouhlas vyjádřilo 25 % široké veřejnosti a 13 % žáků. Variantu, nepřemýšlel/a jsem o tom, zvolilo 15 % dotazovaných nad 20 let, 11 % studentů. Názor, je mi to jedno, zastávalo 6,5 % populace a 21 % studentů pod 19 let.

**Otázkou 14** chceme vyhodnotit postoj veřejnosti ke zdrojům ionizujícího záření ve zdravotnictví, zda podle ní pouze přispívají k radiační zátěži lidského organismu nebo jsou velice významné v diagnostice a léčbě onemocnění. Dotazovaných jsme se ptali, zda by tyto zdroje měly vymizet ze zdravotnictví. Předpokládáme, že více než 80 % respondentů vnímá využívání zdrojů ionizujícího záření ve zdravotnictví jako významné v diagnostice a léčbě onemocnění.

Z našeho průzkumu vyšlo, že 82 % respondentů vnímá pozitivně využívání ionizujícího záření ve zdravotnictví. Tato skutečnost potvrzuje náš předpoklad. Pouze 5 % si myslí, že tyto zdroje přispívají k radiační zátěži lidského organismu a 13 % o této skutečnosti nepřemýšlelo.

Podle 80 % populace nad 20 let a 86 % studentů do 19 let jsou zdroje ionizujícího záření významné ve zdravotnictví. Opačný názor má 6 % široké veřejnosti a 3 % žáků. Zbylá procenta respondentů (14 % dotazovaných nad 20 let, 11 % studentů pod 19 let) zvolila: nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom.

Do našeho průzkumu se zapojilo celkem 1 015 jedinců, z toho 55 % tvořily ženy a 45 % muži. S šetřením jsme uspěli zejména u osob ve věkové kategorii pod 30 let, kterou představuje cca 54 % respondentů. Naopak nejméně respondentů (5 %) jsme získali ve věku 61 let a více. Z hlediska nejvyššího vzdělání nám dotazník vyplňovali nejčastěji lidé se střední školou zakončenou maturitou (39 %), poté s vysokoškolským vzděláním (22 %). Poměr dotazovaných z Domažlic a Plzně byl téměř vyrovnaný (51 % Plzeň, 49 % Domažlice).

Z průměrného vyhodnocení vyplývá, že asi 17 % respondentů přistoupilo k únikové otázce typu: nevím, nejsem si jistý/á, nepřemýšlel/a jsem o tom, nikdy jsem o tom neslyšel/a.

Z výsledků průzkumu Stanislavy Kejřové, které se zabývala informovaností žáků 9. tříd a široké populace, je patrné že většina žáků zvolila nejčastěji možnost nevím. Jen 23 % si uvědomovalo, že rentgenové vyšetření může způsobit rozvoj maligního onemocnění. Pouze 5 % široké veřejnosti bylo informováno o působení ionizujícího záření z přírodního prostředí (radonu). Autorka ve své práci poukazuje na neobjektivní propagaci informací o radioaktivním záření hromadnými sdělovacími prostředky. [42]

Průzkum Daniely Horákové odhalil, že většina respondentů si myslí, že špinavou bombu představuje atomová bomba. Druhá nejčastější odpověď byla zbraň obsahující

radiologickou látku. Autorka uvádí, že neoprávněné obavy respondentů vznikají v souvislosti s jejich neznalostí oboru. [43]

Studenti našeho šetření byli ve většině případů staršího věku s dokončeným základním vzděláním, proto také jejich informovanost byla vyšší. S přítomností zdrojů ionizujícího záření v přírodním prostředí je seznámeno 30 % široké veřejnosti a 87 % jako negativní účinky radioaktivního záření označilo vznik zhoubných nádorů. Tímto můžeme konstatovat zlepšení informovanosti široké veřejnosti oproti průzkumu Stanislavy Kejřové. Naši respondenti lépe odpovídali na otázku týkající se významu pojmu špinavá bomba než účastníci šetření Daniely Horákové, 37 % označilo zbraň obsahující radiologickou látku. S oběma autorkami se ale shodujeme na názoru, že neobjektivní informace o ionizujícím záření poskytované masmédií a neznalost tohoto oboru, mohou být příčinou větší míry obav veřejnosti z vlivu ionizujícího záření.

### **Nakládání s vyhořelým jaderným palivem a radioaktivním odpadem**

Základní pojmy a požadavky na nakládání s vyhořelým jaderným palivem a radioaktivním odpadem jsou definovány v novém atomovém zákoně č. 263/2016 Sb., konkrétně v hlavě IV., a ve vyhlášce SÚJB č. 377/2016 Sb. Nakládání s těmito odpady musí být v souladu s aktualizovanou podobou koncepce, která stanovuje politiku a strategii státu při nakládání s vyhořelým jaderným palivem a radioaktivním odpadem. Koncepce rovněž musí odpovídat pravidlům a doporučením stanovených mezinárodní legislativou (Euratom, OECD/NEA a IAEA). [44]

Návrh respondentů na uložení nebo vyvezení odpadu do jiného státu či země, je podle nového atomového zákona možný realizovat. Radioaktivní odpad vzniklý v České republice je přijatelné ukládat v jiném státě, který je členem Euratomu, ale i ve státě, který členem Euratomu není. Podmínkou uložení odpadu je, aby byla uzavřena dohoda o využití jeho úložiště radioaktivního odpadu mezi ČR a tímto státem. Pro stát, který není členem Euratomu, jsou stanovená další pravidla, aby bylo možné na jeho území radioaktivní odpad ukládat. Není-li platná dohoda, pak je ČR povinna zajistit nakládání s vyhořelým jaderným palivem a radioaktivním odpadem vzniklým na jejím území. [45]

V článku 4 Dohody mezi ČR a Ruskou federací o spolupráci v oblasti jaderné energetiky, z roku 1995 a platné od roku 2005, je uvedeno, že se strany budou navzájem podporovat v přijetí kontraktů mezi organizacemi ČR a Ruské federace na jednotlivé služby související s jaderným palivovým cyklem, a to včetně ukládání jaderných materiálů. [46]

Ukládání radioaktivního odpadu na území jiného státu nelze ale v současné době prakticky realizovat. Ve většině zemí byla přijata legislativa, která tuto činnost zakazuje. Česká republika nemá uzavřenou žádnou konkrétní dohodu o ukládání radioaktivního odpadu v zahraničí.

Pro vývoz vyhořelého jaderného paliva a radioaktivních odpadů do vesmíru není k dispozici raketová technika na dostatečné úrovni spolehlivosti a není vyřešena otázka možného radioaktivního spadu. O vzniku mezinárodního úložiště radioaktivního odpadu se také uvažovalo, ale v tomto případě zde hrají velkou roli legislativní pravidla, odpor veřejnosti k akceptování odpadu na jejich území a přepravě odpadu. [47] [48]

Zneškodnění jaderného paliva lze realizovat prostřednictvím dvou strategií. První je charakterizována jako otevřený palivový cyklus a druhá jako uzavřený palivový cyklus. Hlubinná úložiště představují zpracování jaderného paliva prostřednictvím otevřeného palivového cyklu. Metodou uzavřeného palivového cyklu by měl být vyhořelý odpad přepracován a dále využit k produkci energie. Z této činnosti však i nadále vznikají radioaktivní odpady, se kterými by bylo potřeba dále pracovat. [48] [49]

Úložiště jaderných odpadů se tedy jeví jako nejefektivnější a nejdostupnější řešení problematiky nakládání s vyhořelým jaderným palivem a radioaktivním odpadem.

## 7 ZÁVĚR

Oblast malých dávek ionizujícího záření bude i nadále předmětem průzkumů a studií. Je potřeba získat přesnější a jednoznačnější informace k prohloubení poznatků o vztahu účinku a dávky ionizujícího záření pohybující se kolem nulové hodnoty. Závěry těchto studií by mohly zvrátit současné představy a obecně přijímaná pravidla radiační ochrany.

Prostřednictvím dotazníkového průzkumu jsme získali odpovědi na otázky vztahující se k problematice informovanosti veřejnosti o ionizujícím záření. Do šetření se zapojilo 1 015 respondentů z Plzně a Domažlic různého pohlaví, věku a vzdělání. Procentuálně nám převažovaly ženy (55 %) na úkor mužů, jedinci ve věku 20-30 let (31 %) a se středoškolským vzděláním ukončeným maturitní zkouškou (39 %).

Cílem diplomové práce bylo zpracovat analýzu současných poznatků o vlivu nízkých radiačních dávek na lidský organismus, a to na základě literárních údajů. Tohoto cíle se nám podařilo dosáhnout. Další částí cíle bylo posouzení informovanosti české populace o vlivu ionizujícího záření. K ověření jsme si stanovili dvě hypotézy, které jsme nepotvrdili. Z výsledků plyne, že naše očekávání nadhodnotilo míru radiofobie široké veřejnosti při rentgenovém vyšetření a podcenilo informovanost populace o přítomnosti ionizujícího záření během letu letadlem. Pokud bychom měli vyhodnotit odpovědi široké veřejnosti a studentů do 19 let, tak lze říci, že u studentů jsme pozorovali lepší přístup k ionizujícímu záření, naopak široká veřejnost má o něm více informací. Avšak procentuální rozdíly mezi odpověďmi těchto dvou skupin byly nepatrné a lišily se jen v řádu jednotek procent.

Celková informovanost veřejnosti je dobrá, ale pro její posílení a pro lepší odhad zátěže, kterou jedinec podstupuje při rentgenovém nebo CT vyšetření, bych ke každému informovanému souhlasu připojila tabulku poukazující na zátěž daného vyšetření a srovnávající toto zatížení s hodnotami ve správných jednotkách, které jedinec obdrží během každodenních aktivit. Kvalitu diplomové práce by zvýšilo získání více respondentů poslední věkové kategorie nad 61 let, kteří by přispěli svými názory a zkušenostmi k danému tématu.



## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>AFRRI</b>	Armed Forces Radiobiology Research Institute
<b>Am</b>	Americium
<b>BBC</b>	British Broadcasting Corporation
<b><sup>7</sup>Be</b>	izotop beryllia
<b>BEIR</b>	Biological Effects of Ionizing Radiation
<b>Bq/l</b>	Becquerel na litr
<b><sup>14</sup>C</b>	izotop uhlíku
<b>CNS</b>	Centrální nervová soustava
<b>CT</b>	Computed Tomography
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>DD</b>	Doubling Dose
<b>DDREF</b>	Dose and Dose Rate Effectiveness Factor
<b>DNA</b>	Deoxyribonucleic acid
<b>DSBs</b>	Double-Strand Breaks
<b>Euratom</b>	Evropské společenství pro atomovou energii
<b>FN</b>	Fakultní nemocnice
<b>GSTM</b>	genetický polymorfismus genu pro glutation S transferázu
<b>Gy</b>	Gray
<b><sup>3</sup>H</b>	Tritium
<b>IAEA</b>	International Atomic Energy Agency
<b>ICRP</b>	International Commission on Radiological Protection
<b>ISS</b>	International Space Station
<b>LET</b>	Linear energy transfer
<b>LNT</b>	Linear Non-threshold

<b>LSS</b>	Life Span Study
<b>NAS</b>	National Academy of Science
<b>NCRP</b>	National Council on Radiation Protection and Measurements
<b>NRC</b>	National Research Council
<b>OECD/NEA</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency
<b>OSL</b>	Opticky stimulovaná luminiscence
<b>Pb</b>	Olovo
<b>Po</b>	Polonium
<b><sup>87</sup>Rb</b>	izotop rubidia
<b>SSBs</b>	Single-Strand Breaks
<b>Sv</b>	Sievert
<b>SÚJB</b>	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
<b>SÚRAO</b>	Správa úložišť radioaktivních odpadů
<b>SÚRO</b>	Státní ústav radiační ochrany
<b><sup>232</sup>Th</b>	izotop thoria
<b><sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U</b>	izotopy uranu
<b>UK</b>	United Kingdom
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Programme
<b>UNSCAER</b>	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
<b>USA</b>	United States of America
<b>X záření</b>	rentgenové záření, dříve označované jako X záření

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HANUS, Václav, BLÁHA, Václav, KORTANOVÁ, Martina. *Nízké dávky ionizačního záření: sborník materiálů ze semináře České nukleární společnosti konaného dne 5. října 2005 v Konferenčním centru ÚJV Řež a.s. v Řeži*. Řež : Česká nukleární společnost, 2005. ISBN 80-02-01790-0.
- [2] KELNER, Vladislav. Malé dávky záření a riziko rakoviny. *Vesmír*. 2008, 87(3), 189. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/male-davky-zareni-a-riziko-rakoviny>
- [3] National Research Council Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*. Washington, D.C : National Academies Press, 21. 3 2006. BEIR VII Phase 2. ISBN 978-0309-53040-8.
- [4] *UNSCEAR 2010 Report: Summary of Low-dose Radiation Effects on Health*. New York : United Nations, United Nations, 2011. ISBN 978-92-1-054915-8.
- [5] *UNSCEAR 2012 Report: Sources, Effect and risks of ionizing radiation*. New York: United Nations, 2015. eISBN: 978-92-1-057798-4.
- [6] *Research on health effects of low-level ionizing radiation exposure: opportunities for the Armed Forces Radiobiology Research Institute / Committee on Research Directions in Human Biological Effects of Low-Level Ionizing Radiation, Board on the Health of*. Washington, District of Columbia : National Academy Press, 2014. ISBN 978-0-309-30210-4.
- [7] WAGNER, Vladimír. *Fukušima I poté*. Praha : Novela bohemia, 2015. ISBN 978-80-87683-45-3.
- [8] *ICRP 103: Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany*. Praha : SÚJB, 2009. ISBN 978-80-254-5225-7.
- [9] ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava : Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.
- [10] ŽÁČKOVÁ, Helena. Ionizující záření a míra rizika. *Rentgen bulletin*. září, 2009. Dostupné z: [https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg\\_bulletin\\_2009.pdf](https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg_bulletin_2009.pdf)
- [11] *Biologičeskije efekty malych doz ionizirujuščej radiacii i radioaktivnoje zagrjaznenije sredy : meždunarodnaja konferencija, Syktyvkar, 28 sentjabrja - 1 oktjabrja 2009 g. : materialy = Biological Consequences of Low-dose Radiation Contamination in the E. Syktyvkar* : Institut biologii Komi NC UrO RAN, 2009. ISBN 978-5-89606-391-9.

- [12] LITTLE, Mark P., et al. *Systematic Review and Meta-analysis of Circulatory Disease from Exposure to Low-Level Ionizing Radiation and Estimates of Potential Population Mortality Risks*. November 2012. Environ Health Perspect, Sv. 120. Dostupné z: <https://ehp.niehs.nih.gov/1204982/>.
- [13] SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost. *Stručný přehled biologických účinků záření*. [Online] 2017. [Citace: 7. únor 2017.] Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/>.
- [14] Radiobiologie. *Stochastické účinky*. [Online] 2017. [Citace: 4. leden 2017.] Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/7-kapitola/75/751.html>.
- [15] IOSJPE, M., JAWORSKA, A. *Modeling of low-dose radiation effects*. Praha : Manus, 2009. ISBN 978-80-86571-03-4.
- [16] PENHAKER, Marek. *Lékařské terapeutické přístroje*. Ostrava : VŠB -Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1558-9.
- [17] Kolektiv autorů. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha : Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. ISBN 80-238-3703-6.
- [18] —. *Vybrané kapitoly z molekulární patologie*. Hradec Králové : Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7232-329-7.
- [19] WATANABE, Masami et al. *Carcinogenesis by low dose radiation passes through the same route as natural carcinogenesis*. Praha : Manus, 2009. ISBN 978-80-86571-03-4.
- [20] ŠUTA, Miroslav. I nízké dávky radioaktivity mohou vyvolat u dětí leukémii nebo nádor mozku. *Temelin.cz*. [Online] 15. duben 2015. [Citace: 10. únor 2017.] Dostupné z: [http://temelin.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=648:nizkedavky&catid=45:bezpecnost-atomu&Itemid=92](http://temelin.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=648:nizkedavky&catid=45:bezpecnost-atomu&Itemid=92).
- [21] TURNER, James E. *Atoms, Radiation, and Radiation Protection*. Weinheim : Wiley-VCH, 2007. ISBN 978-3-527-40606-7.
- [22] Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. *Přírodní radioaktivita a problematika radonu*. [Online] 2000 - 2017. [Citace: 8. únor 2017.] Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/radprirodni-radioaktivita-a-problematika-radonu>.
- [23] KONEČNÝ, Jiří. *Radiační fyzika*. České Budějovice : Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2006. ISBN 80-7040-843-X.
- [24] Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. *Základní informace o RADONU*. [Online] 2000-2017. [Citace: 8. únor 2017.] Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace>.
- [25] DANIHELKA, Pavel et al. *Radon, neviditelné nebezpečí vašich domácností*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2128-3.

- [26] Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. *Podrobný popis uskutečněné české epidemiologické studie*. [Online] 2000-2017. [Citace: 7. únor 2017.] Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/zdravotni-ucinky-radonu/podrobny-popis-uskutecnene-ceske-epidemiologicke-studie>.
- [27] Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. *Více o zdravotních účincích RADONU*. [Online] 2000-2017. [Citace: 7. únor 2017.] Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/zdravotni-ucinky-radonu>.
- [28] Fakultní nemocnice v Motole. *Obecné informace o radioaktivitě a radiační ochraně*. [Online] 2012. [Citace: 7. únor 2017.] Dostupné z: <http://www.fnmotol.cz/kliniky-a-oddeleni/cast-pro-dospеле/klinika-nuklearni-mediciny-a-endokrinologie-uk-2-1/oddeleni-radiologicke-fyziky/obecne-informace-o-radioaktivite-a-radiacni-ochran/>.
- [29] PETROVÁ, Karla. Profesionální ozáření radiačních pracovníků ve zdravotnictví. *Rentgen bulletin*. Duben, 2012. Dostupné z: [https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg\\_bulletin\\_2012.pdf](https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg_bulletin_2012.pdf)
- [30] EKENDAHL, Daniela. Osobní dozimetrie. *Rentgen bulletin*. Duben, 2012. Dostupné z: [https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg\\_bulletin\\_2012.pdf](https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg_bulletin_2012.pdf)
- [31] HUDZIETZOVÁ, Jana et al. Radiační zátěž pracovníků na Klinice nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a FN Motol v letech 2006-2011. *Česká radiologie*. březen, 2013, Sv. 1, 67, stránky 87-94. ISSN 1210-7883.
- [32] HUDZIETZOVÁ, Jana et al. Zhodnocení průměrné roční efektivní dávky a průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce u personálu Kliniky nukleární medicíny Fakultní nemocnice Ostrava v letech 2006-2012. *Česká radiologie*. září, 2013, Sv. 3, 67, stránky 225-231. ISSN 1210-7883.
- [33] ABBOTT, Alison. Researchers pin down risks of low-dose radiation. *Nature*. 523, 2. červenec 2015, 7558, stránky 17-18. Dostupné z: <http://www.nature.com/news/researchers-pin-down-risks-of-low-dose-radiation-1.17876>
- [34] Správa úložišť radioaktivních odpadů. *Hlubinné úložiště radioaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva*. Praha: SÚRAO, 2011. ISBN 978-80-260-0120-1.
- [35] MIKA, Otakar J, ŘÍHA, Milan. *Ochrana obyvatelstva před následky použití zbraní hromadného ničení*. Brno : Námořní akademie České republiky s.r.o., 2011. ISBN 978-80-87103-31-9.
- [36] MATOUŠEK, Jiří, ÖSTERREICHER, Jan, LINHART, Petr. *CBRN Jaderné zbraně a radiologické materiály*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. ISBN 978-80-7385-029-6.
- [37] BOLSHOV, L., KHRIPUNOV, I., NIKONOV, D. *Social and Psychological Effects of Radiological Terrorism*. NATO science for peace and security series. E, Human and societal dynamics ; v. 29, Amsterdam : IOS Press, 2007. ISBN 978-1-58603-787-1.

- [38] Britské listy. *Co by způsobila "špinavá bomba"*. [Online] 31. leden 2003. [Citace: 7. únor 2007.] Dostupné z: <http://blisty.cz/art/12679.html>. ISSN 1213-1792.
- [39] DUFKOVÁ, Marie. Třípól e-zin popularizující vědu a techniku. *Špinavá bomba*. [Online] 16. duben 2016. [Citace: 7. únor 2017.] Dostupné z: <http://www.3pol.cz/cz/rubriky/bez-zarazeni/1847-spinava-bomba>. ISSN 2464-7888..
- [40] FIALA, Václav. Špinavá bomba! Šéfka pro jadernou bezpečnost Drábová věcně a zasvěceně o tom, čeho se máme obávat od Islámského státu a co s tím budeme dělat. *Krajské listy*. [Online] 23. červenec 2015. [Citace: 7. únor 2017.] Dostupné z: <https://www.krajskelisty.cz/praha/10241-spinava-bomba-sefka-pro-jadernou-bezpecnost-drabova-vecne-a-zasvecene-o-tom-ceho-se-mame-obavat-od-islamskeho-statu-a-co-s-tim-budeme-delat.htm>.
- [41] UNEP. *Ionizující záření: účinky a zdroje*. 2016. ISBN 978-92-807-3600-7. Dostupné z: [http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation\\_Czech\\_27\\_Dec\\_2016\\_Web.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation_Czech_27_Dec_2016_Web.pdf)
- [42] KEJŘOVÁ, Stanislava. *Dopady radioaktivního záření na lidský organismus a ochrana před ním*. Brno, 2012. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Fakulta pedagogická. Vedoucí práce Vladislav Navrátil.
- [43] HORÁKOVÁ, Daniela. *Ochrana lidské populace před účinky radioaktivních látek*. Pardubice, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Fakulta ekonomicko-správní. Vedoucí práce Petr Linhart. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/39169/HorakovaD\\_OchranaLidske\\_PL\\_2010.pdf;jsessionid=CFE390F749DD34A48D29D3AA5A1447D3?sequence=1](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/39169/HorakovaD_OchranaLidske_PL_2010.pdf;jsessionid=CFE390F749DD34A48D29D3AA5A1447D3?sequence=1)
- [44] SÚJB. *Nakládání s radioaktivními odpady (RAO)*. [Online] 25. duben 2017. [Citace: 25. duben 2017]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/nakladani-s-radioaktivnimi-odpady/>
- [45] Zákon č. 263/2016 Sb. atomový zákon
- [46] Sdělení MZV č. 171/1995 Sb. Dohoda mezi vládou České republiky a vládou Ruské federace o spolupráci v oblasti jaderné energetiky
- [47] KIZLINK, Juraj. Úložiště radioaktivních odpadů u nás i ve světě. *Odpady*. [Online] 6. červen 2012. [Citace: 25. duben 2017]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/uloziste-radioaktivnich-odpadu-u-nas-i-ve-svete/>
- [48] LACIOK, A., MARKOVÁ, L., VOKÁL, A. Co s vyhořelým jaderným palivem. *Vesmír*. 2000, 79(4), 190. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/co-s-vyhorelym-jadernym-palivem>
- [49] SÚRAO. *Proč hlubinné úložiště*. [Online] 11. červen 2015. [Citace: 25. duben 2017]. Dostupné z: <https://www.surao.cz/hlubinne-uloziste/proc-hlubinne-uloziste>

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1</b> Znázornění vztahu dávky a účinku u rizika zhoubného onemocnění pro velmi nízké, nízké a střední dávky [6] .....	16
<b>Obrázek 2</b> Zdroje záření a celková zátěž na obyvatelstvo ČR [22] .....	27
<b>Obrázek 3</b> Expozice ionizujícímu záření a platné limity v ČR [26].....	27

## 11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

<b>Tabulka 1</b> Terminologie a rozmezí dávek záření s nízkým LET [5] .....	11
<b>Tabulka 2</b> Hodnocení rizika při ozáření malými dávkami v rámci radiační ochrany [10] ..	13
<b>Tabulka 3</b> Nominální koeficienty rizika vztažené k újmě pro stochastické účinky záření s malým dávkovým příkonem [14] .....	14
<b>Tabulka 4</b> Roční efektivní dávky za rok 2000 z přírodního pozadí [21] .....	29
<b>Tabulka 5</b> Efektivní dávky z přírodního pozadí [7] .....	29
<b>Tabulka 6</b> Příčiny a počet úmrtí ve srovnání s působením radonu [25] .....	31
<b>Tabulka 7</b> Roční efektivní dávky za rok 2000 z umělých zdrojů [21] .....	32
<b>Tabulka 8</b> Efektivní dávky spojené s některými činnostmi [7] [28] .....	34
<b>Tabulka 9</b> Odvozené limity [28] .....	35
<b>Tabulka 10</b> Místa, kde jsme získávali respondenty .....	43
<b>Tabulka 11</b> Domovy pro seniory, kde vedení zamítlo uskutečnění šetření .....	44
<b>Tabulka 12</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 1 .....	46
<b>Tabulka 13</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 2 .....	47
<b>Tabulka 14</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 3 .....	49
<b>Tabulka 15</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 4 .....	51
<b>Tabulka 16</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 5 .....	53
<b>Tabulka 17</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 6 .....	54
<b>Tabulka 18</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 7 .....	56
<b>Tabulka 19</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 8 .....	58
<b>Tabulka 20</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 9 .....	60
<b>Tabulka 21</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 10 .....	62
<b>Tabulka 22</b> Návrhy respondentů na řešení problematiky radioaktivního odpadu .....	63
<b>Tabulka 23</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 11 .....	64
<b>Tabulka 24</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 12 .....	65
<b>Tabulka 25</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 13 .....	67
<b>Tabulka 26</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 14 .....	68
<b>Tabulka 27</b> Poměr pohlaví respondentů .....	69
<b>Tabulka 28</b> Věkové kategorie respondentů .....	70
<b>Tabulka 29</b> Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů .....	71
<b>Tabulka 30</b> Město vyplnění dotazníku respondenty .....	72



## 12 SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

<b>Graf 1</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 1 .....	45
<b>Graf 2</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 2 .....	47
<b>Graf 3</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 3 .....	48
<b>Graf 4</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 4 .....	50
<b>Graf 5</b> Poměr odpovědí mužů a žen, kteří se maximálně obávají nebo pocítují velké obavy .....	51
<b>Graf 6</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 5 .....	52
<b>Graf 7</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 6 .....	54
<b>Graf 8</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 7 .....	55
<b>Graf 9</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 8 .....	57
<b>Graf 10</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 9 .....	59
<b>Graf 11</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 10 .....	61
<b>Graf 12</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 11 .....	64
<b>Graf 13</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 12 .....	65
<b>Graf 14</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 13 .....	66
<b>Graf 15</b> Vyhodnocení odpovědí na otázku 14 .....	67
<b>Graf 16</b> Pohlaví respondentů .....	68
<b>Graf 17</b> Věkové kategorie respondentů .....	69
<b>Graf 18</b> Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů .....	70
<b>Graf 19</b> Město vyplnění dotazníku respondenty .....	71

## 13 SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha 1</b> Vzor dotazníkového šetření.....	99
--	----



---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
**Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

---

**Dobrý den,**

**jmenuji se Bc. Jana Vaňková a jsem studentkou Českého vysokého učení technického, Fakulty biomedicínského inženýrství studijního oboru Ochrana obyvatelstva. Tento dotazník je podkladem mé diplomové práce na téma Analýza současných poznatků o vlivu malých radiačních dávek na lidský organismus, jehož vyplněním mi pomůžete k získání potřebných dat, které dále statisticky zpracuji. Zpracování dat proběhne v agregované podobě a dotazník je samozřejmě plně anonymní. Po vyplnění dotazníku, který vám zabere asi 10 minut, vhod'te, prosím, dotazník do připraveného sběrného boxu umístěného na chodbě či ve Vaší blízkosti.**

**Na konci dotazníku, prosím, doplňte Vaše údaje důležité pro vyhodnocení nasbíraných informací ze sociodemografického hlediska. Dotazník tvoří několik otázek, u kterých je možné zaškrtnout jednu či více možností. U jedné otázky je potřeba vybrat číslici na vytvořené škále, která reprezentuje míru Vašeho názoru. Každá otázka je doplněna pokynem, který Vás vyplněním dotazníku provede.**

**S ohledem k účelu průzkumu Vás prosím o maximální otevřenost při vyplňování a výběru odpovědí, které reprezentují Vaše názory.**

***Děkuji za Váš čas a ochotu věnovanou dotazníku!***

## OTÁZKOVÁ ČÁST

**Ot1.** Které z následujících výroků jsou, **podle Vašeho názoru, pravdivé?**

*POKYN: Možnost více odpovědí.*

1:	radioaktivní záření snadno prochází lidským tělem
2:	radioaktivní záření je pro lidské oko neviditelné
3:	radioaktivní záření představuje pro lidský organismus nebezpečí
4:	žádný z těchto výroků není pravdivý
5:	nevím, nikdy jsem o tom nepřemýšlel/a

**Ot2.** Je, **podle Vašeho názoru, následující výrok pravdivý?** Pokud stojíte co nejdále od zdroje radioaktivního záření, klesá jeho intenzita.

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	ano, výrok je pravdivý
2:	ne, výrok je nepravdivý
3:	nevím

**Ot3.** Jaké jsou, **podle Vašeho názoru, možné negativní účinky** radioaktivního záření na lidský organismus?

*POKYN: Možnost více odpovědí.*

1:	poškození kůže (podobné popáleninám)
2:	vznik zhoubných nádorů
3:	genetické změny
4:	poškození vývoje plodu
5:	nemá žádné negativní účinky
6:	nevím, nejsem si jistý/á

**Ot4. Do jaké míry se obáváte** následků radioaktivního záření, když podstupujete rentgenové vyšetření?

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	vůbec se neobávám
2:	pocituji mírné obavy
3:	pocituji střední obavy
4:	pocituji velké obavy
5:	maximálně se obávám

**Ot5. Prosím, označte, který z následujících výroků je, podle Vašeho názoru, pravdivý:**

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	největší radiační zátěž pro člověka představuje přírodní prostředí, a to kvůli přítomnosti radonu
2:	největší radiační zátěž pro člověka představuje všudypřítomné záření z kosmu, tzv. kosmické záření
3:	největší radiační zátěž pro člověka představuje lékařské ozáření (např. při RTG vyšetření)
4:	žádný těchto výroků není pravdivý
5:	nevím, nikdy jsem o tom nepřemýšlel/a

**Ot6. Rozhodněte, zda je následující výrok pravdivý:** „Při letu letadlem není lidský organismus zatížen radioaktivním zářením“.

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	ano, výrok je pravdivý	<b><i>POKRAČUJTE NA OTÁZKU 8</i></b>
2:	ne, výrok je nepravdivý	<b><i>POKRAČUJTE NA OTÁZKU 7</i></b>
3:	nevím	<b><i>POKRAČUJTE NA OTÁZKU 8</i></b>

**Ot7. Jak velkou zátěž** pro člověka, podle Vašeho názoru, představuje sedmihodinový let z Evropy do USA?

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	odpovídá jednomu rentgenovému vyšetření lebky
2:	odpovídá dvěma rentgenovým vyšetřeními plic
3:	odpovídá jednomu CT vyšetření břicha
4:	neodpovídá žádnému z uvedených vyšetření – je výrazně nižší
5:	neodpovídá žádnému z uvedených vyšetření – je výrazně vyšší
6:	nevím, nejsem si jistý/á

**Ot8. Co, podle Vašeho názoru, znamená pojem tzv. špinavá bomba?**

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	zbraň obsahující chemickou látku
2:	zbraň obsahující biologickou látku
3:	atomová bomba
4:	zbraň obsahující radiologickou látku
5:	nevím, nikdy jsem pojem neslyšel/a
6:	žádné z uvedených

**Ot9. Souhlasíte s výstavbou jaderného (hlubinného) úložiště na území České republiky?**

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	Ano. Je to dobrý nápad, máme jaderné elektrárny, zdravotnictví využívající zdroje ionizujícího záření, radioaktivní odpad se musí skladovat.
2:	Ano. Je to dobré řešení, vzniknou nová pracovní místa.
3:	Neprotestoval bych proti jeho vybudování v blízkosti mého bydliště, dnešní věda a technické zabezpečení je na takové úrovni, že možnost ohrožení obyvatelstva radioaktivním zářením je vyloučena.
4:	Ne. Nelíbí se mi to, zničí to ráz krajiny.
5:	Ne. Nelíbí se mi to, bojím se účinků radioaktivního odpadu.
6:	Nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom.

**Ot10. Do jaké vzdálenosti od Vašeho obydlí byste akceptovali výstavbu hlubinného úložiště?**

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	do 1 km
2:	1 km – 10 km
3:	10 km – 50 km
4:	50 km a více
5:	Nepřeji si, aby se hlubinné úložiště vyskytovalo v České republice. Navrhuji jiné řešení při nakládání s jaderným odpadem. Uveďte jaké:

**Ot11. Byli byste ochotni pracovat v hlubinném úložišti, za předpokladu vysoké úrovně bezpečnosti a nadstandardního platového ohodnocení?**

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	ano
2:	ne
3:	nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom.

**Ot12. Upřednostňujete vodní elektrárny před jadernými, i za cenu zničení části krajiny a ovlivnění klimatu?**

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	ano
2:	ne
3:	nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom.

**Ot13. Jaký je Váš názor na rozšiřování jaderných elektráren, za předpokladu využití moderních technologií?**

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	nelíbí se mi to
2:	nevadí mi to
3:	je mi to jedno
4:	nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom

**Ot14. Myslíte si, že by bylo dobré, aby ze zdravotnictví vymizely všechny zdroje ionizujícího záření?**

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	ano, pouze přispívají k radiační zátěži lidského organismu
2:	ne, tyto zdroje jsou velice významné v diagnostice a léčbě onemocnění
3:	nevím, nepřemýšlel/a jsem o tom



## SOCIODEMOGRAFICKÉ HLEDISKO

### R1. Pohlaví:

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	žena
2:	muž

### R2. Věková kategorie:

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	19 a méně
2:	20-30
3:	31-40
4:	41-50
5:	51-60
6:	61 a více

### R3. Nejvyšší dosažené vzdělání:

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	základní škola
2:	střední škola bez maturity
3:	střední škola s maturitou
4:	vyšší odborná škola
5:	vysoká škola

### R4. Město, kde byl dotazník vyplněn:

*POKYN: Možnost pouze jedné odpovědi.*

1:	Domažlice
2:	Plzeň