Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta

Znalosti obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie v jaderné elektrárně Černobyl

diplomová práce

Autor práce: Bc. Luboš Jaroš
Studijní program: Civilní nouzová připravenost
Studijní obor: Ochrana obyvatelstva

Vedoucí práce: doc. Dr.rer.nat. Friedo ZÖLZER

Datum odevzdání práce: 20. 5. 2013

Prohlášení

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

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

V Českých Budějovicích dne 20. 5. 2013 …….

Bc.Luboš Jaroš

Poděkování

Touto cestou chci poděkovat doc. Dr. rer. nat. Friedo Zőlzerovi za vedení a odbornou konzultaci při zpracování této diplomové práce.

Abstrakt

Znalosti obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie v jaderné elektrárně Černobyl.

Havárie jaderné elektrárny Černobyl je doposud považována za největší tragickou událostí v historii jaderné energetiky. Po výbuchu jaderného reaktoru se do ovzduší uvolnilo velké množství radioaktivních látek, které v podobě radioaktivního mraku zasáhly i území bývalé ČSSR. Na nastalou situaci stranické a státní orgány reagovaly zřízením vládní havarijní komise, která pod tehdejším politickým tlakem ve svých vyjádřeních úmyslně usměrňovala informace obyvatelstvu o rizicích a důsledcích havárie na československou populaci. Selhání režimu navodilo nejen krizi nedůvěry obyvatelstva v oficiální informační zdroje a média, ale i rostoucí snahu dobrat se informací i z neoficiálních a z hlediska režimu ilegálních zdrojů. Černobylská tragédie zaznamenala ještě jeden důležitý fakt, kterým se stala nedůvěra k jaderné energetice. A právě dostavba a spuštění jaderné elektrárny Temelín vyvolala další vlnu zájmu o informace týkající se černobylské havárie. Jak rozsáhlé a jak objektivní znalosti mají obyvatelé ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie v jaderné elektrárně Černobyl v současné době, jsem se rozhodl ověřit ve své diplomové práci.

Pro svou práci jsem si určil tyto cíle - a) vypracovat přehled účinků radioaktivního záření na člověka a následků způsobených únikem radioaktivních látek při havárii jaderné elektrárny Černobyl, b) provést analýzu znalostí u obyvatel žijících v České republice o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Černobyl a c) provést porovnání znalostí o radiačních rizicích havárie elektrárny Černobyl mezi obyvatelstvem žijícím v zóně havarijního plánování Jaderné elektrárny Temelín a obyvatelstvem žijícím mimo zónu havarijního plánování.

Vzhledem k předpokládanému stavu jsem stanovil následující hypotézy:

H1: Obyvatelé České republiky mají dostatečné znalosti o radiačních rizicích vyplývajících z havárie v jaderné elektrárně Černobyl.

H2: Obyvatelé v zóně havarijního plánování Jaderné elektrárny Temelín mají větší znalosti o radiačních rizicích než obyvatelé žijící mimo zónu havarijního plánování.

Dané téma jsem zpracoval pomocí dostupné odborné literatury, internetových zdrojů a souhrnných zpráv vydaných institucemi, které se danou problematikou zabývají. Jedná se především o Státní úřad pro jadernou bezpečnost a Státní ústav radiační ochrany. V úvodní části předkládám přehled jednotlivých radiobiologických účinků ionizujícího záření na organismus člověka a uvádím přehled zdravotních potíží a onemocnění způsobené radiačním ozářením. V další části se věnuji černobylské havárii, kde popisuji průběh celého experimentu, který vedl ke vzniku havárie a dále vlastnostmi a šířením uniklých radioaktivních látek po výbuchu reaktoru. V této části též uvádím výsledky dlouhodobých studií zabývající se havárií způsobeným zdravotním následkům u zasaženého obyvatelstva . Poslední kapitola v teoretické části zahrnuje dopady havárie elektrárny Černobyl na území České republiky.

Zjištění stavu informovanosti obyvatel České republiky o radiačních rizicích vyplývajících z jaderné havárie Černobyl jsem provedl formou dotazníkového šetření, při kterém bylo osloveno celkem 200 respondentů. Pro podrobnější průzkum jsem obyvatele ČR dále rozdělil na dvě skupiny. První skupina byla složena z obyvatel žijících v zóně havarijního plánování Jaderné elektrárny Temelín, kteří tvoří polovinu z oslovených a druhou skupinu tvoří obyvatelé žijící v oblastech mimo zónu havarijního plánování. Otázky v dotazníku jsem sestavil tak, aby danou problematiku zahrnovaly v celé její šíři, od znalostí rizik vzniklých při havárii a úniku radioaktivních látek až po jejich účinky na zdraví člověka a opatření pro snížení dopadu na obyvatelstvo České republiky.

Odpovědi respondentů k jednotlivým odpovědím jsem vyhodnotil a sestavil do tabulek. U každé otázky jsem provedl procentuální vyhodnocení správných a špatných odpovědí, výpočet celkového průměru získaných bodů a celkové procentuální úspěšnosti. Vyhodnocení znalostí u všech obyvatel ČR jsem provedl na základě hodnot celkového průměru získaných bodů a procentuální úspěšnosti. Statistické hodnocení jsem provedl testováním normality použitím $\chi 2$- testu dobré shody. Vzájemné porovnání znalostí mezi sledovanými skupinami jsem provedl testováním za pomoci dvouvýběrového t-testu na základě odhadu empirických parametrů z každé skupiny.

Na základě vyhodnocení výsledků dotazníkového šetření, mohu bez obav prohlásit, že znalosti u obyvatelstva ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie v jaderné elektrárně Černobyl jsou na dobré úrovni. Výsledky též prokázaly, že u obyvatelstva v zóně havarijního plánování jaderné elektrárny Temelín jsou větší znalosti o radiačních rizicích vyplývajících z havárie v Černobylu, než u obyvatel žijících ve zbylé části České republiky.

Na závěr lze konstatovat, že všechny předem určené cíle se podařilo úspěšně splnit a výsledky dotazníkového šetření potvrdily obě zadané hypotézy.

Abstract

The knowledge of the population of the Czech Republic about the radiation risks resulting from accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant.

The Chernobyl disaster is still considered to be one of the biggest catastrophic accidents in the history of nuclear energetics. After the explosion of the nuclear reactor, abundance of radioactive substance escaped to the atmosphere and in the shape of the radioactive cloud affected even the area of the former Czechoslovak Socialist Republic. Political parties and state authorities reacted on this situation by setting up the state committee, which under political pressure intentionally concealed the information about the risks and consequences of the disaster for the Czechoslovak population. The collapse of the regime not only revealed the crisis of the mistrust to the official sources of information, but also improved the effort of getting information from unofficial and, according to regime, illegal sources. The Chernobyl disaster also caused the mistrust to nuclear energetics. Therefore construction and initiation of the Temelín nuclear power station elicited the interest to the information about The Chernobyl disaster. I have decided to authenticate in my thesis, how well the residents of the Czech Republic are familiar with the Chernobyl disaster and how objective their knowledge about the radiological risks arising from the Chernobyl disaster at present are.

I have assigned the following goals for my task - a) creating the overview of the impacts of the radiation on humans and consequences of the escaping of the radioactive substances caused by the Chernobyl disaster, b) analysing the knowledge of the residents of the Czech Republic about the radiological risks arising from the Chernobyl disaster and c) comparing the knowledge about the radiological risks of the Chernobyl disaster between inhabitants living in the zone of the disaster preparedness and those who live of zone of the disaster preparedness.

After comparing with notional condition, I have determined the following hypothesis:

H1: The residents of the Czech Republic have sufficient knowledge about the radiological risks arising from the Chernobyl disaster.

H2: The inhabitants of the zone of the disaster preparedness of the Temelín nuclear power station have greater knowledge about radiological risks than those who live of the zone of the disaster preparedness.

I have compiled a given theme by means of available literature, internet sources and overall information issued by institutions dealing with the given problems. Above all, they are the State Office for Nuclear Safety and National Radiation Protection Institute. In introduction I present an overview of the single radiobiological impacts of ionizing radiation on the human organism and provide an overview of the ailments and illnesses caused by radiation. In the next part, I pay my attention on the Chernobyl disaster, where I describe the course of the whole experiment, which led to the origin of the disaster and then I deal with the properties and spread of the escaped radioactive substances after the explosion of the reactor. In this part I also give the results of the long-lasting studies dealing with the consequences for the health caused by the disaster. The last chapter in the theoretical part includes the information about the impacts of the Chernobyl disaster on the area of the Czech Republic.

I found out the state of the foreknowledge of the residents of the Czech Republic about the radiological risks arising from the Chernobyl disaster by means of questionnaires, where 200 respondents were interviewed. For more detailed research, I divided the residents of the Czech Republic into two groups. The first one consisted of the inhabitants that live in the zone of the disaster preparedness of the Temelín nuclear power station and comprise one half of respondents. The second group consisted of the inhabitants that live of the zone of the disaster preparedness. I drew up questions in the questionnaire in order to include the given problems completely – from the knowledge about the risks arising from the disaster and emission of the radioactive substances to their consequences for human's health and the way of reduction their impacts on the population of the Czech Republic.

I evaluated the answers from the respondents to the single answers and drew up the tables. I accomplished them by the percentage evaluation of the right and wrong answers, computation of total mean of the achieved points and the total percentage success rate. The evaluation of the knowledge of the respondents of the Czech Republic

was accomplished on the basis of the value of total mean of the achieved points and percentage success rate. I did a statistical evaluation by testing normality using $\chi 2$ Pearson's chi-squared test. The mutual comparison of the knowledge I did by testing by means of the two-sample t-test on the basis of the guess of the empirical parameters from each group.

On the basis of this evaluation of the results of the questionnaire I can declare that the knowledge of the residents of the Czech Republic about the radiological risks arising from the Chernobyl disaster are at a very good level. The results also proved that inhabitants of the zone of the disaster preparedness of the Temelín nuclear power station have greater knowledge about the radiological risks arising from the Chernobyl disaster than the rest of the Czech Republic.

It can be observed in the conclusion that all predetermined aims were successfully achieved and the results of the questionnaire also proved the assigned hypothesis.

Obsah

Seznam zkratek 12

Úvod 13

1 Teoretická část 14

1.1 Výklad pojmů, jednotek a veličin 14

1.2 Radiobiologické účinky ionizujícího záření 17

1.2.1 Stádia účinků ionizujícího záření na živou hmotu 17

1.2.2 Zásahová a radikálová teorie radiačního účinku 19

1.2.3 Molekulární mechanizmy účinku záření 20

1.2.4 Účinky záření na buňky 21

1.2.5 Orgánová postižení v závislosti na času, dávce a biologickém účinku 22

1.2.6 Deterministické (nestochastické) projevy poškození organismu 25

1.2.7 Pozdní stochastické účinky na organismus 28

1.2.8 Postižení zárodku a plodu 31

1.3 Ozáření radioaktivními látkami při jaderné havárii 32

1.3.1 Radioaktivní látky v jaderném reaktoru 32

1.3.2 Cesty expozice lidí při úniku radioaktivních látek 34

1.3.3 Významné radioizotopy a jejich vlastnosti 36

1.4 Havárie jaderné elektrárny Černobyl 38

1.4.1 Jaderná elektrárna Černobyl 38

1.4.2 Reaktorový blok s reaktorem RBMK – 1000 39

1.4.3 Plánovaný průběh experimentu 40

1.4.4 Popis událostí vedoucích ke vzniku havárie 41

1.4.5 Únik a šíření radioaktivních látek z havarovaného reaktoru 43

1.4.6 Zdravotní následky černobylské havárie 45

1.5 Dopady havárie na území České republiky 52

1.5.1 Radiační situace v České republice 54

1.5.2 Opatření na ochranu obyvatelstva po černobylské havárii 64

2 Hypotéza a metodika výzkumu 68

2.1 Metodika výzkumu 68

2.2 Hypotézy ... 69
3 Výsledky ... 70
3.1 Vyhodnocení opovědí dotazníkového šetření ... 70
3.2 Statistiké šetření výsledků znalostí u obyvatel ČR ... 73
3.3 Porovnání skupin - dvojvýběrové parametrové testování ... 75
4 Diskuze ... 85
5 Závěr ... 95
6 Použitá literatura ... 96
7 Klíčová slova ... 102

Seznam zkratek

AMAD	Aktivitní medián aerodynamického průměru
ČR	Česká republika
ČSSR	Československá socialistická republika
ETE	Elektrárna Temelín
ICRP	Mezinárodní organizace radiační ochrany
IQ	Inteligenční quocient
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
RBMK	Kanálový reaktor vysokého výkonu
SI	Mezinárodně smluvená soustava jednotek fyzikálních veličin
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
UNSCEAR	Vědecký výbor Spojených národu pro účinky atomového záření
ZHP	Zóna havarijního plánování

Úvod

Černobylská tragická havárie z 26.dubna 1986 vzbudila bezprostřední a konkrétní obavy v celé Evropě. Jak se ukázalo, šlo o obavy oprávněné, neboť se jednalo o nejzávažnější havárii v dosavadní historii mírového využití jaderné energie. Obyvatelé tehdejšího Československa však díky politické propagandě a utajování informací po havárii prožívali období nejistoty a obav z možných následků. Je faktem, že do té doby u nás veřejnost bezpečnost jaderných elektráren nijak neřešila. Jaká je současná situace jsem rozhodl zjistit vypracováním své diplomové práce na téma „Znalosti obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie v jaderné elektrárně Černobyl“.

Ve své práci jsem stanovil mezi cíle vypracovat přehled účinků a následků ozáření způsobených únikem radioaktivních látek při havárii jaderné elektrárny Černobyl. Provést analýzu znalostí u obyvatel žijících v České republice o radiačních rizicích vyplívajících z havárie jaderné elektrárny Černobyl. Dále provést porovnání znalostí o radiačních rizicích havárie elektrárny Černobyl mezi obyvatelstvem žijícím v zóně havarijního plánování Jaderné elektrárny Temelín a obyvatelstvem žijícím mimo zónu havarijního plánování.

V úvodní části předkládám přehled jednotlivých radiobiologických účinků ionizujícího záření na organismus člověka a uvádím přehled zdravotních potíží a onemocnění způsobené radiačním ozářením. V další části se věnuji černobylské havárii, kde popisuji průběh celého experimentu, který vedl ke vzniku havárie a dále vlastnostmi a šířením uniklých radioaktivních látek po výbuchu reaktoru. V této části též uvádím výsledky dlouhodobých studií zabývající se zdravotní následky způsobené havárií. Poslední kapitola v teoretické části zahrnuje dopady havárie elektrárny Černobyl na území České republiky.

Hlavním cílem práce bylo zjistit rozsah znalostí obyvatel České republiky o radiačních rizicích vyplívajících z jaderné havárie v Černobylu. Pro zjištění jsem použil metodu dotazníkového šetření, ze kterého jsem získané výsledky vyhodnotil a statisticky zpracoval. Doufám, že pro čtenáře bude tato práce přínosem a obohacením znalostí, které souvisejí z radiačními riziky a havárií jaderné elektrárny Černobyl.

1 Teoretická část

1.1 Výklad pojmů, jednotek a veličin

Radioaktivita – radioaktivita je jev, kdy dochází k samovolné přeměně atomových jader, přičemž je emitováno ionizující záření (1).

Ionizující záření – záření, jehož kvanta mají natolik vysokou energii, že jsou schopna vyrážet elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat. Záření, které doprovází radioaktivní přeměnu látek (1).

- ***Záření alfa*** je složeno z jader helia (částice alfa). Částice alfa je složena ze dvou protonů a dvou neutronů, nese dva kladné náboje. Vyznačuje se vysokou ionizační schopností, tj. schopností vytvářet velký počet párů elektron-iont podél své dráhy letu látkou. Dosah alfa částic je velmi krátký, ve vzduchu několik centimetrů, v tkáni desítky mikrometrů (2).
- ***Záření beta*** jsou částice (elektrony nebo pozitrony), které jsou vysílány radioaktivními jádry prvků při přeměně beta. Nesou kladný nebo záporný elektrický náboj a jejich pohyb může být ovlivňován elektrickým polem. Pronikavost je větší než u alfa částic (dosah ve vzduchu okolo 1 metru) (3).
- ***Záření gama*** je složeno z proudu fotonů (elektromagnetické záření). Je výrazně pronikavější než alfa a beta záření, ve vzduchu má dosah i několik metrů, v tkáni centimetry. K jeho odstínění je zapotřebí materiál o vysoké hustotě (kov, beton) (2).

Aktivita (A) - počet radioaktivních přeměn radionuklidu za jednotku času, množství koncentrace radionuklidu v nějaké látce se podle potřeby vyjadřuje odvozeně hmotnostní aktivitou, objemovou aktivitou nebo plošnou aktivitou (4).

Becquerel (Bq) – jednotka pro aktivitu v soustavě SI, jeden becquerel (Bq) se rovná jedné reciproké sekundě a odpovídá průměrně jedné přeměně za sekundu. Starší jednotka curie (Ci), 1Ci je rovna $3{,}7.10^{10}$ Bq. Hmotnostní aktivita se udává v $Bq.kg^{-1}$, objemová v $Bq.m^{-3}$ a plošná v $Bq.m^{-2}$ (5).

***Dávka (D)* –** množství energie předané určité látce ionizujícím záření v objemu jednotkovou hmotností, míra účinku ionizujícího záření (4).

***Gray (Gy)* –** jednotka pro dávku ionizujícího záření v soustavě SI. Jeden gray je roven jednomu joulu připadajícímu na jeden kilogram ($J.kg^{-1}$) (4).

***Ekvivalentní dávka (H_T)* -** ekvivalentní dávka zohledňuje různé účinky různých druhů záření na živou tkáň. Je to součin dávky $D_{T,R}$ a radiačního váhového součinitele w_R. Radiační váhový součinitel vyjadřuje závažnost působení konkrétního druhu záření (viz. tabulka 1). Jednotkou ekvivalentní dávky je 1 Sv (Sievert) (6).

Tabulka 1 - Hodnoty radiačních váhových součinitelů dle doporučení ICRP.

Druh záření	**Radiační váhový součinitel**
Záření beta, gama, RTG	1
Neutrony	5 – 20 (dle energie)
Protony	5
Záření alfa	20

Zdroj: Publikace 103, Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany (7)

Efektivní dávka (E) – efektivní dávka zohledňuje míru rizika stochastických účinků při nerovnoměrném ozáření, přičemž je brána v úvahu různá citlivost různých orgánů a tkání na ozáření. Efektivní dávka je součtem součinů tkáňových váhových součinitelů w_T (viz. tabulka 2) a ekvivalentních dávek H_T v ozářených orgánech nebo tkáních (6).

Tabulka 2 - Hodnoty tkáňových váhových součinitelů dle doporučení ICRP.

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

Zdroj: Publikace 103, Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany (7)

***Sievert (Sv)* –** název pro jednotku ekvivalentní dávky, efektivní dávky a operačních dávkových veličin. Vyjadřuje podíl množství absorbované energie v určité hmotnosti a

v závislosti na daném druhu ionizujícího záření. Odpovídající jednotkou v soustavě SI je $J.kg^{-1}$ (7).

Úvazek efektivní dávky E(τ), popřípadě ***úvazek ekvivalentní dávky $H_T(\tau)$*** – časový integrál efektivní dávky, popřípadě ekvivalentní dávky odpovídající po.dobu τ od příjmu radionuklidu. Není-li uvedeno jinak, činí doba τ pro dospělé 50 roků a pro děti 70 roků. Úvazky se pak vztahují k příjmu za dané období - podle typu ozáření a z toho vycházející metody monitorování vnitřní kontaminace (8).

Poločas rozpadu ($T_{1/2}$) – míra rychlosti, se kterou se radionuklid přeměňuje na jiný nuklid; doba, za kterou z původního počtu radioaktivních jader zbude jejich polovina.

Nuklid – nuklidy jsou atomy téhož prvku se stejným počtem protonů a neutronů v atomovém jádře (9).

Radionuklid – nestabilní, samovolně se přeměňující izotop chemického prvku za vyzáření energie v podobě ionizujícího záření (9).

Izotop – izotopy jsou atomy jednoho prvku lišící se nukleonovým číslem, tzn., že mají v jádře stejný počet protonů, ale různý počet neutronů (9).

Limity ozáření – jsou závaznými kvantifikovanými ukazateli pro celkové ozáření z radiačních činností, jejichž překročení není ve stanovených případech přípustné (8). Souhrn všech platných limit je uveden v tabulce 3.

Tabulka 3 - Limity ozáření.

Limitovaná veličina	Obecný limit	Limit pro radiační pracovníky	Limity pro učně a studenty
součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření	1 mSv/rok	100 mSv/5 roků 50 mSv/rok	6 mSv/rok
ekvivalentní dávka v oční čočce	15 mSv/rok	150 mSv/rok	50 mSv/rok
průměr. ekvivalentní dávka v $1cm^2$	50 mSv/rok	500 mSv/rok	150 mSv/rok
ekvivalentní dávka v prstech až předloktí a v chodidlech až po kotníky	-	500 mSv/rok	150 mSv/rok

Zdroj: Vyhláška SÚJB 307/2002 Sb. o radiační ochraně (8)

1.2 Radiobiologické účinky ionizujícího záření

1.2.1 Stádia účinků ionizujícího záření na živou hmotu

Fyzikální stadium

Při interakci kvanta ionizujícího záření s hmotou je energie záření předávána především orbitálním elektronům v atomech za vzniku ionizace a excitace**.** Pokud mají uvolněné elektrony dostatečně vysokou energii, mohou vytvářet celou kaskádu excitací a ionizací dalších atomů. Při absorbované dávce 1 Gy v tkáni se vytváří přibližně 10^5 ionizací v objemu každé ozářené buňky (o typické velikosti cca 10 μm). Tento primární proces je velmi rychlý (prakticky okamžitý, rychlost kvant je rovna nebo blízká rychlosti světla), trvá jen cca 10^{-16}až 10^{-14} sekundy (10).

Fyzikálně-chemické stádium

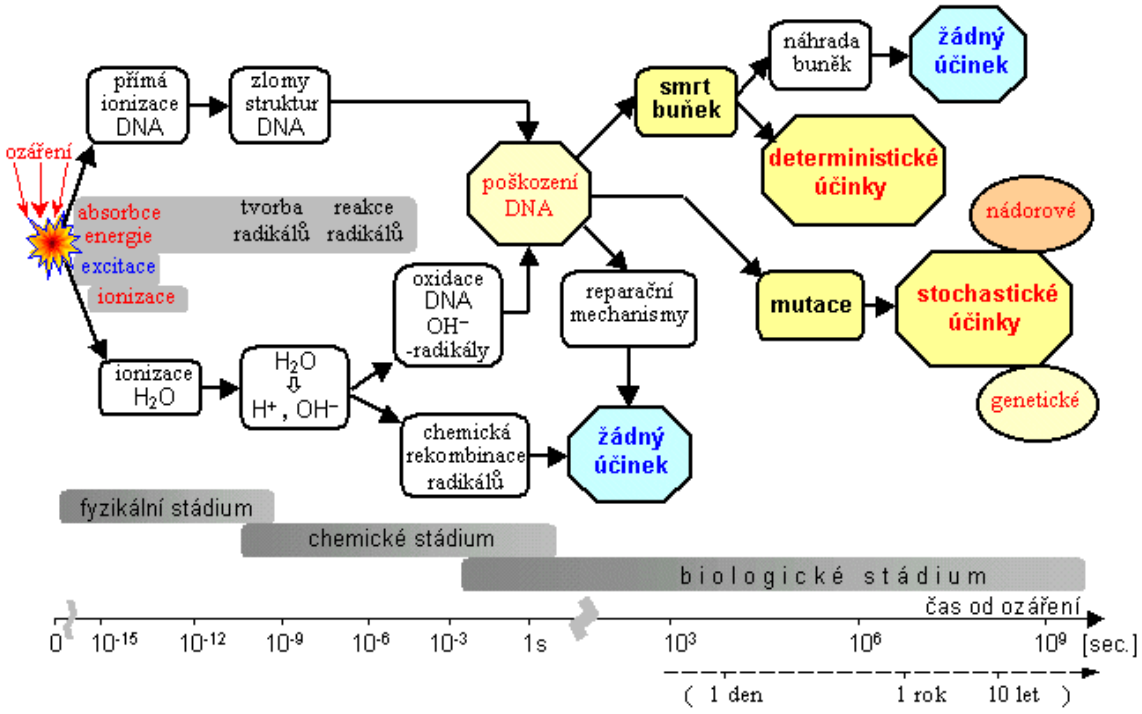
Ionizace a excitace vedou k narušení chemických vazeb mezi atomy a molekulami. Nastávají sekundární fyzikálně-chemické procesy interakce iontů s molekulami, při nichž dochází k disociaci molekul a vzniku volných radikálů. I tento proces je velmi rychlý, netrvá déle než 10^{-14} až 10^{-10} sekundy (10).

Chemické stádium

Vzniklé ionty, radikály, excitované atomy a další produkty reagují s biologicky důležitými organickými molekulami ("atakují" molekuly DNA, RNA, enzymů, proteinů) a mění jejich složení a funkci. Typickou poruchou na molekulární úrovni jsou zlomy řetězců v molekule DNA - buď zlom jen jednoho vlákna cukro-fosfátového řetězce, nebo úplný zlom dvojvlákna DNA. Dále mohou vznikat poškození purinových a pyrimidinových bazí, atypické vazbové "můstky" (*cross-linky*) uvnitř dvouvlákna DNA, lokální denaturace a další chemické změny. Jednotlivé "*genotoxické*" procesy tohoto chemického stádia trvají různě dlouhou dobu - od tisícin sekundy do řádově jednotek sekundy, v závislosti na transportní době reaktivních složek z místa svého vzniku do místa lokalizace napadené biomolekuly (10).

Biologické stádium

Molekulární změny v biologicky důležitých látkách (v DNA, enzymech, proteinech) mohou vyústit ve funkční a morfologické změny v buňkách, orgánech i v organismu jako celku. Časová délka této fáze se pohybuje od několika sekund na buněčné úrovni, až po léta na úrovni celého organismu. Různorodost a delší časové rozvržení biologických změn souvisí se složitostí biochemických a metabolických pochodů v živých organismech a s působením řady zpětnovazebních mechanismů. Na úrovni celého organismu se biologické stádium při vysokých dávkách záření může somaticky projevit již po několika desítkách minut, při středních dávkách během několika dní - akutní poškození či nemoc z ozáření v důsledku zničení velkého počtu buněk. Při nízkých dávkách může však zahrnovat dobu latence několika let nebo i desítek let (pozdní stochastické účinky) (10).



Obrázek 1 - Schéma význačných procesů a jejich časové posloupnosti účinků ionizujícího záření na živou tkáň

Zdroj: http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm (11)

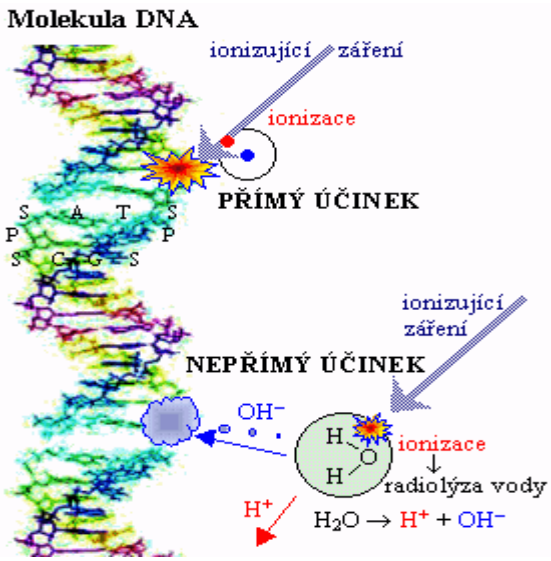
1.2.2 Zásahová a radikálová teorie radiačního účinku

Zásahové teorie „přímého účinku“

Dochází k poškození části buňky, především jádra, v důsledku přímého zásahu kvantem záření. Při tom dochází k lokální absorpci energie, ionizaci a následné chemické změně zasažené struktury . Pravděpodobnost takových „přímých zásahů“ je poměrně nízká. Tento účinek může projevovat především při hustě ionizujícím záření (11).

Radikálová teorie „nepřímého účinku“

Zaměřuje se na to, že každý organismus je složen především z vody (její obsah tvoří téměř 80 %), v níž jsou rozptýleny biologicky aktivní látky. Vlivem ionizace dochází k radiolýze vody a vznikají velmi reaktivní volné radikály. Mezi vnikající volné kyslíkaté radikály řadíme superoxidový radikál O_2, perhydroxylový radikál HO_2, peroxid vodíku H_2O_2, hydroxilový radikál OH a singletový kyslík $^1O_2$. Takto vzniklé reaktivní látky pak napadají organické molekuly biologicky důležitých látek a chemicky je pozměňují (12).



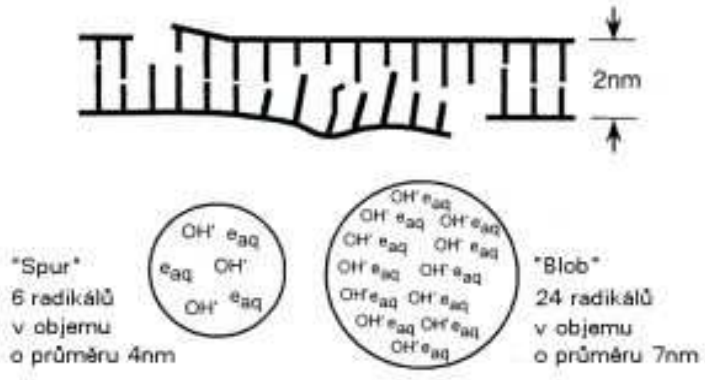
Obrázek 2 - Princip přímých a nepřímých účinků ionizujícího záření

Zdroj: http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm (11)

1.2.3 Molekulární mechanizmy účinku záření

Všechny typy biomolekul mohou být napadeny radikály, které pocházejí z ionizace vody nebo (i když méně často) mohou být samy ionizovány a vytvářet radikály. Avšak nejdůležitější molekulou, jejíž osud určuje další osud buňky, je DNA. Obsahuje genetickou informaci buňky a je v buňce přítomná ve dvou kopiích (13).

Energie dodaná ionizací nebo napadením radikálem se využívá k přerušení chemických vazeb a vytvoření nových. Jak je dosud známo, nejdůležitějším typem poškození DNA je tzv. přerušení vlákna, tj. zrušení fosfodiesterové vazby v hlavním řetězci DNA. Pokud k tomu dochází pouze na jedné straně dvojité šroubovice - jednoduchý zlom, zachovává si DNA svou druhou stranu. Avšak pokud je přerušen i druhý hlavní řetězec, může dojít k dvojnému zlomu. Pokud dva jednoduché zlomy od sebe oddělí více než 3 páry bází, potom vodíkové můstky mezi opačnými vlákny obvykle brání rozdělení DNA, avšak jeden či dva vodíkové můstky nejsou k tomuto účelu dostatečně pevné a vznikne dvojný zlom. Tato situace buňky je dále komplikována skutečností, že místa poškození nejsou rozdělena rovnoměrně. Řada z nich se nalézá ve formě klastrů (shluků): hovoříme o lokálně vícečetně poškozených místech. Jeden přicházející foton či částice způsobuje celou kaskádu ionizací a proto bude obvykle v dvouvláknové šroubovici DNA nebo okolo ní (průměr 2 nm) několik radikálů a tyto radikály vedou ke zlomům vláken a modifikací bází blízko sebe (13).



Obrázek 3 - Lokální poškození DNA vyvolané kaskádou radikálů

Zdroj: http://fbmi.sirdik.org/2-kapitola/23/231.html (13)

Molekuly DNA jsou uspořádány v buňce do chromozomů. Zlomy DNA mohou vést ke vzniku chromosomových aberací. Nejčastější typy aberací po ozáření jsou zlomy chromozomů, interchromosomové a intrachromosomové výměny (dicentrické aberace, translokace, inverze apod.) Zlomy DNA a následně chromosomální aberace jsou většinou neslučitelné s životními funkcemi buňky. Některé typy aberací zachovávají v buňce prakticky všechny geny ve funkčním stavu s výjimkou místa zlomu. Takové buňky se pak mohou dále dělit, i když jejich vlastnosti mohou být pozměněné Buňky s pozměněnými vlastnostmi jsou nebezpečné pro organismus, neboť mohou vést k nádorovému bujení (5).

1.2.4 Účinky záření na buňky

Základními stavebními jednotkami všech živých tkání jsou buňky. Pro pochopení biologických účinků ionizujícího záření jsou proto rozhodující mechanismy působení záření na buněčné úrovni. Při ozáření buňky příslušnou dávkou záření může dojít v zásadě ke dvěma význačným typům poškození (14).

Smrt buňky (buněčná deplece)

V interfázi - buňka je usmrcena již v klidovém období, což je interval mezi dvěma buněčnými děleními, mitózami. Tento účinek však předpokládá povšechnou denaturaci buněčných složek, tedy relativně vysokou dávku záření (11).

Mitotická smrt buňky - významnějším typem buněčné smrti je zánik vázaný na mitózu, na buněčné dělení. Poškození buňky se neprojeví okamžitě, ale tím, že buňka není schopna se dále dělit. Tato tzv. mitotická smrt buňky se pozoruje při menších dávkách, které nestačí na vyvolání smrti v interfázi. Odtud lze odvodit, že smrtící účinek záření na buňky se nejsnáze projeví ve tkáních, ve kterých probíhá rychlé buněčné dělení (krvetvorné orgány, výstelka střeva, vyvíjející se zárodek) (11).

Změna cytogenetické informace

Druhým typem buněčných poruch jsou změny, které bezprostředně nenarušují průběh buněčného dělení . Jedná se o změny v genetické informaci buňky, která je uložena v jejím jádře, ve zmíněných chromozomech, které nesou zakódované vlastnosti

v tzv. genech. Záření vyvolává změny - mutace , které mohou být podle jednoho dělení bodové, genové a chromozómové, podmíněné hrubší poruchou. Podle jiného dělení se odlišují mutace gametické (týkající se zárodečných žláz, propagují se do dalších generací), které jsou odpovědné za genetické účinky záření a mutace somatické , které se týkají ostatních orgánů a tkání a důsledky se projevují u jejich nositele, v ozářené tkáni. Mají vztah ke vzniku rakoviny (11).

1.2.5 Orgánová postižení v závislosti na času, dávce a biologickém účinku

Ozáření člověka může vyvolávat některé chorobné změny projevující se v průběhu dnů až týdnů, jiné v průběhu roků až desítiletí. To vedlo v minulosti k rozlišování časných a pozdních následků ozáření. V posledních desítiletích bylo zavedeno jiné třídění opírající se o základní typy vztahu dávky a účinku. Poznání tohoto vztahu a jeho popis vhodným kvantitativním parametrem je hlavním cílem biologických a medicínských studií zaměřených na ochranu před ionizujícím zářením. Na základě těchto znalostí lze pro činnosti za kontrolovaných podmínek vymezit cíle a kritéria radiační ochrany a pro případy mimořádných situací spojených s ozářením lidí odhadnout možné následky i úkoly zdravotnické pomoci. Účinky ionizujícího záření se z hlediska integrovaného savčího organismu dělí na deterministické, kdy při dosažení určité dávky ionizujícího záření efekt zákonitě nastává, a stochastické, kdy se stoupající dávkou stoupá pravděpodobnost poškození (15, 16).

Časná orgánová poškození

Vznikají bezprostředně po ozáření a v průběhu do jednoho roku po ozáření. Postiženy jsou zejména krvetvorné buňky kostní dřeně, lymfatické orgány, pohlavní buňky varlat a střevní epitel. Patologie má charakter přechodného nebo trvalého útlumu či zániku funkce. Mezi časná postradiační poškození řadíme akutní nemoc z ozáření, radiační dermatitidu a psychologické účinky (17).

Pozdní orgánová poškození

Vznikají mezi jedním až deseti lety po ozáření. Mají charakter nezdařilých reparačních procesů. Postradiační poškození plic, ledvin, gonád, endokrinních

a smyslových orgánů jsou chápány jako změny pozdní. Dalším příkladem je fibróza postihující vnitřní orgány (zejména plíce a gastrointestinální trakt) (17).

Deterministické účinky

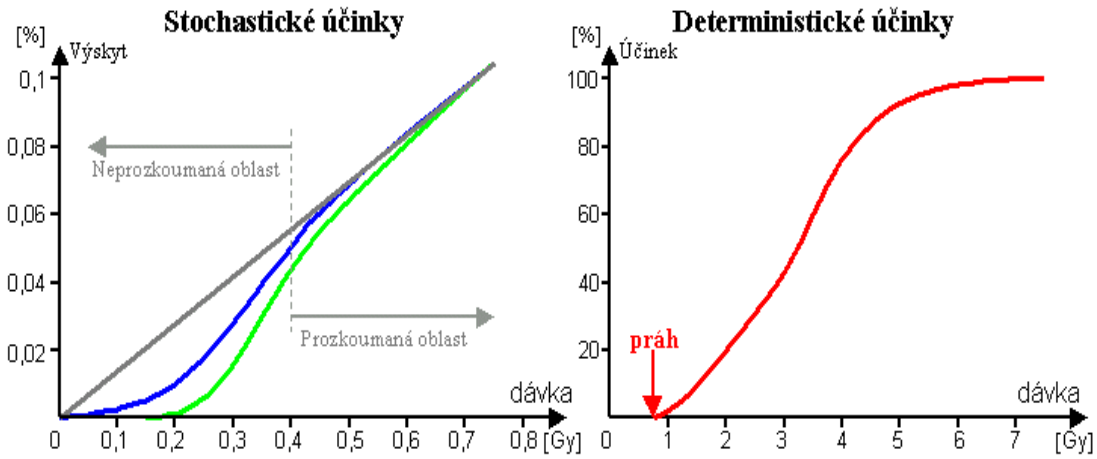
Jde o účinky, k nimž dochází v důsledku smrti části ozářené buněčné populace, jejichž závažnost vzrůstá s dávkou od určitého dávkového prahu (pod ním se účinek neprojeví) a mají charakteristický klinický obraz. Do této skupiny patří akutní nemoc z ozáření nebo radiační zánět kůže. Pro typickou existenci dávkového prahu bývají označovány též jako účinky nestochastické (12).

Stochastické účinky

Jsou to účinky vyvolané mutacemi (změnami v genetické informaci buňky) a předpokládá se pro ně bezprahový, lineární vztah mezi dávkou a účinkem. Závislost těchto účinků na dávce má statistický charakter, a proto pro ně bylo zavedeno označení účinky stochastické (pravděpodobné, náhodné). Velikost dávky záření nemění závažnost projevu jednotlivce, ale v populaci mění frekvenci přídatné četnosti zhoubných novotvarů a dědičných poškození. S dávkou tedy vzrůstá pro jednotlivce pravděpodobnost poškození. Klinický obraz těchto účinků není typický, neodlišuje se od "spontánně" vzniklých případů (12).

Jestliže lze zabránit vzniku deterministických účinků tím, že dávka nepřekročí prahovou hodnotu daného účinku, v případě stochastických účinků nelze jejich vznik zcela vyloučit. Můžeme pouze omezit pravděpodobnost jejich vzniku na míru pokládanou za přijatelnou pro jednotlivce a společnost (18).

Na obrázku 4 je v grafech zobrazena míra stochastických a deterministických účinků v závislosti na dávce. U stochastických účinků je při malých dávkách velmi málo prozkoumaná oblast účinků, proto je zobrazeno více předpokládaných průběhů (modrá a zelená křivka). V grafu deterministických účinků je na červené křivce zvýrazněn práh od kterého dochází s určitostí k následným orgánovým poškozením.



Obrázek 4 - Stochastické a deterministické účinky

Zdroj: http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm (11)

Jelikož se jednotlivá zdravotní následky v závislosti na dávce, času a biologických účincích prolínají, je v tabulce 4 vytvořen celkový přehled zdravotních následků ozáření.

Tabulka 4 - Celkový přehled zdravotních následků ozáření

Účinky záření	Deterministické (Nestochastické)		Stochastické	
	Časné	Pozdní		
Zdravotní následky ozáření	Somatická			Genetická
	Akutní nemoc z ozáření Akutní lokální změny Radiační dermatitida Poškození fertility	Nenádorová pozdní poškození Chronická dermatitida Zákal oční čočky	Zhoubné nádory (rakovina)	Genetické účinky u potomstva
	Poškození vývoje plodu			

Zdroj: http://radiace.czweb.org/ucinky_zareni.html (19)

1.2.6 Deterministické (nestochastické) projevy poškození organismu

Deterministické účinky jsou podmíněny buněčnými ztrátami v důležitých buněčných populacích. Tyto účinky se zákonitě projeví při překročení určitého dávkového prahu. Míra, jakou se tyto účinky projeví, je závislá na dávce, s rostoucí dávkou roste i míra projevu (15,20).

Mezi nejznámější projevy deterministických poškození patří akutní nemoc z ozáření, akutní poškození kůže, sterilita a zákal oční čočky. Akutní nemoc z ozáření, akutní poškození kůže a sterilita patří mezi následky časné, zákal oční čočky patří mezi následky pozdní (21).

Akutní nemoc z ozáření

Akutní nemoc z ozáření, někdy označována jako akutní radiační syndrom vzniká po jednorázovém celotělovém ozáření vyšší dávkou. Tato nemoc byla popsána hlavně u obětí jaderného útoku na Japonsko v roce 1945, v běžné praxi je velmi výjimečná. Klinický obraz akutní nemoci z ozáření závisí na dávce. Podle velikosti dávky se nejprve projeví příznaky podmíněné poruchou krvetvorných orgánů, dále poruchou trávícího ústrojí a nakonec poruchou centrálního nervového systému.

Hematologická (dřeňová) forma **-** u pacientů po expozici od 0,7 Gy se objevuje závislý útlum krvetvorby, který může vést v důsledku malé až nulové reprodukce krevních buněk k pancytopenii (současnému poklesu počtu všech typů krevních buněk červených a bílých krvinek, krevních destiček). Změny v krevním obrazu se rozvíjejí nejdříve po 24 hodinách po ozáření. Přesný čas útlumu jednotlivých tipů cirkulujících buněk je různý (17).

Krvetvorná kostní dřeň je nejvýrazněji poškozenou tkání při celotělové dávce ionizujícího záření od 1 do 10 Gy. Míra poškozených kmenových buněk je měrná dávce záření. Při dávce 1 Gy přežívá 37% kmenových buněk, při dávce 5 Gy je to 1%. Kmenové buňky jsou vůči záření citlivější, čím jsou méně diferenciované (17).

Střevní forma –.rozvinuté příznaky při dávkách 6 - 10 Gy spočívají v krutých průjmech provázených ztrátou tekutin a minerálním rozvratem, krvácením ze střev nebezpečím chirurgických komplikací. Působením ionizujícího záření dochází k poškození střevního epitelu, patogenicky jde o nekrózu buněk střevní výstelky s obnažením povrchu střeva. Přežije-li nemocný 7 - 10 dnů, projeví se u něho ovšem v plné míře i příznaky poškození krvetvorných orgánů. V dávkové oblasti nad 20 Gy jsou příznaky časného období do té míry akcentovány, že vznikne metabolický rozvrat, srdeční selhání a postižený upadne do kómatu (5,17).

Neurovaskulární forma – tato forma má dvě podformy – vaskulární a mozkovou. Dominantní je při dávkách vyšších než 80 Gy a jejím následkem je vždy smrt. Při dávce do 100 Gy následuje během několika dnů, při dávce 500 Gy během dvou hodin a dávka vyšší než 1000 Gy způsobí smrt okamžitě. Poškození tkáně je nerepabilní. Je dáno buď přímým působením ionizujícího záření na nervovou buňku nebo hypoxií v důsledku radiačního poškození mozkových cév v choriodálních plexech a v mozkových plenách dochází k akutnímu zánětu, otoku mozku a k jeho poškození. Zvyšuje se nitrolebeční tlak. Klinicky se poškození mozkové tkáně projevuje křečemi, třesem, psychickou alternací a těžkou poruchou vědomí (17).

Akutní poškození kůže

Jedná se o akutní poškození způsobené důsledkem ozáření vymezeného okrsku kůže zevním zdrojem, ojediněle mohou být způsobeny i zářiči beta při povrchové kontaminaci. Toto postižení se dělí na několik forem v závislosti na dávce, kterou kůže obdržela. Nejlehčí formou je zarudnutí, při vyšších dávkách se vytvoří zarudnutí postupně přecházející v zánětlivý stav a tvorbu puchýřů. Nejtěžší formou je vytvoření nekrotické tkáně a vředy. Prahovou hodnotou pro vznik nejlehčí formy poškození kůže je dávka cca 3 Gy, zarudnutí se projeví v období 1 – 3 týdny po ozáření (22).

Erytemotózní dermatitis – nejlehčí forma akutního poškození kůže je charakteristické jejím zarudnutím (radiační dermatitis prvního stupně). Bezpříznakové období latence trvá podle velikosti dávky 2 - 4 týdny. Potom se projeví zarudnutí spojené zánětlivým mokváním z vazivové vrstvě pod pokožkou. Vzhledem k vyšší

vnímavosti buněk vlasových míšků a mazových žlázek na ozáření, zastavuje se zde buněčné dělení už v dávkách na úrovních odpovídajících této formě dermatitidy a objeví se vypadávání vlasů a ochlupení, tj. epilace. Přechodná epilace vzniká po dávce 3 Gy a projeví se kolem třetího týdne. Po dávce 6 Gy může být epilace trvalá (17).

Deskvamativní dermatitis – (druhý stupeň) vzniká po ozáření vyššími dávkami, okolo 12 - 20 Gy. Bývá uváděn nevýrazným časným erytémem, který se objevuje v prvních hodinách po ozáření, nejpozději do 2 dnů a opět mizí. Při větších dávkách se prchavý erytém může objevit i v několika vlnách. Doba latence do rozvoje plných příznaků bývá 2 – 3 týdny. Zánětlivý exsudát (zánětlivý extravaskulární výpotek) se hromadí v úrovni poškozené vrstvy bazálních buněk, vznikají puchýře a plošné mokvání. V příznivějším případě nastává po dalších 2 – 3 týdnech obnova pokožky z okrajů defektu a z přežívajících kmenových buněk ve vlasových míšcích (17).

Nekrotická forma dermatitidy – vzniká důsledkem postižení hlubších vrstev kůže, popřípadě podkoží (radiační dermatitis třetího stupně). Je zpravidla důsledkem cévních změn a komplikující infekce, kdy příslušný okrsek tkáně odumírá, odlučuje se a vytváří vřed Nová pokožka, často velmi tenká a křehká, nemá dostatečně spolehlivou podkladovou vyživující vrstvu a špatně odolává faktorům mechanickým, chemickým či mikrobiálním. Tak často po 1 – 2 letech, nebo i později, vzniká sekundární vřed vyžadující zpravidla zákrok plastického chirurga. Klinický obraz je výrazně modifikován větším rozsahem lézí, jak tomu bylo např. u celotělově ozářených černobylských pacientů (17).

Postižení fertility (sterilita)

Dalším významným poškozením může být postižení fertility (plodnosti) po ozáření pohlavních žláz. Odpověď na ozáření pohlavních orgánů je u muže a ženy různá. U muže dochází již po dávce 0,25 Gy k přechodnému snížení počtu spermií, ke sterilitě dochází až po dávkách 3 - 8 Gy s tím, že se plodnost může nejednou obnovit. U žen vzniká trvalá sterilita po dávce kolem 3 Gy (v závislosti na věku ženy). Rozdíly jsou zde proto, že vajíčka, která ubývají z vaječníků během jednotlivých měsíčních cyklů ženy nejsou nahrazována, zatímco ve varlatech je zásoba spermií během dospělého

věku průběžně doplňována. U žen mohou být postiženy i sekundární pohlavní znaky, protože produkci ženských pohlavních hormonů obstarávají rychle se dělící buňky v okolí dozrávajícího vajíčka, zatímco u mužů relativně odolné buňky nepřísluší k zárodečné tkáni (12).

Zákal oční čočky (katarakta)

Poškození oční čočky se manifestuje ve formě zadní katarakty. Tato jednotka má nízkou prahovou dávku, asi 0,2 Gy. Po více než šesti měsíční latenci vznikají na zadní stěně zvětšující granulace se změněnou architekturou vláken čočky, které omezují průnik vláken k sítnici. Protože postihuje útvar, který nemá přímou výživu a vlastní buněčný substrát je doba od ozáření k vytvoření změn 6 měsíců a více (18).

1.2.7 Pozdní stochastické účinky na organismus

Stochastické účinky jsou účinky podmíněné mutacemi buněk. Buď se jedná o mutace somatické, tj. mutace v tkáních mimo gonády, nebo o mutace gametické, tj. v zárodečných buňkách. Mutace jako takové se vyskytují i spontánně v populaci, ale bylo prokázáno, že působení ionizujícího záření zvyšuje výskyt těchto mutací. Nicméně klinické příznaky nádorů vzniklých spontánně nejsou odlišitelné od klinických příznaků nádorů vzniklých v důsledku ozáření. Jedná se o bezprahové účinky, ale s rostoucí dávkou stoupá pravděpodobnost vzniku poškození. Samotný projev poškození však není závislý na dávce. Mezi účinky stochastické patří vznik zhoubných nádorů a genetických změn (23,24).

Nádorová onemocnění

Zhoubné nádory jsou nejzávažnější pozdní somatické účinky ionizujícího záření. Společným rysem představ o vzniku rakoviny je vícesložkový charakter tohoto onemocnění. Jednou složkou je existence buněk, nesoucích modifikovanou (mutovanou) informaci a přenášejících tuto atypii na své potomstvo, druhou složkou vzniku nádoru je soubor podmínek, které působí proti tendenci eliminovat atypické buňky nebo potlačit jejich růst. Je známa řada činitelů,působících v jedné nebo druhé jmenované fázi děje mezi které patří především viry a dehtové karcinogeny. Ve druhé

fázi se uplatňují zejména změny v produkci hormonů nebo oslabení imunitní obrany organismu. Ionizující záření může podle současných poznatků působit na různých stupních procesu vývoje rakoviny. Představa, že zhoubné nádory jsou vyvolávány i malými dávkami ionizujícího záření, je odvozena z řady pozorování, mezi nimiž má zvláštní význam studie přeživších obětí atomových útoků v Hirošimě a Nagasaki, pozorování pacientů léčených v Anglii rentgenovým zářením pro onemocnění páteře a rozbor příčin smrti amerických radiologů exponovaných v letech 1900 – 1950 (25).

Jednotlivé tkáně a orgány jsou různě vnímavé na vznik nádorů po ozáření. Mezi nejvnímavější patří kostní dřeň, žaludek, tlusté střevo a plíce, nově i mléčná žláza u žen. Číslo, které charakterizuje celoživotní riziko úmrtí na zářením vyvolanou rakovinu (zahrnuje různou radiosenzitivitu, ale i léčitelnost jednotlivých nádorů) se jmenuje koeficient rizika. Celkový koeficient rizika úmrtí na zářením vyvolané zhoubné nádory byl stanoven pro pracovníky 4,1 $.10^{-2}$ Sv^{-1} (tzn., že ze 100 pracovníků ozářených efektivní dávkou 1 Sv bude pravděpodobně u 4 osob příčinou smrti zhoubný nádor.) Koeficient rizika smrti pro celkovou populaci je vyšší – 5,5 $.10^{-2}$ Sv^{-1}, neboť jsou zde zahrnuty i děti, které jsou radiosenzitivnější. Je třeba poznamenat, že populační riziko smrti na rakovinu je cca 25%, na rakovinu tedy zemře prakticky každý čtvrtý člověk bez „přídatného“ ozáření. Dále je třeba poznamenat, že se jedná o odhad celoživotního rizika při dávkových příkonech řídce ionizujícího záření, přičemž pro děti jsou tyto koeficienty pravděpodobně cca 2 - 3 krát vyšší, pro dospělé nad 50 let 5 - 10 krát nižší (což se netýká některých typů leukémií) (5).

Důležitou charakteristikou je časový průběh výskytu zhoubných nádorů po ozáření. Po ozáření nevznikne nádor bezprostředně, ale až po několikaletém období latence, která je např. u leukémie 5 - 20 let, u nádorů plic 10 - 40 let (15).

Děti a mládež jsou až 3-10 krát citlivější na ozáření ve srovnání s dospělými. Je to z toho důvodu, že u nich probíhá ve větší míře dělení buněk a současně je u nich delší doba života, který mají před sebou (období, kdy se mohou projevit účinky ozáření). Např. 70-letý člověk pravděpodobně již nemá tak dlouhou dobu života před sebou jako 5-leté dítě (22).

Genetické změny

Významnou skupinou pozdních účinků záření je postižení potomstva ozářených osob. Podkladem genetických změn je mutace, tj. změna v genetické informaci buňky. Za dědičné účinky je odpovědná tzv. gametická mutace, což je mutace v jádře zárodečných buněk (vajíčka, spermie) pohlavních žláz. Genetický účinek záření spočívá ve zvýšené frekvenci mutací v porovnání s mutacemi vznikajícími spontánně. Mutovaný gen je schopen reprodukce při dělení buňky, a tak je mutace předávána do dalších generací. Základ budoucího jedince, vzniklý splynutím mužské a ženské zárodečné buňky, může v důsledku své nepříznivé genetické skladby v období před nebo krátce po vnoření se do děložní sliznice matky velmi časně zaniknout. Tento typ poškození se projeví jako neúspěšné oplození. V jiném případě dojde k vývoji zárodku, ale těhotenství končí potratem, předčasným porodem, úmrtím novorozence brzy po porodu nebo porodem dítěte s hrubou vrozenou vadou. Je třeba poznamenat, že podíl všech genetických vlivů na samovolné potratovosti činí 20 - 25%. Jiným příkladem následků jsou geneticky podmíněné vývojové vady jako je např. Downova nemoc, genetický podklad může mít i změna poměru pohlaví v populaci apod. Geneticky podmíněné a tudíž i zářením zasažitelné jsou i některé komplexní biologické charakteristiky, jako je fyzická síla, inteligence, motorická hbitost apod. Z uvedeného výčtu různých projevů změny genetické informace je patrno, že mutace mohou ovlivnit vyhlídky na přežití a další uplatnění nových jedinců. Odhaduje se, že mutovaný gen setrvává v populaci asi 40 generací (5,15,23).

Kvantitativní odhady vztahů mezi dávkou a účinkem se u genetických účinků opírají téměř výlučně o experimentální údaje. Koeficient rizika genetických účinků byl nově pro celkovou populaci odhadnut na $0{,}2 \cdot 10^{-2}$ Sv^{-1}, pro kojence a děti s očekávanou plnou reprodukční schopností je však riziko několikrát vyšší než je uvedená hodnota. Pro starší věkové skupiny naopak riziko klesá k nule v souladu s poklesem reprodukční schopnosti. Při posuzování vlivu ionizujícího záření na geneticky podmíněné nepříznivé rysy u potomstva je třeba zvážit, že v normální (neozářené) populaci je spontánní výskyt geneticky podmíněných odchylek cca 5 - 10 na 100 živě narozených dětí (15).

1.2.8 Postižení zárodku a plodu

Pokud jde o poškození vyvíjejícího se plodu, jedná se o společné stochastické a nestochastické účinky, a proto se zařazuje do samostatné skupiny. Možnost účinku záření na zárodek záleží na době ozáření vzhledem k době, uplynulé od doby početí. V prvních třech týdnech po početí, kdy je počet buněk zárodku malý a buňky nejsou ještě specializované, se projeví poškození těchto buněk nejčastěji neschopností implantace nebo zánikem oplozeného vajíčka (23).

Vliv ozáření na embryo – kritickým časovým úsekem je období velké organogeneze, které spadá u člověka přibližně do 4 - 8 týdne po oplození vajíčka. Buněčné ztráty způsobené ozářením v tomto období mohou vést k uhynutí zárodku, snížené hmotnosti embrya či jednotlivým orgánovým změnám v důsledku narušení složitých procesů výstavby těla a jeho částí. Tak může být postižen vývoj centrálního nervového systému a jeho kosterního obalu, projeví se zakrnělý vývoj mozku nebo oka, rozštěpy patra aj. Aplikace konceptu prahové dávky na tkáně rychle rostoucího plodu, které nejsou v rovnovážném stavu naráží na problémy. Z tohoto důvodu se častěji používá termín kritická dávka, což je minimální dávka, která může vyvolat u určitého procenta zárodků nepříznivý efekt. Bývá odhadován na 50 mGy (5).

Ozáření v časném fetálním období – výrazně ohroženo vyzrávání centrálního nervového systému, ve kterém zejména mezi 8. – 15. týdnem vrcholí funkčně významné přesuny buněk a vytváření nervových spojů. Ozáření v tomto kritickém období se projeví v dětství mentální retardací, která je charakterizována celkovou zaostalostí provázenou neschopností péče o sebe a nezvládnutím požadavků gramotnosti. Ozáření 1 Sv způsobí pokles IQ ze 100 na 70. Směrem dolů se extrapolace lineárního vztahu neuplatňuje, usuzuje se spíše na prahovou dávku v úrovni 0,12 – 0,2 Sv. Pro období 16. – 25. týdne po početí klesá riziko tohoto efektu ve srovnání s předchozím obdobím asi na polovinu (5).

Ozáření v pozdním fetálním období – hlavním rizikem je vnímavost na indukci leukémie a jiných malignit projevujících se v dětství. Tato vnímavost se se týká i dřívějších období vývoje zárodku a plodu, kdy je však její význam překryt riziky

dalšími. Indukce dětských nádorů ozářením in utero je reálná i při malých dávkách, jak mimo jiné vyplívá i ze studií u dětí, jejichž matky byly rentgenologicky vyšetřovány z porodnické indikace v období pokročilé gravidity (5).

1.3 Ozáření radioaktivními látkami při jaderné havárii

Z hlediska ozáření člověka jsou zvláště nebezpečné kontaminanty životního prostředí uvolněné během mimořádných událostí a vypadlé z radioaktivního oblaku uniklého z poškozeného jaderného zařízení. Převažující složkou spadu bývá směs štěpných produktů tvořená převážně beta a gama zářiči. Velikost ozáření závisí na druhu radionuklidu - přesněji na celkovém množství uniklých radionuklidů, složení směsi uniklých radionuklidů, energii, se kterou jsou radionuklidy do prostředí uvolňovány, a také na mechanismu jejich šíření v okolí (26).

S možností deterministických poškození se v těchto případech mimo areál havarovaného zařízení setkáváme jen zcela výjimečně; ovšem úniky radioaktivních látek zejména do ovzduší představují z hlediska ozáření obyvatelstva riziko (zpravidla je vyšší než pro úniky do hydrosféry) - úniky do ovzduší totiž způsobují vyšší dávky a dostávají se k člověku v kratším čase (27).

1.3.1 Radioaktivní látky v jaderném reaktoru

Pokud nebereme v úvahu jadernou pumu, je nejmohutnějším zdrojem ionizujícího záření jaderný reaktor. Současně je zařízením obsahujícím největší množství různých radionuklidů. V jaderném reaktoru vznikají štěpením paliva převážně štěpné produkty (zhruba 300 různý radionuklidů), které mají poločasy rozpadu obvykle od zlomků sekund do stovek let. Další radioaktivní jádra vznikají záchytem neutronů. Ze štěpeného paliva tak vznikají transurany (^{239}Pu, $T_{1/2}$=25 tisíc let) a ve všech látkách a materiálech v dosahu neutronů mezi které patří pokrytí paliva, konstrukčním materiály a chemické látky v chladivu primárního okruhu vznikají stovky dalších tkz. aktivačních radionuklidů (23).

Mezi nejvýznamější radionuklidy, které tedy vznikají při provozu jaderné elektrárny patří (5):

- štěpné produkty, tj. vzácné plyny ^{85}Kr a ^{133}Xe, izotopy jódu ^{133}I a ^{131}I, ^{90}Sr, ^{134}Cs a ^{137}Cs,
- aktivační korozní produkty, tj. ^{54}Mn, ^{51}Cr,^{59}Fe, ^{60}Co, ^{65}Zn,
- aktivační produkty, tj ^{3}H, ^{14}C,
- transurany, zejména ^{239}Pu.

Při havárii jaderné elektrárny únik radionuklidů do životního prostředí představuje značné ohrožení. Radionuklidy můžeme rozdělit na radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu (^{131} I) a na radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu (^{137}Cs, ^{90}Sr).

Radionuklidy s krátkým poločasem se rozpadnou od několika sekund maximálně až do několika měsíců, představují tedy ohrožení v okamžiku jejich úniku až do několika měsíců po úniku. Radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu způsobují dlouhodobé kontaminace. Jedním z nejvýznamnějších radionuklidů s dlouhým poločasem rozpadu je ^{137}Cs ($T_{1/2}$ = 30 let). To znamená, že po úniku do životního prostředí zamoření klesne na přijatelnou mez po 100 až 300 letech.

Při havárii jaderné elektrárny vzniká radioaktivní spad, který se dělí na lokální a globální. Lokální spad obsahuje částice do velikosti 20-40 mikrometrů. Tyto částice sedimentují v závislosti na své velikosti. Například partikule o velikosti 1 mm vypadávají v bezprostřední blízkosti epicentra, kdežto částice o velikosti kolem 40 mikrometrů sedimentují až 24 hodin po výbuchu. Globální spad obsahuje částice 20 mikrometrů a menší, které rychle vystoupají do stratosféry a jsou unášeny větrnými proudy do velkých vzdáleností. Po několika dnech, týdnech či měsících pak mohou vypadnout v závislosti na větrných proudech kdekoliv na Zemi. Tento druh spadu může způsobit pouze vyšší incidenci stochastických účinků v postižené populaci (23).

Velký význam mají též chemické vlastnosti radionuklidů obsažených v radioaktivním mraku. Z biologického hlediska jsou vlastnosti radioaktivních látek

rozhodující pro délku setrvání ve těle člověka po jejich vdechnutí nebo spolknutí z mraku a jsou rozlišovány následovně (25):

- nevstřebatelné nebo málo vstřebatelné jsou těžké kovy, lanthanoidy a transurany,
- středně době vstřebatelné jsou kovy alkalických zemin jako jsou stroncium, barium a vápník,
- velmi dobře vstřebatelné jsou radionuklidy cesia, jódu a vodíku.

Z hlediska časového sledu po jaderné havárii jde nejdříve o radionuklidy, které z ovzduší vypadávají ve formě suchého nebo mokrého spadu s deštěm na různé povrchy. Člověkem mohou být poté požity s vodou nebo nedostatečně očištěnou potravou. Později se radionuklidy z povrchu vegetace dostávají k hospodářskému zvířectvu odtud zpět k člověku konzumací mléka nebo masa. Z půdy se kořenovou cestou dostávají některé radionuklidy do vegetace a tak znovu kolují v potravním řetězci. Transfer radionuklidů v potravních řetězcích opět závisí na druhu radionuklidů a jejich fyzikální a chemické formě, která se však může během času měnit, a tím se může měnit i dostupnost radionuklidů pro přestup z půdy do rostlinstva. V některých ekosystémech je doba, po níž radionuklidy v potravních řetězcích kolují, velmi dlouhá (28).

1.3.2 Cesty expozice lidí při úniku radioaktivních látek

Radionuklidy, které unikají do prostředí, se k člověku dostávají různými cestami. Přitom je člověk exponován ionizujícímu zářením a proto hovoříme o expozičních cestách (4).

Důležité cesty expozice lidí při jaderné havárii tedy jsou (5):

- zevní ozáření z mraku uvolněného radioaktivního materiálu,
- zevní ozáření z depozitu radioaktivních látek na povrchu terénu,
- kontaminace povrchu těla a oděvu,
- požití potravy a vody kontaminované radioaktivními látkami .

Podrobná znalost všech možných expozičních cest je nezbytná pro ocenění příspěvku k celkové expozici člověka. Na základě takového rozboru se pak při havarijním úniku radionuklidů do prostředí mohou zavést opatření ke snížení či odvrácení expozice obyvatelstva. Při havárii jaderného zařízení se nejsnáze do ovzduší dostávají vzácné radioaktivní plyny, které jsou zdrojem zevního ozáření a v menší míře vnitřního ozáření inhalační cestou. Dále se uvolňují těkavé radionuklidy, z nichž nejvýznamnější jsou radioizotopy jodu. Ty se dostávají k člověku všemi uvedenými cestami, a protože jde o prvek biogenní, který se kumuluje ve štítné žláze člověka jsou z hlediska expozice člověka obvykle nejdůležitější. Z dalších radionuklidů jsou důležité radioizotopy cesia. Cesium je homologem draslíku, který je obsažen ve všech živých organismech a chová se proto v živých organismech obdobně. Pro dlouhý poločas rozpadu je tento radionuklid velmi významný (4).

Vnější (zevní) ozáření

Radionuklidy, nacházející se v ovzduší a radionuklidy usazené z ovzduší na povrchu země, vegetace, budov, komunikací apod. ozařují člověka zevně. Velikost ozáření závisí na druhu radionuklidu, přesněji řečeno na druhu a energii vysílaného záření a na poločasu přeměny daného radionuklidu, dále na tom, jak dlouho člověk pobývá venku nebo uvnitř budov, jak se větrá apod. Vnější ozáření může způsobit také ozáření z povrchové kontaminace osob, ke kterému dochází při zachycení radioaktivních látek na oděvu nebo částí těla a jejich neustálým působením, než dojde k jejich odstranění pomocí dekontaminace (29).

Vnitřní ozáření

Radionuklidy vdechované z ovzduší jsou zdrojem vnitřního ozáření. Dávka z vdechnutí (inhalace) závisí na stejných faktorech jako jsou uvedeny pro dávku zevního ozáření. Dalším zdrojem vnitřního ozáření jsou radionuklidy, které se dostaly do potravního řetězce a jsou člověkem požity (ingesce) (4).

Absorbované radionuklidy mohou být v organizmu distribuovány po vdechnutí (např. vodík, sodík a cesium), anebo se můžou selektivně inkorporovat do afinitních

tkání. Příkladem může být afinita jódu ke štítné žláze, stroncia ke kostem a lanthanoidy s transurany ke kostem a játrům. Snížení aktivity vstřebaných radionuklidů je závislé na jejich poločase rozpadu a rychlosti eliminace radionuklidů z organizmu určeného biologickým poločasem (4).

1.3.3 Významné radioizotopy a jejich vlastnosti

Radioaktivní jód ^{131}I

Významným radionuklidem při havárii jaderné elektrárny, který představuje největší zdravotní riziko bezprostředně po havárii je radioaktivní jód ^{131}I, jehož poločas rozpadu je 8,04 dne. Jde o těkavou látku s vysokou pohyblivostí v životním prostředí. Je dobře rozpustný ve vodě a téměř 100% vstřebatelný. Radioaktivní jód je tedy významnou součástí radioaktivního mraku uvolněného z havarovaného reaktoru. Radioaktivní izotopy jódu, zejména ^{131}I, přecházejí v případě vdechnutí nebo požití do vnitřního prostředí organizmu a jsou vychytávány štítnou žlázou, kde se mohou hromadit ve vysoké koncentraci a vést k jejímu poškození. Vzhledem ke specifickému vychytávání jódu ve štítné žláze, stává se tedy kritickým orgánem jak pro akutní (hypofunkce), tak i pozdní účinky ozáření (nádory). Je hlavní příčinou velkého zvýšení výskytu rakoviny štítné žlázy v jaderné éře a prakticky jedinou příčinou výskytu tohoto závažného onemocnění u dětské populace. ^{131}I se usazuje také ve vaječnících. Biologický poločas je 138 dní. Dostává se k člověku hlavní v mléce. Jód dosahuje maximální aktivity v mléce po 3 dnech od jeho uložení v píci (23, 30, 31).

Radioaktivní césium ^{134}Cs, ^{137}Cs

Mezi významné dlouhodobé radionuklidy patří zejména ^{137}Cs, jeho poločas rozpadu je 30 let. Než se jeho hodnota sníží na zanedbatelné hodnoty trvá několik set let. Přispívá jak k vnějším tak k vnitřním dávkám. Jeho produkce je při jaderném výbuchu asi 1,6 krát vyšší než produkce ^{90}Sr a jeho aktivita ve spadu je přiměřeně vyšší. Pevně se váže na půdu, a proto na rozdíl od ^{90}Sr jen poměrně těžko přechází do vegetace. Do potravinového řetězce se dostává v důsledku povrchového zamoření vegetace, píce a potravin. ^{137}Cs se usazuje ve vaječnících a svalovině. Radioaktivní cesium se chová

v živém organismu jako draslík, který je typickým nitrobuněčným kationtem. Jeho množství v buňce je určeno stupněm prokrvení tkáně. Poněvadž se volně pohybuje v buňce, může velmi významně emitovanou radiací ovlivňovat buněčné organely i jádro buňky se všemi důsledky z poškozených buněčných struktur a chromozomů v jádře buňky. Snadno se vstřebává (asi 80%) a vylučuje se močí. Jeho biologický poločas (vyloučení) je 110 dní. Radioizotopy cesia je možné ve střevním obsahu vázat a vhodným způsobem je eliminovat. Mezi účinné prostředky eliminace řadíme ferrokyanid železitý a Berlínskou modř. Je možné použít i ferrokyanidy některých dalších těžkých kovů, jako kobalt, měď, nikl a další. Léčbu je možno zahájit kdykoliv po kontaminaci a spočívá v opakovaném podání menších dávek Berlínské modři (0,2 – 1 g) několikrát denně. Snižuje biologický poločas cesia dvou až čtyřnásobně. Jeho dceřinným prvkem je ^{134}Cs s poločasem rozpadu 2,5 roku. Metabolizuje jako draslík a ukládá se také hlavně ve svalech (23, 32).

Radioaktivní stroncium ^{89}Sr, ^{90}Sr

Dalším významným radionuklidem při jaderné havárie je stroncium ^{90}Sr, které patří mezi dlouhodobé osteotropní nuklidy. Chemicky se chová jako vápník. Vzhledem na intenzitu jeho tvorby, dlouhý poločas rozpadu 27,7 let a skutečnost, že se ukládá v kostech, je stroncium považováno za velmi nebezpečné. Zabudován v kostech pak bezprostředně ozařuje orgány krvetvorby. Poměrně brzy, již po 24 hodinách, je inkorporováno do struktury kostí a zde vytěsňuje atomy vápníku z vazeb na hydroxyapatit. Díky tomu, že tato vazba je velmi pevná je eliminace radioizotopů stroncia pomalá a obtížná. Avšak většina radiostroncia je např. vyloučena v průběhu asi 3 měsíců, zbylé množství v kostech se zabudovává trvale a nerovnoměrně, což způsobuje neuniformní ozáření kosti. Vstup $1{,}5.10^{7}$ Bq radiostroncia do zažívacího traktu způsobí za 2 měsíce dávku 1Sv. Kmenové buňky krvetvorby z méně ozářených oblastí mohou zvýšenou proliferací udržet krvetvorbu na dostatečné úrovni a její akutní zhroucení nehrozí. Dlouhodobé ozařování kosti se může projevit jako zátěž, která zpomaluje úpravu krvetvorby,zejména po současném nebo následném zevním ozáření. Nejzávažnější jsou pozdní výskyty nádorových onemocnění, leukémií, osteosarkomů

a jiných, které vznikají po uplynutí desítek let od kontaminace v několika časových vlnách. Do organizmu je přijímáno jako málo rozpustná sloučenina potravinovým řetězcem přes povrchově kontaminované plodiny, přes půdu kořenovým systémem rostlin, nebo přes další články potravinového řetězce. Ukládání stroncia v kostech a chrupavkách je zvláště závažné zejména u dětí. Nejzávažnějším zdrojem ^{90}Sr lokálně v oblastech jaderných havárií je mléko. Dodání vápníku a hořčíku může omezit zabudování stroncia do kostí. Biologický poločas činí 18 let. Radionuklid ^{89}Sr se chová stejně jako ^{90}Sr, má však podstatně kratší poločas rozpadu, jen 52,7 dne. ^{89}Sr se navíc mění na stabilní nuklid ^{89}Y, zatímco ^{90}Sr je mateřským nuklidem dalšího radionuklidu ^{90}Y s poločasem rozpadu 64 hodin, který emituje částice beta (23, 32).

1.4 Havárie jaderné elektrárny Černobyl

1.4.1 Jaderná elektrárna Černobyl

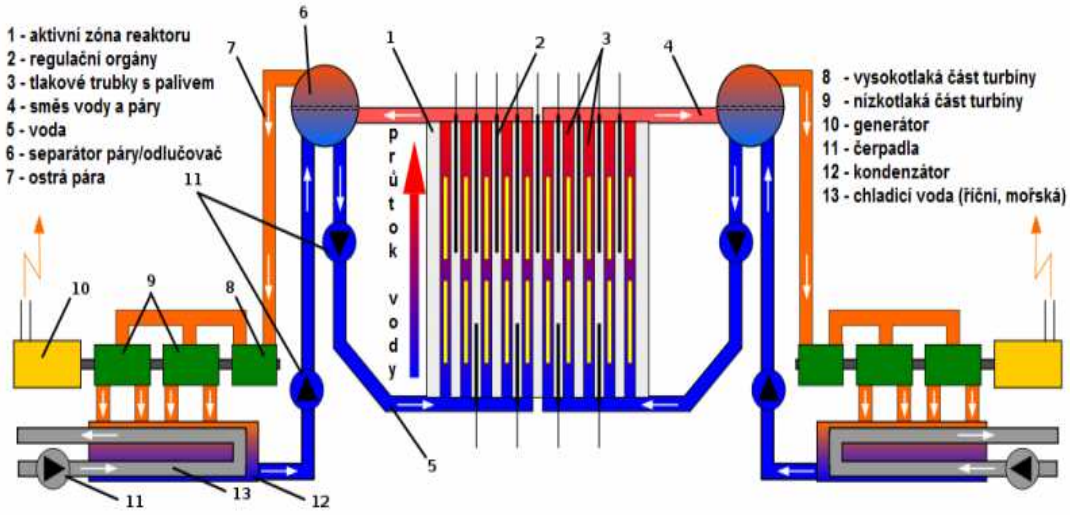
Elektrárna leží na řece Pripjať 16 km jižně od hranic s Běloruskem, 2 km od města Pripjať, 18 km od města Černobyl a 115 km severně od hlavního města Ukrajiny Kyjeva. Stavba byla započata v roce 1970 zahájením stavby bloku reaktoru č.1. Následovaly reaktor č.2 (1973), č.3 (1976), č.4 (1979) a č.5, 6 se nedostavěly. Všechny 4 reaktory byly typu RBMK s výkonem 1000 MW, tímto typem měli být osazeny i zbývající dva reaktory 5 a 6. Po nehodě na 4 bloku dodávala elektrárna elektřinu do sítě až do roku 2000. V tomto roce byl jako poslední odstaven reaktor č.3. Reaktor č. 1 byl odstaven v roce 1996 a č.2 byl odstaven jako první v roce 1991 (33).

Dnes je již elektrárna odstavená, ale práce na demontáži a dekontaminaci budou trvat mnoho let. V roce 2012 byla oficiálně zahájena stavba nového krytu reaktoru č.4, na který přispívá penězi i Evropská Unie. Ten původní je ve velmi špatném stavu a je potřeba jej nahradit. Nový sarkofág by měl být v ochraně mnohokrát účinnější a měl by ji zajistit i dlouhodobě (34).

1.4.2 Reaktorový blok s reaktorem RBMK – 1000

RBMK-1000 je grafitem moderovaný a lehkou vodou chlazený reaktor sestávající z 1661 palivových souborů z UO_2, umístěných v individuálních vertikálních (tlakových) kanálech. Grafitová sestava aktivní zóny je tvořená grafitovými bloky o rozměrech 25 x 25 cm a výšce 60 cm, které jsou uspořádány do tvaru válcové konfigurace o průměru 11,8 m a výšce 7 m. Sestava je umístěna v hermetických prostorech vytvořených válcovou šachtou, spodní nosnou konstrukcí a horním ocelovým pláštěm. Každý grafitový blok, kromě grafitových bloků tvořících boční reflektor neutronů, je uprostřed opatřen válcovým otvorem, vytvářejícím prostor pro palivové kanály (tlakové trubky) nebo pro kanály s absorbčními tyčemi (regulačními orgány). Tato sestava tak tvoří palivovou mříž s krokem 25 cm (35).

Chladicí systém reaktoru sestává ze dvou smyček. Chladivo vstupuje do palivových (tlakových) kanálů ve spodku aktivní zóny s teplotou 270 °C, při postupu směrem vzhůru podél paliva se ohřívá a částečně vypařuje. Hmotnostní obsah páry na výstupu z aktivní zóny při nominálním výkonu reaktoru je přibližně 14,5 %. Tlak na výstupu z aktivní zóny činí 7 MPa a odpovídající teplota sytosti je 284 °C. Vlhká pára je z každého kanálu odváděna do separátorů, každá chladicí smyčka má dva separátory páry. Odseparovaná suchá pára je odváděna dvěma parními potrubími ke dvěma turbínám o výkonu 500 MW, zatímco voda smíchaná s kondenzátem z turbín postupuje do sacích kolektorů hlavních cirkulačních čerpadel. Cirkulační čerpadla podávají chladivo do kolektorů, které jej dále rozdělují do jednotlivých palivových kanálů aktivní zóny. Kondenzátory turbín jsou chlazeny odděleným chladicím okruhem (říční, případně mořskou vodou) (35). Na následujícím obrázku 5 je zobrazené schéma bloku s reaktor RBMK – 1000 s popisem jednotlivých částí.



Obrázek 5 - Schéma bloku s reaktorem RBMK - 1000

Zdroj: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:RBMK_en.svg (36)

Průtok chladiva jednotlivými palivovými kanály lze individuálně regulovat s cílem kompenzovat změny v rozložení výkonu. Každá cirkulační smyčka má 4 čerpadla, z nichž jedno čerpadlo je při nominálním výkonu záložní. 95 % energie uvolněné při štěpení je odváděno přímo do chladiva, 5 % je absorbováno v grafitovém moderátoru a většinou též odváděno chladivem. Tato část štěpné energie přestupuje do chladicích kanálů vedením, přičemž maximální teplota uvnitř grafitu dosahuje hodnoty kolem 700 °C. Vedení tepla v mezeře mezi grafitovými bloky je podporováno směsí hélia a dusíku, která současně zajišťuje chemické rozhraní mezi grafitem a tlakovými trubkami (35).

1.4.3 Plánovaný průběh experimentu

25. dubna 1986 bylo naplánované odstavení 4. bloku z provozního výkonu. Před odstavením reaktoru měl být proveden celkem běžný experiment, který měl vyzkoušet funkci nového regulátoru magnetického pole rotoru a ověřit, jestli turbogenerátor po rychlém uzavření přívodu páry do turbíny schopen při svém setrvačném doběhu ještě zhruba 40 sekund napájet proudem čerpadla havarijního chlazení. Experiment měl proběhnout podle následujícího schématu (37, 38):

- snížení výkonu reaktoru na 25 - 30 % (700 - 1000 MWt), což je nejnižší výkon,
- při kterém je povolen provoz tohoto typu reaktoru,

- odstavení prvního ze dvou turbogenerátorů připojených k reaktoru,
- odpojení systému havarijního chlazení (pokud by nebylo odpojeno a začalo v souladu s předpisy působit v průběhu testu, byly by výsledky měření nevěrohodné
- přerušení přívodu páry ke druhé turbíně;.tento krok měl být zároveň signálem pro systém havarijní ochrany vedoucí k automatickému odstavení reaktoru

Experiment byl od počátku energetickou záležitostí nevýznamný z hlediska jaderné bezpečnosti, a řídili jej elektrotechnici, nikoli specialisté na provozní režimy a jadernou bezpečnost (4).

1.4.4 Popis událostí vedoucích ke vzniku havárie

Experiment začal snižováním výkonu reaktoru 25. dubna ve 13 hodin. Ve 13:05h byl výkon snížen na polovinu a byl odstaven první turbogenerátor a odpojen systém havarijního chlazení. Z důvodu neplánované žádosti energetického dispečinku bylo na devět hodin snižování výkonu pozastaveno, avšak systém havarijního chlazení zůstal odpojen a tím porušeny podmínky provozu. Experiment převzala nová, z důvodu časového posunu nepřipravená směna (4, 38).

Od 23:10h pokračovalo další snižování výkonu reaktoru, při kterém chybou operátora došlo k prudkému poklesu výkonu až na 30 MWt. Při provozu na tak nízkém výkonu dochází k prudkému nárůstu koncentrace ^{133}Xe (xenonová otrava). V tu chvíli měl být experiment ukončen a reaktor odstaven. I přes tuto chybu bylo rozhodnuto pokračovat.. Značné otravě reaktoru se systém regulace bránil vytahováním regulačních tyčí z aktivní zóny, což způsobovalo růst výkonu reaktoru a současné snižování reaktivity. Reaktor se stabilizoval na výkonu 200 MWt. Snížený vývin páry v reaktoru měl za následek pokles tlaku a hladiny vody v separátorech. Na to operátor zablokoval antihavarijní ochranu chlazení aktivní zóny aby mohl v experimentu pokračovat, ale dopustil se tím druhé osudové chyby (38, 39) .

V 01:22h (26. dubna) si operátoři nechali vypsat počítačové vyhodnocení stavu reaktoru. Viděli, že počet regulačních tyčí v aktivní zóně odpovídá necelé povolené hodnoty. Po tomto zjištění měli okamžitě odstavit reaktor. Opět se však rozhodli pokračovat. K šesti dosud pracujícím cirkulačním čerpadlům i obě záložní. Přitom šest

čerpadel plně postačí pro chlazení aktivní zóny i při práci reaktoru na nominálním výkonu 3200 MWt. Připojení obou záložních čerpadel bylo motivováno snahou operátora zajistit dostatečné chlazení i po skončení plánovaného experimentu, při kterém měly 4 hlavní cirkulační čerpadla sloužit jako elektrická zátěž dobíhajícího turbogenerátoru. Zvýšený průtok chladiva aktivní zónou měl však za následek snížení reaktivity, na který systém reagoval dalším vytahováním regulačních tyčí. Provozní zásoba reaktivity reaktoru poklesla na hodnotu 6 až 8 tyčí, což bylo v rozporu s předpisy požadovanou zásobou 30 tyčí. Jednu minutu před začátkem experimentu operátor prudce snížil průtok napájecí, což mělo za následek zvýšení teploty na vstupu do reaktoru (4, 29, 38)

V 01:23h se dopustili operátoři poslední osudové chyby. Zablokovali havarijní signál, který by po uzavření páry na turbínu odstavil reaktor. Kromě toho byl stále vypnut i systém havarijního chlazení aktivní zóny. Uzavřením rychloventilu turbogenerátou byl experiment zahájen. Reaktor pracoval dál na výkonu 200 MWt. Snížení výkonu 4 hlavních cirkulačních čerpadel od dobíhajícího turbogenerátoru vedlo k podstatnému snížení průtoku chladící vody reaktorem, rostla její teplota i tlak, což zvýšilo vývin páry a tím i zvýšení reaktivity a výkon reaktoru. Systém regulace výkonu bránil vzrůstu výkonu zasouváním absorpčních tyčí. Po jejich zasunutí pokračoval vzrůst výkonu až na cca 1600 MWt. Pokračující pokles průtoku chladiva a vzrůst množství páry vedl ke krizi varu, přehřátí a destrukcí paliva s následným narušením aktivní zóny (4, 29).

V 01:23:40h se katastrofa již neodvratně blížila. Operátoři dali tlačítkem signál havarijní ochrany I. Stupně k havarijnímu odstavení reaktoru zasunutím regulačních tyčí. Havarijní tyče se začaly rychlostí cca 0,4 $m.s^{-2}$ zasouvat do aktivní zóny , ale po několika sekundách bylo slyšet údery a tyče se se zastavily před dolní polohou. Přesto se v tomto okamžiku zřejmě zastavila řetězová reakce (4, 28).

Přibližně v 01:24h**,** pouhou jednu minutu po zahájení experimentu, došlo postupně ke dvěma výbuchům. Nebylo jednoznačně objasněno zda tato exploze byla způsobena reakcí vodíku vzniklého chemickými reakcemi mezi unikající párou a zirkoniem (v trubkách tlakových kanálů) nebo reakce mezi párou a grafitem se vzduchem

nebo důsledkem druhé výkonové exkurze. Exploze rozmetaly část aktivní zóny, včetně paliva a hořícího grafitu, způsobily destrukci horní části budovy reaktoru a poškození a obnažení aktivní zóny a vedly ke vzniku požáru na střeše turbínové haly a v prostorách reaktorové haly (4, 29).

1.4.5 Únik a šíření radioaktivních látek z havarovaného reaktoru

Únik radioaktivních látek při havárii v Černobylu neproběhl ve formě jediné události. V průběhu prvního dne uniklo pouze asi 25% z celkového úniku a zbytek úniku měl formu dlouhodobého děje trvajícího přes 9 dní. V průběhu tohoto období byly v SSSR získány vzorky vzduchu s usazených materiálů na jejichž základě sovětští odborníci zpracovali průběh vyjadřující časovou závislost na úniku. Tento průběh byl rozdělen do čtyř následujících fází (40, 41):

- počáteční intenzivní únik v průběhu prvního dne po havárii,
- pětidenní období, v němž únik klesl na hodnotu asi šestkrát nižší než počáteční únik
- období následujících 4 dní (6.-9. den), v němž únik vzrostl asi na 70% počátečního úniku
- náhlý prudký pokles úniku devátý den po havárii na méně než 1% z počátečního úniku s následujícím poklesem.

Radionuklidové složení částic a jejich fyzikální a chemická forma se lišili v závislosti na fázích havárie. Nejdříve došlo k výbuchu, při němž se do ovzduší dostalo rozprášené palivo, pak reaktor hořel a při vysokých teplotách unikaly těkavé radionuklidy, při hašení byl reaktor zasypáván borem, olovem a dolomitem, což se též projevilo na složení úniků. Vlivem měnících se metereologických podmínek se tak do různých částí Evropy dostávaly kontaminované vzdušné masy vzniklé v různých fázích havárie a tedy s různým složením. Velikost depozice pak ovlivňovaly nejvíce dešťové srážky v době přechodu vzdušných kontaminovaných mas vyskytly (4).

Pokud se týká chemicko fyzikální formy uniklých radionuklidů, jednalo se radioaktivní vzácné plyny, zejména izotopy xenonu a kryptonu, jichž uniklo při havárii z reaktoru téměř 100%. Dále to byly izotopy jódu v plynné fázi, ve formě

aerosolů i ve formě organické. Další těkavé prvky a sloučeniny, především telur a cesium, se do ovzduší dostaly formou aerosolů nebo s částicemi rozprášeného jaderného paliva. V menším zastoupení šlo o radioizotopy málo těkavých prvků, jako je cer, zirkonium, baryum a stroncium. Kromě toho se také do atmosféry dostaly vysoce aktivní fragmenty paliva (horké částice), jejichž množství bylo nejvíce v okolí Černobylu, ale byly nalezeny i ve Skandinávii a jihovýchodní Evropě. Celkový únik radioaktivity z Černobylu v roce 1986 je odhadován na 1,2 x 10^{19} Bq (4, 34).

V případě černobylské havárie se jednalo o největší dosud zaznamenaný krátkodobý únik radioaktivních materiálů z jednoho zdroje do atmosféry. Zejména čtyři prvky uvolněné z aktivní zóny nejvíce ovlivnily krátkodobou a dlouhodobou radiační situaci v postižených oblastech. Jednalo se zejména o jód (hlavně ^{131}I), cesium (^{134}Cs a ^{137}Cs), stroncium (hlavně ^{90}Sr) (29, 33).

Podle počátečního směru proudění větru v průběhu havárie se sovětské orgány domnívali, že radioaktivní oblak bude postupovat pouze na východ, tudíž okolní státy severní a západní Evropy tento únik nezasáhne. S tohoto důvodu zpočátku o havárii nepodali žádné informace. Jako první zaznamenali únik radionuklidů 27.4.1986 ve Švédsku a s mírným zpožděním po zrušení stávky pracovníků monitorovacích stanic i ve Finsku. Po prošetření, že nejde o havárii na žádné ze švédských elektráren se upoutala pozornost na sovětské elektrárny, které podle směru větru připadali v úvahu. Ke zjištění, že jde o černobylskou elektrárnu napomohlo vyhodnocení amerických družicových snímků (41).

Ve dnech havárie byl v Černobylu vítr velmi slabý a jeho rychlost se stále měnila. Výbuch černobylského reaktoru vynesl radioaktivní látky do výše asi 1500 metrů kde proudil vzduch o rychlosti 8-10 m.s^{-1}směrem z jihovýchodu. Vzniklý radioaktivní mrak byl větrem unášen přes západní část SSSR směrem na Finsko a Švédsko, kudy přeletěl a obrátil se zpět k místu svého vzniku. Ještě v den havárie však vítr na Ukrajině změnil směr a vál kontaminovanou vzdušnou masu přes Polsko přibližně směrem na tehdejší Československo a na Rakousko. Později se Dne 30 dubna 1986 větru a začal vítr proudit ze severovýchodu.. Vzdušná vlna odrazila od Alp a vracela

se zpět směrem na Polsko. I přes rozsáhlé zasažení radioaktivního mraku téměř po celé Evropě, k největším koncentracím kontaminace došlo v rozsáhlých oblastech SSSR kolem elektrárny, kde se nyní nachází Bělorusko, Rusko a Ukrajina (4,29).

1.4.6 Zdravotní následky černobylské havárie

Ve studiích zdravotního stavu osob ozářených v důsledku černobylské havárie jde o veliké počty lidí a rozsáhlá měření. Získání věrohodných a úplných informací vyžadovalo koordinaci všech šetření. Základem šetření byl Všesvazový klinicko-dozimetrický registr založený v roce 1987, jehož koordinací bylo pověřeno Radiologické centrum v Obninsku. Do roku 1991 registr zahrnul celkem 659 292osob, které patřily do některé z následujících čtyř skupin (42):

- účastníci záchranných prací -"likvidátoři" 43%
- evakuovaní z nejvíce kontaminovaných zón (depozice ^{137}Cs>1480 kBq.m^{-2}) 11%
- rezidenti ve významně kontaminovaných zónách(>555 kBq.m^{-2}) 45%
- děti rodičů (skupin 1-3) narozené po havárii 1%

Registr byl pojat jako otevřený, takže během let narůstal počet registrovaných případů, a to velmi podstatně. Po rozpadu SSSR v roce 1991 se sledování převedlo do působnosti jednotlivých následnických státu. Celkový souhrnný počet osob je uveden v tabulce 6 (42).

Tabulka 5 - Velikost sledovaných populací.

Populace	Počet lidí	Efektivní dávka (průměr)
Likvidátoři v roce1986-1887	240000	100mSv
Evakuovaná populace v roce1986	116000	33mSv
Kontaminované území >555kBq.m-2	270000	50mSv
Kontaminované území >37,5kBq.m-2	5000000	10mSv

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/zdravotni_nasledky_cernobylu.pdf (42).

Spolehlivé kvantitativní stanovení důsledků ozáření na zdraví však mohou poskytnout jen studie analytického typu, které vyžadují rekonstrukci dávek záření u jednotlivců. Nejčastěji aplikovanou metodou tohoto druhu jsou studie typu případ

– kontrola, vychází z identifikace jednotlivců postižených daným typem onemocnění, jimž se přiřazuje individuálně přiřazený kontrolní subjekt obdobné biologické-sociální charakteristiky. Porovnání individuálních dávek postižených a nepostižených se odvozují hledané kvantitativní ukazatele k prokazatelnosti způsobených rizik ozářením .

Zdravotní následky lze u Černobylské havárie můžeme dělit na bezprostřední (časné) a pozdní. Bezprostřední účinky jsou zastoupeny akutní nemocí z ozáření pouze u osob v přímém kontaktu s výbuchem a následnou likvidací. Z důležitosti následků na obyvatelstvo z hlediska veřejného zdraví převládá význam účinků pozdních (43) .

Akutní nemoc z ozáření

Nejvyššími dávkami radioaktivního záření byli zasaženi pracovníci elektrárny, kteří se nacházeli na místě a blízkém okolí nehody a záchranáři (zejména hasiči), kteří řešili akutní následky havárie během prvního dne, tedy 26. dubna 1986. Jednalo se celkem o zhruba 1000 osob. V této skupině mohly dávky ozáření dosahovat hodnot v rozmezí 2 -20 Gy . Celkem u 134 osob z této skupiny byla diagnostikována a potvrzena akutní nemoc z ozáření, 28 z nich zemřelo v časném období (42, 44).

U 13 pacientů ozářených v rozmezí 5,6-13 Gy byla provedena transplantace kostní dřeně s nezřetelným efektem Pouze dva z nich se z akutní z ozáření zotavili, na neúspěchu se na dalších obětí podílely rozsáhlé popáleniny, plicní komplikace a imunologické reakce. Celkově v pozdějším období po havárii jaderné elektrárny Černobyl, tzn. v letech 1987 až 2004, zemřelo ze skupiny s diagnostikovanou akutní nemocí z ozáření z různých příčin celkem 19 osob, avšak jen u 5 byla jednoznačně prokázána smrt způsobena ozářením.Za zmínku stojí, že řada osob, která přežila akutní nemoc z ozáření, přivedla.později na svět zdravé potomky (45).

U populace z okolí Černobylu, které bylo zasaženo radioaktivním zamořením z havarované elektrárny, se akutní nemoc z ozáření vůbec neprojevila.

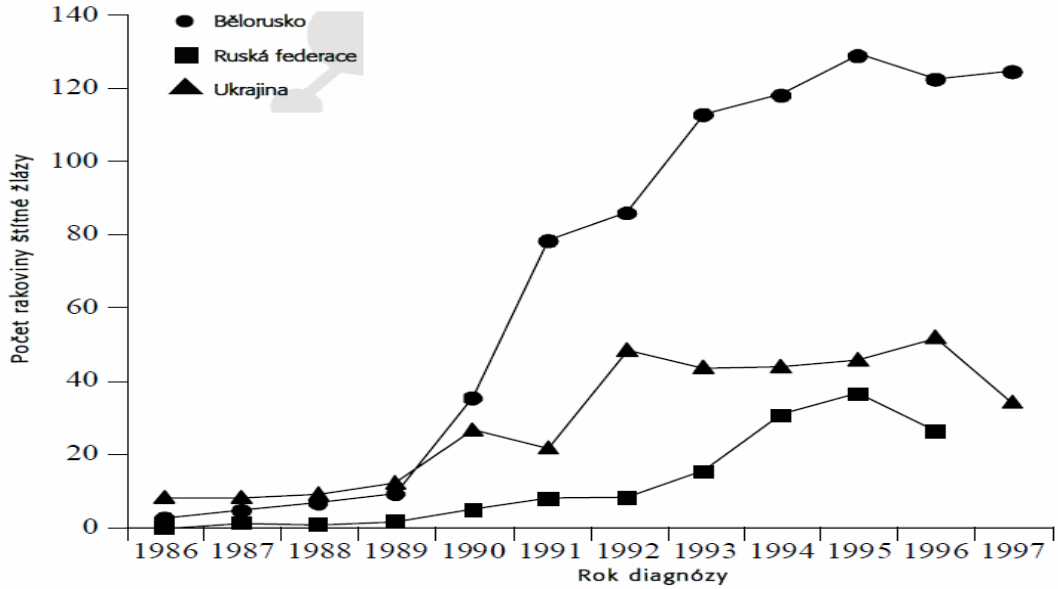
Rakovina štítné žlázy

Za jednoznačně prokázaný pozdní účinek havárie v Černobylu, jehož příčinou je radioaktivní zamoření, je považován zvýšený výskyt rakoviny štítné žlázy u jedinců ozářených v dětském věku. V létech 1992-2000 bylo v Bělorusku, Rusku a Ukrajině diagnostikováno přibližně 4000 případů rakoviny štítné žlázy u těch, kteří v době havárie byli děti a adolescenti do18let včetně asi 3000 postižených ve věkové skupině do14 let (45).

Pro hodnocení významu těchto zjištěních jsou významné informace o klinických důsledcích u postižených dětí. Úspěšnost léčení těchto rakovin je překvapivě vysoká. ‘U 1152 případů rakoviny štítné žlázy diagnostikovaných mezi dětmi v Bělorusku, které byly ošetřeny v letech 1986-2002, byl podíl těch, které přežily 98,8%.

8 pacientů zemřelo vlivem progrese rakoviny štítné žlázy a dalších 6 pacientů zemřelo z jiných příčin. Jeden pacient s rakovinou štítné žlázy zemřel v Rusku (45).

Průběhy zvyšování počtu onemocnění v jednotlivých zemí je znázorněno na obrázku 6.



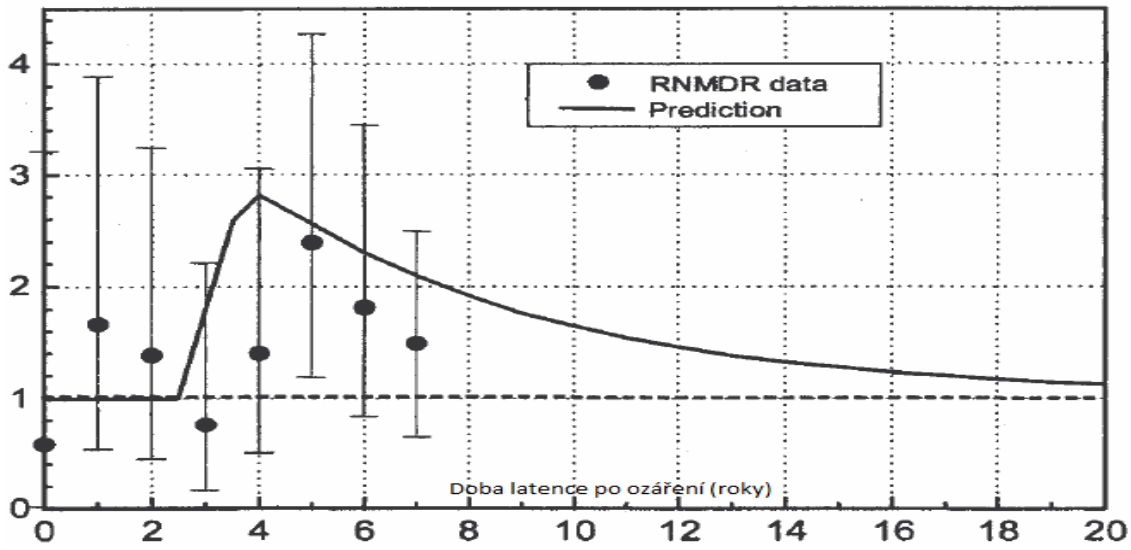
Obrázek 6 - Rakovina štítné žlázy u dětské populace v Bělorusku, Rusku a Ukrajině

Zdroj: http://www.unscear.org/docs/reports/annexj.pdf (46)

Leukémie a ostatní nádorová onemocnění

Kromě úmrtí na akutní nemoc z ozáření experti z různých zemí intenzivně studovali úmrtnost mezi pracovníky, kteří se podíleli na likvidaci následků havárie a nápravných operacích, a také mezi populací kontaminovaných oblastí v Bělorusku, Rusku a na Ukrajině. Přímé epidemiologické studie provedené od roku 1986 zatím neodhalily žádný nárůst úmrtnosti vyvolaný ozářením u široké veřejnosti, zejména způsobené leukémií a nádorovými onemocněními (jinými než rakovina štítné žlázy u dětí) nebo nerakovinným onemocněním nad spontánní úroveň. Určitý ozářením vyvolaný nárůst nemocnosti a úmrtnosti konkrétně na leukémii, nádorová onemocnění a choroby oběhového systému byl hlášen u ruských pracovníků podílejících se na likvidaci následků havárie a nápravných operacích. Podle údajů ruského registru může být asi 5% úmrtí, ke kterým došlo v letech 1991 až 1998 ve zkoumané skupině 61 000 ruských pracovníků vystavených průměrné dávce 107mSv, způsobeno chorobami vyvolanými radiací. Absolutní počet úmrtí na nádorová onemocnění, choroby oběhového systému a leukémii v této skupině, která lze přičíst záření, se odhadoval asi na 230 případů (42).

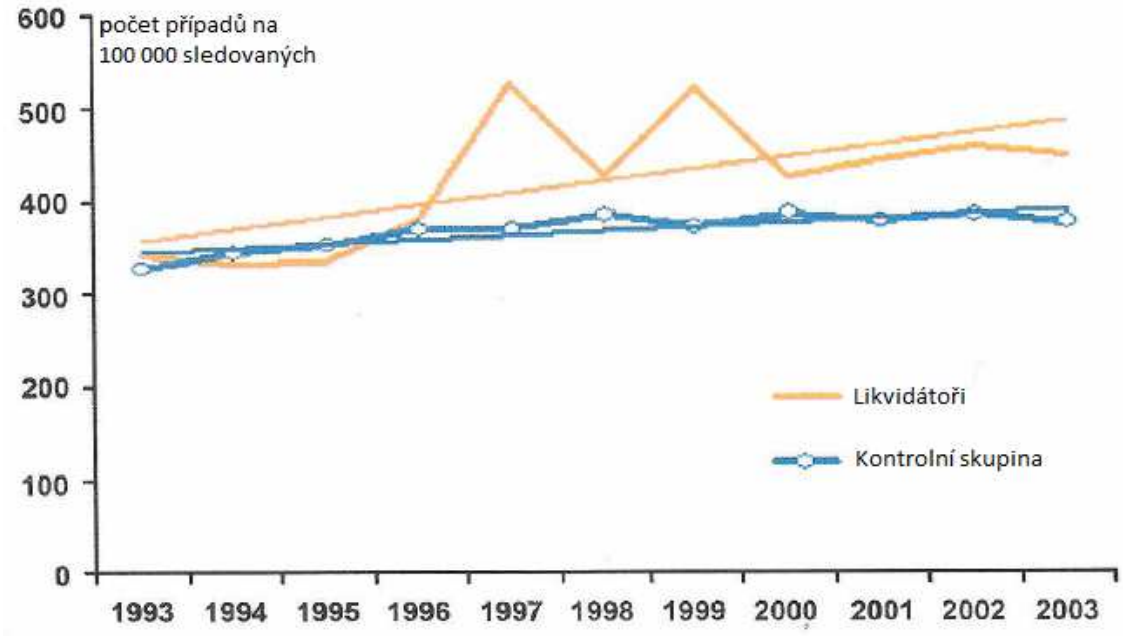
Významným indikátorem vyššího ozáření populací bývá zvýšený počet leukémií. Poměrně vysoké absolutní riziko na jednotku dávky a nízký spontánní výskyt působí příznivě pro statistický průkaz jejich nárůstu. K tomu přistupuje poznatek z japonských studií, že doba latence je poměrně krátká 5 až 15let po expozici. V černobylských studiích však nebyla zjištěna zvýšená incidence u dětí, i když v nižších věkových skupinách je relativní riziko daleko vyšší. Nejvýznamnější nálezy byly zjištěny v populaci ruských likvidátorů, kteří obdrželi v roce 1986 průměrnou dávku 0,17Gy. Do roku 1993 bylo prokázáno 48 leukémií (42, 45). Výsledky zjištění nejlépe vystihuje následující obrázek 7.



Obrázek 7 - Standardizovaná incidence leukémie u likvidátorů

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/zdravotni_nasledky_cernobylu.pdf (42)

Výskyt orgánově lokalizovaných maligních onemocnění označovaných jako solidní nádory vyhodnocovalo několik studií. Tyto studie nepřinesly přesvědčivé výsledky, které by zvýšený výskyt solidních nádorů prokazovaly. Významnější nárůst oproti neexponované skupině je prokazatelnější mezi nechráněnou skupinou likvidátorů. Jedná se maligní tumory, např. plic, močového měchýře, kůže a žaludku. U rakoviny žaludku o 15%, tlustého střeva o 33%, rakoviny plic o 26%, močového měchýře o 65% a ledvin o 24%. Relativní nebezpečí výskytu maligního tumoru u likvidátorů začalo narůstat v roce 1997 a postupně se dále zvyšovalo. Tempo růstu u likvidátoru je viditelně vyšší než tempo u kontrolní skupiny obyvatel (45).

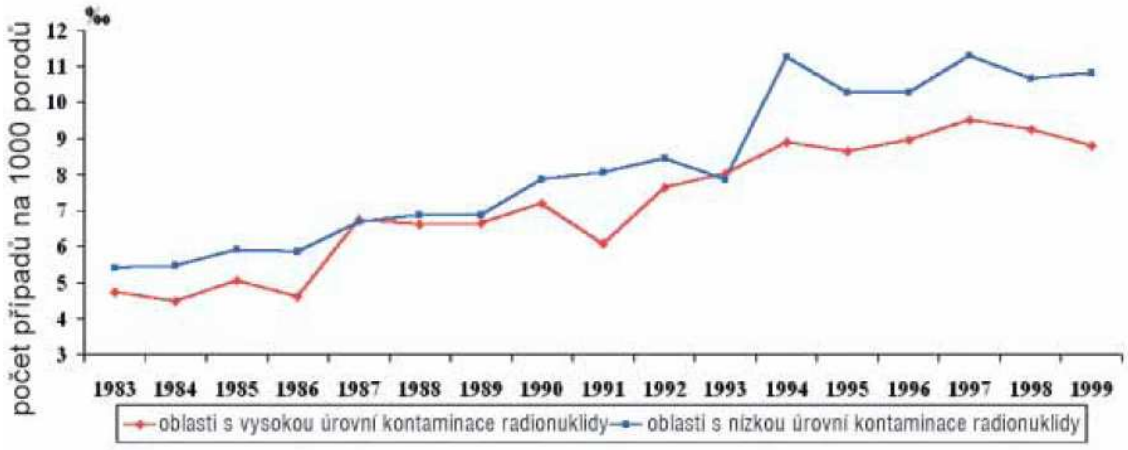


Obrázek 8 - Dynamika míry výskytu maligního tumoru u likvidátorů a populace kontrolní skupiny

Zdroj: KUVSHINIKOV, A. V. 20 yers after the Chernobyl catastrophe (47)

Genetické změny a reprodukčnost

Doposud nebyl prokázán žádný vliv radioaktivního záření na výskyt vrozených (dědičných) vad či jiných genetických efektů. Pokud jde o vrozené malformace je sice zhruba od poloviny roku 1986 ve statistikách zvýšený nárůst vrozených vad , ale to jak v zasažených, tak i nezasažených oblastech Běloruska. Odborníci však tento růst nepřičítají v souvislosti se zvýšenou radiací, ale pravděpodobně zlepšení úrovně registrace takových onemocnění. Je známo, že registrace vrozených poruch a malformací byla do té doby (do jaderné havárie v Černobylu) v Sovětském svazu na velice nízké úrovni (45).



Obrázek 9 - Rozšíření vrozených malformací v oblastech Běloruska

Zdroj:http://www.csvts.cz/cns/news06/cernob06.pdf (48)

Vzhledem k nízkým dávkám, kterým byli vystaveni obyvatelé oblastí postižených černobylskou havárií, neexistuje žádný důkaz ani pravděpodobnost snížené plodnosti u mužů i žen v široké veřejnosti jako přímý důsledek ozáření. Je také nepravděpodobné, aby tyto dávky měli vliv na počet mrtvě narozených dětí, nepříznivý konec těhotenství, porodní komplikace. U nejvíce postižené skupiny s akutní nemocí z ozáření nelze vyhodnocovat ztrátu fertility z důvodu nezaznamenaných hodnot k porovnání ještě před havárii. Byla však uvedena zpráva o 14 případech rodičovství v prvních pěti letech po nehodě u lidí, kteří nemoc z ozáření přežili a kteří se dočkali úspěšné regenerace fertility (44).

Zákal oční čočky (katarakta)

Zákalu oční čočky byla z orgánově lokalizovaných poškození věnována největší pozornost. V ukrajinsko-americké studii byla vybrána skupina 11 797 likvidátorů, která byla vyšetřena dvakrát v odstupu dvou let. Klinicky významná kataraktami II. až.V. stupně (zhoršující se virus) byla zjištěna u 131 osob (1,1%), katarakta I. stupně se vyskytla ve 20%. Důležitým radiobiologickým poznatkem je nový názor na hodnotu prahové dávky, katarakta byla zjištěna i po dávkách 0,25Gy. Otevřely se úvahy, zda proces zhoršování katarakty, tedy rozvoj zákalů nemá případně bezprahovou dávku (42).

Duševní zdraví a psychologické následky

Problematika psychologických a sociálních následků černobylské havárie přesahuje rámec zdravotních následků. Zdravotních účinky deterministického a stochastického typu přímo souvisejí s reálným ozářením bez ohledu na to, zda si to lidé uvědomují jak subjektivně riziko vnímají. Zkušenost však ukázala,že psychosociální důsledky havárie mohou daleko převyšovat všechny přímé účinky (4).

Jakákoliv traumatická příhoda nebo událost může způsobit výskyt příznaků stresu, deprese, úzkosti (včetně post-traumatických stresových symptomů) a lékařsky nevysvětlených fyzických symptomů. Černobylská havárie vedla k rozsáhlému stěhování lidí, ztrátě ekonomické stability a dlouhodobých zdravotních hrozeb v běžných i možná budoucí generace. U zasažené populace se dostavily pocity obav a zmatku, stejně jako nedostatek fyzické a emocionální pohody Ve třech studiích se zjistilo, že u obyvatel, kteří byli vystaveni ozáření, byla hladina úzkosti dvakrát vyšší než u kontrolních skupin a fyzické symptomy a subjektivně špatný zdravotní stav byla 3-4 krát vyšší než u radiací nezasažených kontrolních skupin (49).

Navíc byli lidé v zasažené populaci oficiálně označeni nálepkou „oběti Černobylu“, takže často přijali roli invalidů. Je známo, že je-li situace chápána jako skutečná, je skutečná i ve svých důsledcích. Takže postižení jednotlivci se spíše podporovali v tom, aby se vnímali jako bezmocní, slabí a neschopní kontrolovat svoji budoucnost, než jako „ti, kteří přežili“ (29).

1.5 Dopady havárie na území České republiky

V Československu byl v době černobylské havárie státní dozor nad radiační ochranou v kompetenci ministerstev zdravotnictví České republiky a Slovenské republiky a byl realizován činností hlavních hygieniků obou republik a hygieniků krajských. Příslušní odborníci působili jednak v Centru hygieny záření Institutu hygieny a epidemiologie (CHZ IHE) v Praze, na Slovensku ve Výzkumném ústavu preventívného lekárstva v Bratislavě, dále pak v odborech hygieny zařízení Krajských

hygienických stanic (KHS) a ve specializovaném ústavu hygieny práce v uranovém průmyslu. Odborníci hygieny záření byli dobře seznámeni s problematikou radiačních nehod a s mezinárodními dokumenty k těmto otázkám, k němu patřily zejména publikace Mezinárodní agentury pro atomovou energii, Světové zdravotnické organizace a Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu. Soustavné úsilí odborníků radiační ochrany a jaderné bezpečnosti vedlo u příležitosti spuštění jaderné elektrárny V1 v Jaslovských Bohunicích na Slovensku k vydání Pomůcky pro civilní ochranu „Ochrana obyvatelstva a opatření v národním hospodářství při radiační havárii JEZ“ (CO-51-6) již v r. 1980. Tato pomůcka počítala s možností nadprojektové havárie a obsahovala mj. úrovně dávek, při úniku jsou doporučena protiopatření na ochranu obyvatelstva. Komise vlády ČSSR pro koordinaci opatření při radiační havárii JEZ (Vládní havarijní komise – VHK) schválila Směrnici o zásadách monitorování při radiační havárii JE v únoru 1986. Tato směrnice však nepočítala s dopadem velké havárie jaderného zařízení ležícího v zahraničí na naše území, při černobylské havárii proto nebyla zcela dokonalým vodítkem nicméně připravený systém mohl být okamžitě uveden v činnost. V jeho rámci byla pozornost věnovaná shromažďování a vyhodnocování výsledků měření a dalších získaných informací v následujících oblastech (4):

- monitorování radiační situace na území Československa (České a Slovenské republiky),
- sledování radionuklidů v potravinách,
- speciální sledování obsahu radionuklidů v dětské mléčné výživě,
- odhad povrchové kontaminace území České republiky po Černobylské havárii,
- vnitřní kontaminace obyvatelstva stanovena celotělovým měřením,
- odhad efektivního dávkového ekvivalentu od zevního ozáření a úvazku efektivního dávkového ekvivalentu od vnitřního ozáření,
- výskyt radioizotopů Cesia v přírodních ekosystémech,

- využití výsledků pohavarijního monitorování k ověřování modelu šíření (program MAAE VAMP),
- srovnání vlivu černobylské havárie s vlivem zkoušek jaderných zbraní,
- opatření na ochranu obyvatelstva po černobylské havárii,
- posouzení zdravotních následků černobylské havárie.

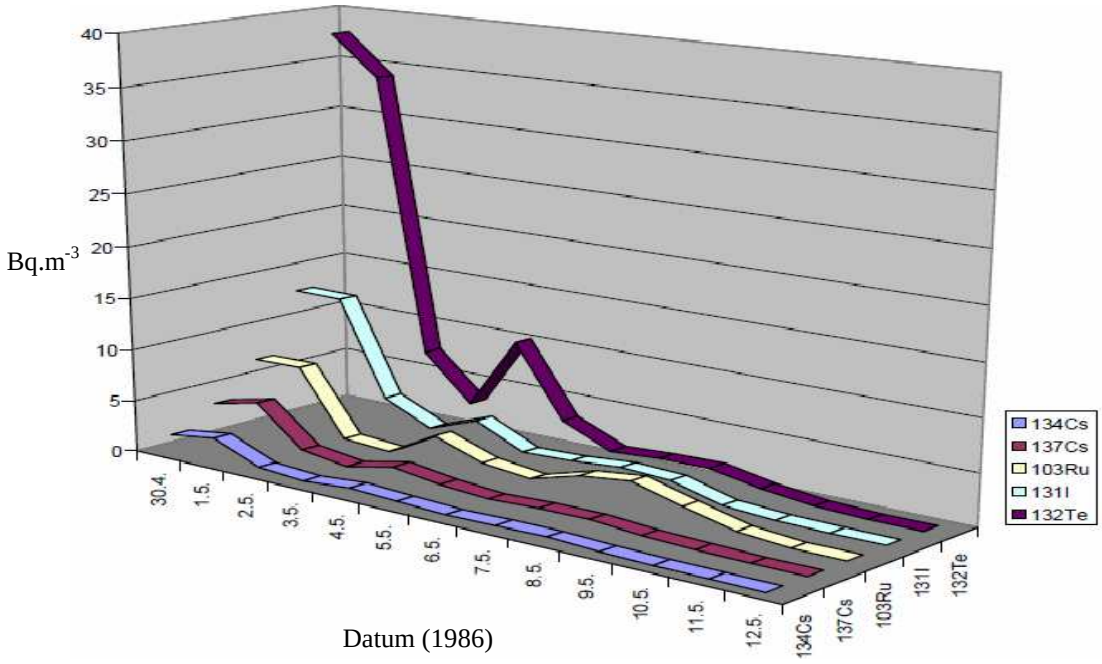
1.5.1 Radiační situace v České republice

Kontaminace ovzduší

První signály o příchodu vzdušných kontaminovaných mas na naše území zachytily v průběhu noci z 29. na 30.dubna 1986, stejně jako v jiných zemích, jaderné elektrárny v rámci prováděných kontrolních měření. V ranních hodinách začalo systematické měření i na některých odborech hygieny záření Krajských hygienických stanic a v Centru hygieny záření IHE, které bylo pověřeno sběrem dat o aktuální radiační situaci (51).

Byly zaznamenány celkem tři významné průchody. První v noci z 29. na 30.dubna 1986, druhý 3. až 4.května 1986 a třetí 7.května 1986. V aerosolech bylo identifikováno až 20 různých radionuklidů, přitom typické hodnoty z hlediska expozice významných radionuklidů (^{131}I,^{132}Te,^{137}Cs,^{134}Cs,^{103}Ru) se pohybovaly v řádu jednotek až desítek Bq.m^{-3} (obr.2). Z výsledků velikostní distribuce vyplývaly výrazné rozdíly pro aerodynamické mediány aktivit AMAD radionuklidů pro skupiny těkavých radionuklidů ^{131}I,^{132}Te,^{137}Cs,^{134}Cs,^{103}Ru,^{106}Ru s menším AMAD, a netěkavých radionuklidů ^{140}La,^{140}Ba,^{141}Ce,^{144}Ce,^{95}Zr,^{96}Nb. Velikostní rozdělení spolu s rozdělením na skupiny naznačovalo rozdílný původ částic, netěkavé radionuklidy a část těkavých radionuklidů na aerosolech s vyšším AMAD pocházely pravděpodobně z rozprášení paliva, zatímco část těkavých radionuklidů s menším AMAD z kondenzace. Poměr jednotlivých radionuklidů se během nehody měnil, to umožnilo využít například poměru^{103}Ru a^{137}Cs k identifikaci jednotlivých průchodů vzdušných kontaminovaných mas (51).

Časový průběh objemových aktivit nejvýznamnějších radionuklidů, měřený v prvních dnech po nehodě do 10.5.1986 je znázorněn na obrázku 10.



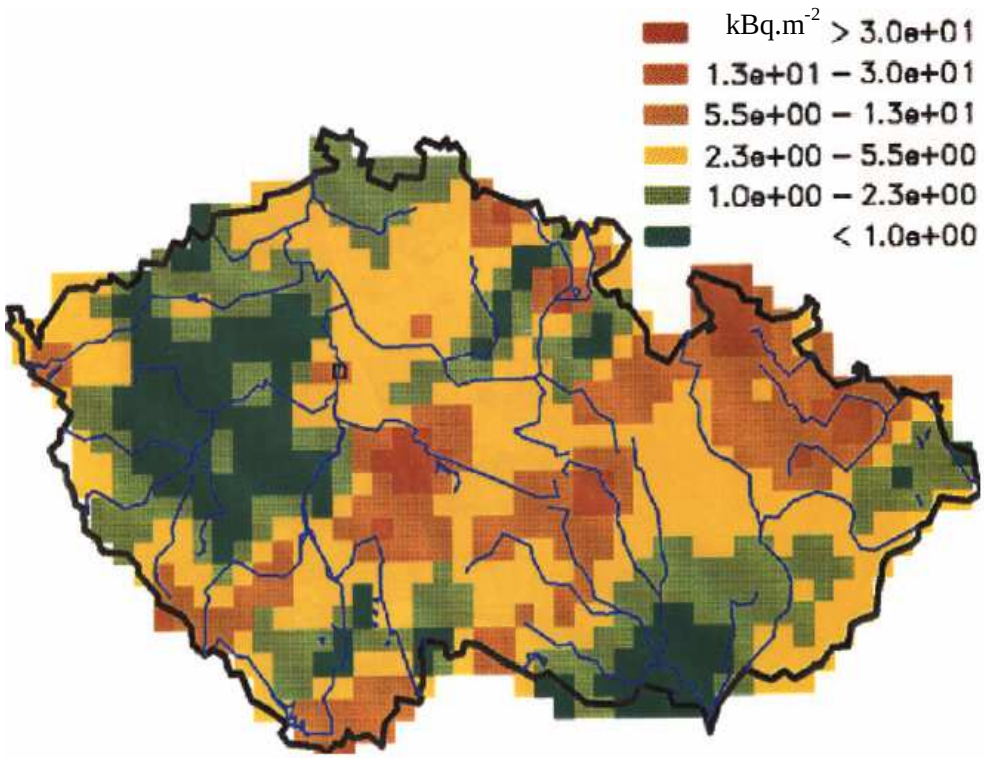
Obrázek 10 - Objemové aktivity významných radionuklidů v prvních dnech po havárii

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf (51)

Důležité je zmínit zastoupení jodu v různých fyzikálně chemických podobách, a to přibližně: v aerosolové formě bylo 20 až 30% aktivity, v plynné podobě cca 30 až 40 % a v podobě CH_3I 30 až 40 %. V odebraném vzdušném aerosolu byla stanovena objemová hutivita ^{90}Sr a ^{89}Sr, která byla však 10-50x nižší než objemové aktivity ^{137}Cs. To mj. výrazně odlišuje spad z černobylské havárie od spadu ze zkoušek jaderných zbraní v atmosféře, kde byl poměr aktivit ^{137}Cs/ ^{90}Sr zhruba konstantní. V dalších speciálních analýzách bylo ve vzduchu stanoveno i malé množství transuranů $^{239+240}$ Pu a ^{242} Cm na úrovni $\mu Bq.m^{-3}$, malé zvýšení aktivity tritia a 30.dubna 1986 byl na úrovni desítek $Bq.m^{-3}$ naměřen rovněž ^{133}Xe (52).

Kontaminace území

V roce 1986, krátce po černobylské havárii, se uskutečnil 16. až 17. června podrobný průzkum kontaminace svrchní vrstvy půdy ČR cesiem ^{137}Cs a dalšími radionuklidy. O kontaminaci svrchní vrstvy půdy se předpokládalo, že byla dominantně způsobena černobylskou havárií. Heterogenní distribuce ^{137}Cs a dalších radionuklidů po havárii JE Černobyl na území ČR byla důsledkem nerovnoměrným srážek s průchodem kontaminovaného mraku (několik průchodů v různých směrech). Vyšší hodnoty byly nalezeny především v oblastech severní Moravy a dále v jihovýchodní části republiky od Vysočiny směrem na Šumavu (43).

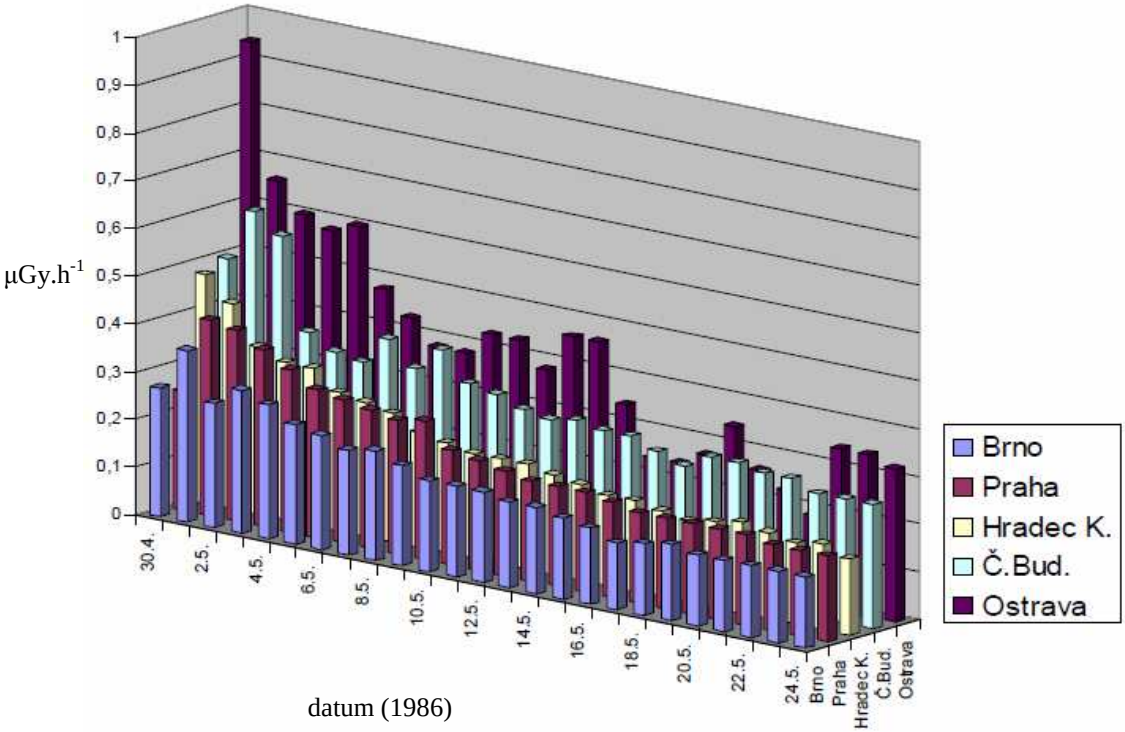


Obrázek 11 - Plošné aktivity 137Cs na území České republiky krátce po havárii zjištěné v celostátním průzkumu ve dnech 16. − 17. 6. 1986

Zdroj: http://www.jihoceskematky.cz/dokumenty/Sbornik.pdf (43)

Zevní ozáření

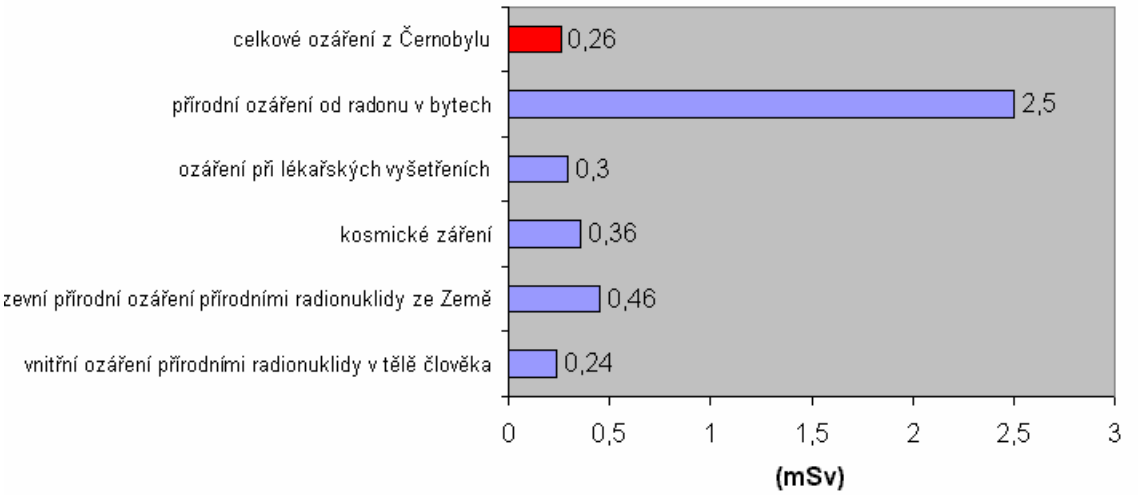
Zatímco přímé zevní ozáření z přechodu „radioaktivního mraku“ bylo zanedbatelné (lze ho výpočtem odhadnout na méně než 0,001 mSv), ozáření ze spadu bylo významnější. Krátkodobě došlo ke zvýšení příkonu dávkového ekvivalentu na několikanásobek přírodního pozadí, a toto zvýšení bylo běžnými prostředky měřitelné v časovém horizontu několika týdnů. Na příspěvku k zevnímu ozáření se podílely z krátkodobých radionuklidů zejména ^{132} Te^{132}, I, ^{131}I a ^{103}Ru dlouhodobě zejména radioizotopy cesia ^{137} Cs a ^{134} Cs. Po vymření krátkodobých radionuklidů po cca 2 až 3 měsících se zvýšení dávkového příkonu způsobené prakticky již jen izotopy cesia nedá na většině území měřením (při průměrné kontaminaci ^{137}Cs cca 5 kBq.m^{-2}) již po několika týdnech běžným měřením odlišit od přírodního pozadí v Čechách na úrovni 0,1 μGy.h^{-1} (51). Ukázka dávkového příkonu v několika odlišných místech je na obrázku 13.



Obrázek 12 - Objemové aktivity významných radionuklidů v prvních dnech po havárii

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf (51)

Podle podrobných měření byla průměrná efektivní dávka obyvatelstvu na našem území v roce 1986 0,26 mSv, což je asi desetina dávky obdržené občanem z přírodního radioaktivního pozadí (52). Podíl ozáření (v mSv) průměrného obyvatele ČR v roce 1986 lze vidět z přiloženého obrázku 13.



Obrázek 13 - Podíl ozáření průměrného obyvatele ČR v roce 1986

Zdroj: http://chernobylzone.cz/radiacni-davky/ (52)

Sledování obsahu radionuklidů v potravinách

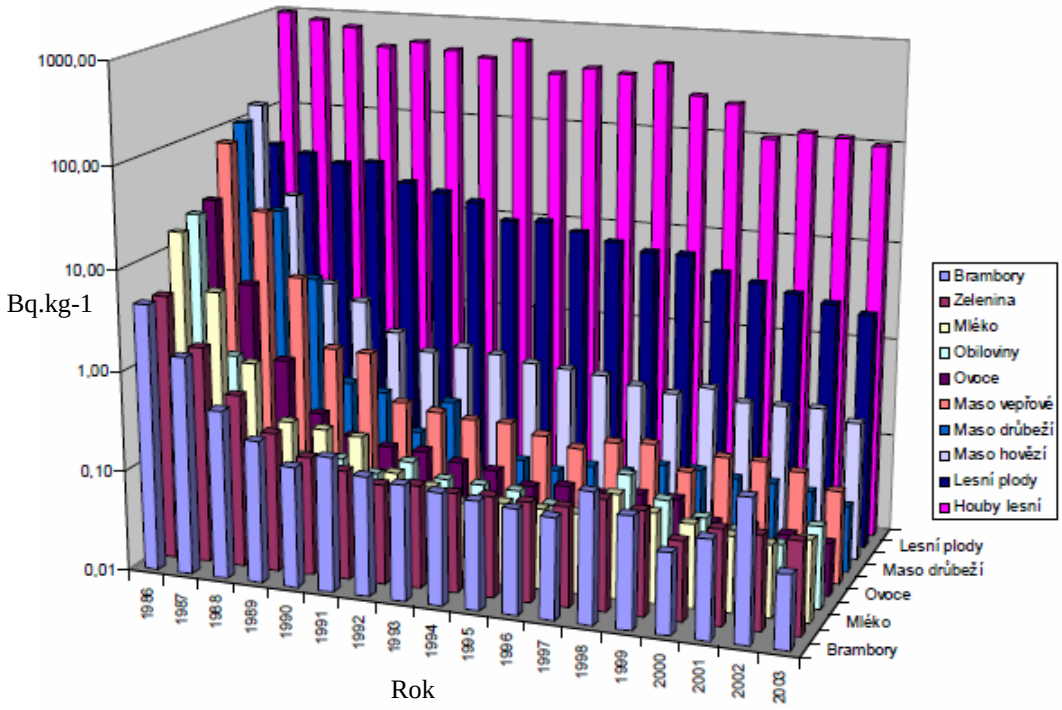
Ke kontaminaci došlo na začátku vegetačního období, kdy byla vzrostlá (a to částečně) pouze tráva a některá listová zelenina. V období na přelomu dubna a května se při krmení hospodářských zvířat teprve přecházelo na zelené krmivo. Pro základní představu: hmotnostní aktivity významných radionuklidů se u trávy pohybovaly v rozmezí stovek až tisíců $Bq.kg^{-1}$, ale díky hmotnostnímu přírůstku (a rozpadu např.^{131}I) poměrně rychle klesaly. Hlavní pozornost byla proto soustředěna na sledování obsahu radionuklidů v mléce a mléčných produktech, protože tyto produkty byly nejvýznamnějším zdrojem příjmu ^{131}I, ^{137}Cs a ^{134}Cs potravinovým řetězcem. Očekávalo se, že tato expoziční cesta je pravděpodobně významnější než inhalační příjem, a je přitom regulovatelná. Pozornost byla zaměřena na 25 vybraných mlékáren, více méně geograficky rovnoměrně rozložených po území Československa. Produkce těchto mlékáren pokrývala 30% veškeré přímé spotřeby mléka. Mimo to bylo v květnu, červnu a prosinci 1986 provedeno několik celostátních průzkumů,

které zahrnovaly všechny mlékárenské závody ve státě. Účelem bylo najít dosud nezachycená místa s vyšší kontaminací, na něž by se případně měla aplikovat regulační opatření, zjistit reprezentativnost zvolených mlékáren a zjistit, zda existuje vztah mezi výší kontaminace mléka a spadem v dané svozové oblasti (4).

Speciální pozornost byla věnována dětské mléčné výživě (DMV) zajišťované podnikem Průmysl mléčné výživy Hradec Králové v závodech Opočno a Zábřeh na Moravě. Oblast, ze které se sváželo mléko do těchto závodů, zahrnovala převážně okresy více zasažené radioaktivním spadem (Náchod, Ústí nad Orlicí, Šumperk). To se projevilo již v prvých dnech května zvýšeným obsahem radionuklidů ^{131}I, ^{134}Cs a ^{137}Cs v DMV. Byly proměřeny objemové aktivity mléka z jednotlivých kravínů, svozové linky, kontrolovány směsné vzorky z každého dne výroby vždy a to dvakrát - jednak ihned po ukončení výroby, jednak po zabalení ještě před expedicí výrobků. Distribuce DMV vyrobené po 29.4.1986 v závodech PMV Opočno a Zábřeh byla pozastavena a podmíněna souhlasem hlavního hygienika. Teprve po vyčerpání zásob byla tato výroba uvolněna zčásti pro expedici. Vycházelo se z výsledků měření a uvolňovány jako DMV byly výrobní šarže s nejnižším obsahem radionuklidů. Již tímto zpožděním v distribuci byl prakticky eliminován z DMV krátkodobý ^{131}I a obsah radioizotopů cesia byl omezen na v té době asi nejnižší reálně dosažitelnou úroveň (4,29).

Z dalších potravin byly sledovány ty, které jsou z hlediska spotřeby obyvatelstvem nejvýznamnější, tj. kromě mléka zejména maso, dále obilniny, zelenina, ovoce. Hmotnostní aktivity ^{131}I u listové zeleniny (salát, špenát, přezimující pórek..), případně u jarních sušených léčivých rostlin se v prvních dnech pohybovaly v řádu až tisíců $Bq.kg^{-1}$, v ovoci a kořenové zelenině se díky poločasu a vegetačnímu období kontaminace ^{131}I projevila minimálně. Kontaminace ovoce a zeleniny cesiem v roce 1986 se pohybovala v rozpětí jednotek až desítek $Bq.kg^{-1}$ (výjimečně stovek u rybízu), kontaminace obilnin ve sklizni 1986 v rozmezí jednotek až desítek $Bq.kg^{-1}$ (51).

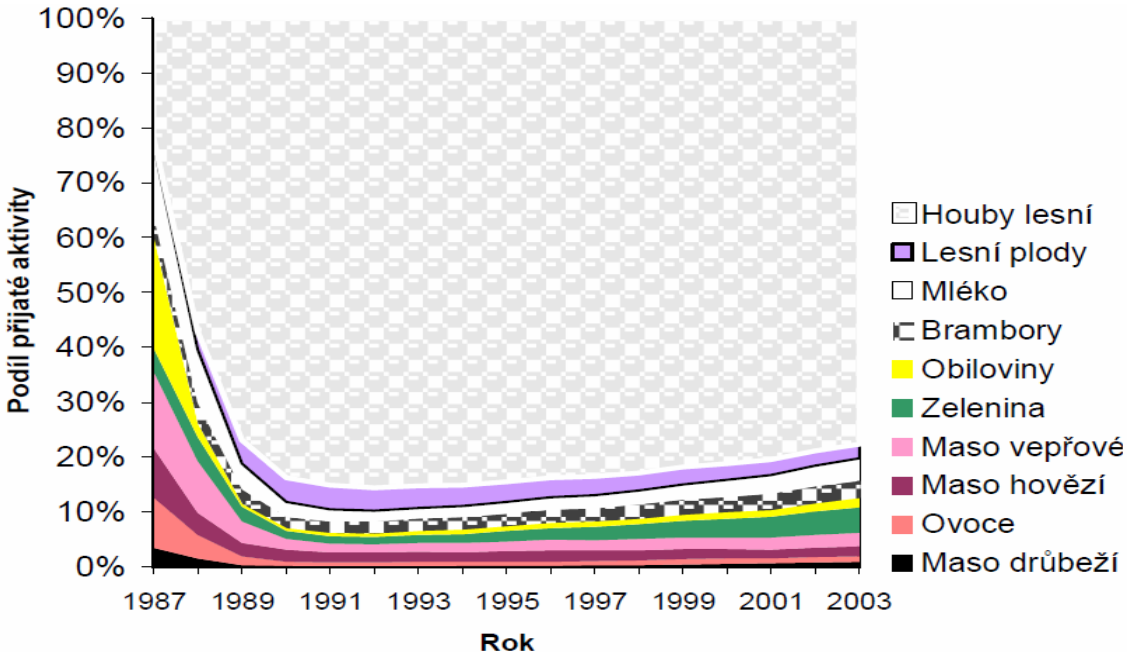
Dlouhodobý vývoj hmotnostních aktivit ^{137}Cs v potravinách je zobrazen v následujícím obrázku 14.



Obrázek 14 - Dlouhodobý časový vývoj hmotnostních aktivit ^{137} Cs v potravinách

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf (51)

Jelikož se od černobylské havárie pravidelně vyskytovaly dotazy na úrovně aktivit přírodních ekosystémů, bylo měření vzorků hub a lesních plodů také zařazeno do monitorovacího plánu vyhlášeno Radiační monitorovací sítí ČR. Průměrné hodnoty hmotnostních aktivity v těchto potravinách jsou dodnes uváděny ve Zprávách o radiační situaci ČR vydávané SÚRO. Vzhledem k tomu, že se v žádných souhrnných zprávách neuvádějí údaje o roční spotřebě jednotlivých potravin, bylo v rámci jednoho z výzkumných projektů provedeno statistické šetření, v němž byla zjištěna průměrná spotřeba hub u obyvatel ČR 2,1 kg, 1,4 kg lesních plodů a 0,24 kg zvěřiny (50,51). Na následujícím obrázku 15 je vidět podíl jednotlivých potravin na příjmu ^{137}Cs.



Obrázek 15 – Podíl jednotlivých potravin na příjmu ^{137} Cs

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf (51)

Odhad úvazku efektivní dávky z vnitřní kontaminace

Úvazek efektivní dávky od vnitřního ozáření se počítá po celou dobu od černobylské havárie zásadně na základě celotělového měření. Měření se provádí in vivo, při němž se měří aktivity radionuklidů v těle nebo jednotlivých orgánech člověka celotělovým počítačem, což je vlastně spektrometr gama s polovodičovým nebo scintilačním detektorem umístněným ve stíněné kobce, aby byla vyloučena interference záření s radionuklidy z prostředí. Po černobylské havárii bylo těmito zařízeními měřeno několik skupin osob. Výsledky tohoto měření se staly cenným zdrojem informací pro odhad dávek z vnitřního ozáření z ^{137}Cs, ^{134}Cs,, ^{131}I, ^{132}Te + ^{132}I a ^{103}Ru. Výhodou oproti odhadu dávek z měření potravin a prostředí je použití daleko menších předpokladů a tedy reálnějších dávek. Osoby pro celotělová měření nebyly speciálně vybírány, šlo většinou o dobrovolníky z Centra hygieny záření IHE a dalších pracovišť Institutu hygieny a epidemiologie, dále o pracovníky Krajských hygienických stanic a Okresních hygienických stanic. Měření též prováděla laboratoř osobní dozimetrie

jaderné elektrárny Dukovany, kde byly monitorování pracovní při běžných kontrolách. Během prvního období bylo ovšem nutno predikci dávek do budoucna použít modelových výpočtů, které braly v úvahu jak naměřené aktivity v potravinách, tak i v krmivu a jejich předpokládaný časový vývoj. Tyto odhady se ukázaly jako nadhodnocené, ale je nutné je uvádět, protože se nacházejí v oficiálních Zprávě o radiační situaci na území ČSSR z roku 1987. V dalších publikacích jsou odhady založené na experimentálních hodnotách, které ukázaly dávky o něco nižší (51). V tabulce 6 jsou uvedeny novější hodnoty úvazků efektivní dávky z příjmu radionuklidů v roce 1986 a v tabulce 7 je srovnání původních a nových odhadů dávek vnitřního ozáření v celkovém součtu i se zevním ozářením (51,53).

Tabulka 6 – Úvazky efektivní dávky z příjmu radionuklidů v r. 1986

	Inhalace μS	**Ingesce μS**	**Celkem μS**	**Relativně (%)**
^{131}I	94	2	96	63
^{132}I+^{132}Te	16	-	16	10,5
^{103}Ru	0,7	-	0,7	0,1
^{137}Cs	2,5	21	23,5	15,4
^{134}Cs	1,8	14,5	16,3	11
Celkem	115	37,5	152,5	100

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf (51)

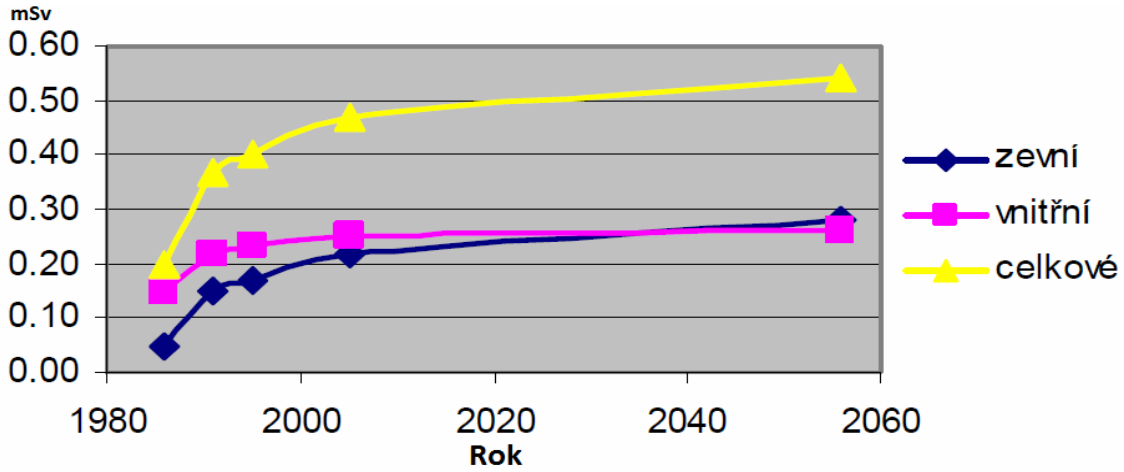
Tabulka 7 – Zevní a vnitřní odhady dávek ozáření obyvatelstva ČR po havárii

Dávka (mSv)	**1986**	**1986 - 1991**	**1986 - 1995**	**1986 - 2005**	**1986 - 2056**
Zevní ozáření	0,05	0,15	0,17	0,22	0,28
Vnitřní ozáření (původní)	0,21	0,28	0,29	0,32	0,36
Vnitřní ozáření	0,15	0,22	0,23	0,25	0,26
Celkem (původní)	0,26	0,43	0,46	/	/
Celkem	0,2	0,37	0,4	0,47	0,54

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf (51)

Celkové shrnutí a porovnání dávek

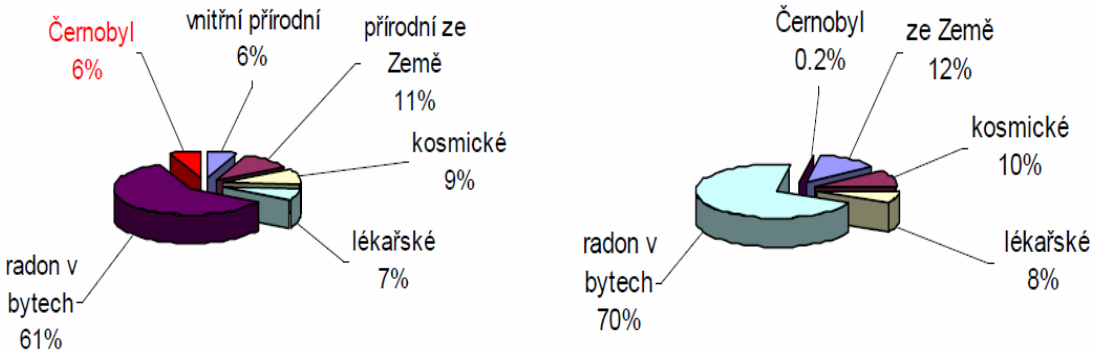
Odhad dávek z vnitřního ozáření až do současné doby je založen na měřených hodnotách, jeho odhad do roku 2056 předpokládá pokračování stejného průběhu jako v posledních10 letech. Odhad dávek ze zevního ozáření je založen na měření kontaminace povrchu z r. 1986, pro jeho časový vývoj jsou použity předpoklady o spojité změně distribuce v půdě s časem (Obrázek 16) (51).



Obrázek 16 – Časový vývoj efektivních dávek obyvatelstva ČR

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf (51)

Na obrázku 17 je pro přehlednost v procentech porovnání ozáření z Černobylu na území České republiky s ostatním ozářením, kterému je obyvatelstvo vystaveno.



Obrázek 17 – Relativní podíl ozáření: v roce 1986 – celoživotně (od r. 1986)

Zdroj: http://www.suro.cz/cz/publikace/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf (51)

1.5.2 Opatření na ochranu obyvatelstva po černobylské havárii

Po zjištění černobylské havárie zahájila dne 30.4.1986 činnost Vládní komise pro radiační havárie a až do 5.8.1986 zasedala každodenně, postupně pak již v menším rozsahu. Na základě měření aktivity radionuklidů v ovzduší a ve spadu a měření dávkových příkonů zajišťovaného tehdejším Centrem hygieny záření IHE byly nejdříve provedeny odhady dávek obyvatelstvu a predikce jejich časového vývoje. Dávky byly odhadovány značně konzervativně, přesto ležely hluboko pod hodnotami, pro něž byly v citovaných mezinárodních i čs.dokumentech doporučována opatření. (28).

Na základě těchto zjištění byla po 30.dubnu uskutečňována tato opatření směřující ke snížení dávek obyvatel (4):

- zákaz spotřeby a distribuce ovčího mléka a výrobků z něho (kromě dlouhozrajících sýrů) - odvoláno v srpnu 1986,
- prostřednictvím orgánů řídících v krajích a okresech zemědělskou výrobu se usilovalo o co nejdelší setrvání skotu na zimním krmivu a co nejdelší odsun přechodu na zelené krmení a výpas. Toto se uplatnilo v široké míře v ČSR a v menší míře na Slovensku vzhledem k rozdílným zásobám krmiv,
- mléko s objemovou aktivitou ^{131}I nad 1000 $Bq.l^{-1}$ bylo používáno jen k výrobě dlouhozrajících sýrů,
- byla pozastavena distribuce dětské mléčné výživy (sušeného mléka), určené pro děti do 2 let, vyrobené z mléka po 29.4. Po vyčerpání zásob mléčné výživy vyrobené před 29.4. byla později vyrobená výživa uvolňována do distribuce podle výsledků měření, vždy s nejnižšími hodnotami měrné aktivity. Pro výrobu dětské výživy byly vybrány svozné oblasti s nejnižší kontaminací půdy a mléka radioizotopy cesia,
- byla přechodně zastavena výroba léků z čerstvých hovězích štítných žláz,
- byly prováděny častější oplachy ulic ve větších městech,
- obyvatelstvo bylo vyzváno k dodržování zásad osobní hygieny a k omývání ovoce a zeleniny,

- byla zavedena jodová profylaxe, ovšem pouze na Slovensku u bačů z důvodu vysokých aktivit ^{131}I v ovčím mléce (opatření se týkala celého území tehdejší ČSSR, proto zde zmiňujeme i to, které se týkalo pouze Slovenska).

S vývojem situace byla největší pozornost věnována omezení průniku radioaktivních látek do potravin. Nejvýznamnější kontaminace ^{131}I se očekávala u mléka a čerstvé listové zeleniny. Nejprve byla přijata některá preventivní opatření zejména v krmení dojnic Taková opatření byla odborníky navržena na zasedání komise 3.5.1986 a na tomto jednání také přijata a zemědělství a potravinářskému průmyslu uloženo je realizovat. Podle doporučení porady expertů Regionální úřadovny pro Evropu Světové zdravotnické organizace se mělo vyřadit mléko s objemovou aktivitou nad 2000 $Bq.l^{-1}$. vzhledem k tomu, že u nás se v mléce vyskytovaly hodnoty nižší a navíc v tuto byla nadprodukce mléka, bylo vyřazeno z přímé konzumace mléko s objemovou aktivitou vyšší než 1000 $Bq.l^{-1}$. Mléko s vyšším obsahem ^{131}I bylo možno použít na výrobky, které se používají později, např. na výrobu dlouhohrajících sýrů. Vyšší objemová aktivita ^{131}I se nacházela v ovčím mléce, proto byly na Slovensku pastevcům ovcí v Nízkých Tatrách vydány jodové tablety. U této skupiny se jodová profylaxe organizovaně uskutečnila z důvodu vysoké spotřeby ovčího mléka a výrobků z něho. Bylo doporučeno uvolnit a spotřebovat přednostně zásoby sušeného a kondenzovaného mléka. (29).

Dalším opatřením bylo zavedení výroby DMV v závodě PMV Nový Bydžov, který zpracovával mléko převážně z okresů Hradec Králové (západní část) a Jičín. Jak ukázala již předběžná měření kontaminace terénu provedená v prvé polovině května (a potvrdila pozdější podrobná měření), byla tato oblast postižena radioaktivním spadem podstatně méně v porovnání se svozovými oblastmi pro Opočno a Zábřeh. Výroba DMV v Novém Bydžově byla zahájena 8.června, zajistila pokrytí výpadků výroby (neuvolněné hlavním hygienikem do distribuce) z ostatních závodů PMV a umožnila realizovat v těchto závodech účinnější opatření na snížení obsahu radionuklidů v DMV. Koncem května byla připravena a v průběhu prvé poloviny června provedena v součinnosti s veterinární službou kontrola obsahu radioizotopů cesia v mléce používaném pro výrobu DMV. Prověřeno bylo cca 350 mléčných farem, především

těch, které zásobovaly výrobny v Opočně a v Zábřehu. V druhé polovině června byly na základě výsledků těchto měření redukovány oblasti svozu mléka pro výrobu DMV a vyřazeny byly mléčné farmy se zvýšeným obsahem radionuklidů v mléce (především severní část okresů Šumperk a Ústí nad Orlicí, okres Náchod). Toto opatření se projevilo prakticky okamžitě výrazným snížením obsahu radioizotopů cesia v DMV (3 až 6krát v porovnání s výrobou z května), později omezením nárůstu aktivity v zimním období 1986-1987 (v souvislosti s přechodem na sušené krmivo z první seče). Opatření na snížení měrné aktivity DMV zůstala v platnosti prakticky do konce roku 1987. Obsah radioizotopů cesia v mléce z vyřazených mléčných farem byl prověřován
v září 1987 a na základě těchto měření bylo možno obnovit původní svozové oblasti pro závody Opočno a Zábřeh. Výroba DMV v Novém Bydžově byla ukončena koncem roku 1987 (4,29).

Kulminace obsahu izotopů cesia v potravinách se očekávala později a podle předpokladů se měla projevit kromě mléka především v mase. Výsledky měření předpoklad potvrdily, jako opatření byla vzhledem k naměřeným hodnotám provedena jen regulace spotřeby zvěřiny (53).

Byly přijímána i další, méně významná opatření, jako například kropení ulic počátkem května 1986 nebo doporučení zvýšené opatrnosti při výměně filtrů ve ventilačních zařízeních. Přechodně byla též zastavena výroba léků z čerstvých hovězích štítných žláz (53).

Návrhy na taková opatření jako například omezení vycházek těhotným, omezování cestování nebo pobytu v přírodě a podobně byla odborníky odmítnuta jako zcela nezdůvodněná a vedoucí ve svých důsledcích ke zhoršení zdraví. Také hromadná distribuce jódových preparátů byla výslovně odmítnuta kromě skupiny pastevců ovcí na Slovensku (4,29).

Obecně lze přijatá opatření ohodnotit jako adekvátní, protože při úzké úrovni ozáření obyvatelstva u nás nebylo třeba přijímat opatření , která by zasahovala do běžného způsobu života lidí. Z hlediska vlastní ochrany zdraví byla u nás podniknuta

včas nejspíše všechna rozumná opatření. Toto hodnocení bylo potvrzeno i v mezinárodních odborných kruzích. Nepochybně však nebyla podniknuta odborníky doporučená dostatečná opatření k omezení vzniku obav obyvatelstva, zejména opatření k jeho včasnému, dostatečnému a srozumitelnému informování. (4).

2 Hypotéza a metodika výzkumu

2.1 Metodika výzkumu

Dané téma jsem zpracoval pomocí dostupné odborné literatury, internetových zdrojů a souhrnných zpráv vydaných institucemi, které se řešenou problematikou zabývají. Jedná se především o Státní úřad pro jadernou bezpečnost a Státní úřad radiační ochrany. Zjištění stavu informovanosti obyvatel České republiky o radiačních rizicích vyplívajících z jaderné havárie Černobyl jsem provedl formou dotazníkového šetření při kterém bylo osloveno celkem 200 respondentů. Pro podrobnější průzkum jsem obyvatele ČR dále rozdělil na dvě skupiny. První skupina je složena z obyvatel žijících v zóně havarijního plánování Jaderné elektrárny Temelín, kteří tvoří polovinu z oslovených, tedy 100 respondentů a druhou skupinu tvoří obyvatelé žijící v oblastech mimo zónu havarijního plánování, kteří tvoří druhou polovinu dotázaných, také 100 respondentů. Dotazníkové šetření proběhlo v období února a března roku 2012.

Vypracovaný dotazník (Příloha A) se skládá z 15 otázek. Každá z otázek má tři možné odpovědi, z nichž jedna odpověď je vždy správná. Správná odpověď je ohodnocena 1 bodem, maximální počet je 15 získaných bodů a minimální počet je 0 bodů. Otázky jsou vytvořeny tak, aby danou problematiku zahrnovali v celé její šíři, od znalostí rizik vzniklých při havárii a úniku radioaktivních látek až po jejich účinky na zdraví člověka a opatření snížení dopadu na obyvatelstvo České republiky.

Sledovaný soubor dotazovaných respondentů jsem vypracoval dle následujícího postupu. Pro dotazníkové šetření u obyvatel z první skupiny jsem vybral deset měst nebo obcí v zóně havarijního plánování, ze kterých jsem vylosoval pět míst – Týn nad Vltavou, Zliv, Dříteň, Protivín a Hvožďany. Pro druhou skupinu jsem vybral deset měst rovnoměrně rozložených na území celé České republiky (mimo zónu havarijního plánování ETE), ze kterých jsem vylosoval dvě města z Čech – Praha, Plzeň a dvě města z Moravy – Opava, Uherské Hradiště. Dotazníkový průzkum u obyvatel první skupiny jsem provedl sám. Průzkum u obyvatel druhé skupiny byl proveden za pomoci oslovených studentů, kteří za smluvenou odměnu ochotně průzkum mým jménem uskutečnili. Jednalo se o vysokoškolské studenty, kteří nemají studijní zaměření týkající

se sledované problematiky a svými případnými znalostmi tak nemohli ovlivnit dotazované respondenty při jejich rozhodování. Před zahájením dotazníkového šetřením jsem osobně každého studenta seznámil s danými pravidly pro místa výběru a komunikace s respondenty. Jako místa pro provádění průzkumu jsem určil obchodní centra a nádraží v jednotlivých oblastech, kde se nejvíce shromažďují obyvatelé z rozdílných věkových skupin a místa bydliště. Pro oslovení jsem doporučil neuvádět předem konkrétní téma dotazníku a tím odradit respondenty od spolupráce.

Odpovědi respondentů k jednotlivým odpovědím jsem vyhodnotil a sestavil do tabulek. U každé otázky jsem provedl procentuální vyhodnocení správných a špatných odpovědí, výpočet celkového průměru získaných bodů a celkové procentuální úspěšnosti. Vyhodnocení znalostí jsem provedl na základě hodnot celkového průměru získaných bodů a procentuální úspěšnosti. Statistické hodnocení jsem u všech obyvatel ČR provedl testováním normality použitím χ^2- testu dobré shody. Vzájemné porovnání znalostí mezi sledovanými skupinami jsem provedl testováním za pomoci dvouvýběrového t-testu na základě odhadu empirických parametrů z každé skupiny na hladině významnosti 0,05.

2.2 Hypotézy

Pro práci jsem stanovil následující hypotézy:

H1: Obyvatelé České republiky mají dostatečné znalosti o radiačních rizicích vyplívajících z havárie v jaderné elektrárně Černobyl.

H2: Obyvatelé v zóně havarijního plánování Jaderné elektrárny Temelín mají větší znalosti o radiačních rizicích než obyvatelé žijící mimo zónu havarijního plánování.

3 Výsledky

3.1 Vyhodnocení opovědí dotazníkového šetření

V následujících tabulkách jsou zobrazeny výsledky dotazníkového šetření. V tabulce 8. je znázorněno rozložení správných a špatných odpovědí a v tabulce 8.1. je vyhodnocen počet správných odpovědí z cílové skupiny obyvatel ČR zahrnujících všech 200 respondentů. V tabulce 9. a v tabulce 9.1. jsou zobrazeny výsledky obyvatel žijících v zóně havarijního plánování ETE (dále jen – v ZHP), kterou tvoří 100 respondentů. V tabulce 10. a v tabulce 10.1. jsou zobrazeny výsledky obyvatel žijících mimo zónu havarijního plánování ETE (dále jen – mimo ZHP), kterou tvoří druhá skupina 100 respondentů.

V tabulkách rozložení správných a špatných odpovědí jsou odpovědi na každou z otázek rozděleny do samostatných sloupců. Jednotlivé otázky jsou seřazeny v řádcích pod sebou. Správné výsledky jsou zvýrazněny tučným písmem.

Výsledky dotazníkového šetření u obyvatel ČR

Tabulka 8 - Rozložení správných a špatných odpovědí obyvatel ČR

Otázka	Správná odpověď	A	B	C	A	B	C	správně	špatně	správně	špatně
		celk. počet			*v %*			*celk. počet*		*v %*	
1	B	30	**168**	2	15	**84**	1	**168**	32	**84**	16
2	A	**110**	84	6	**55**	42	3	**110**	90	**55**	45
3	C	15	53	**132**	7,5	26,5	**66**	**132**	68	**66**	34
4	B	27	**170**	3	13,5	**85**	1,5	**170**	30	**85**	15
5	A	**162**	3	35	**81**	1,5	17,5	**162**	38	**81**	19
6	B	56	**140**	4	28	**70**	2	**140**	60	**70**	30
7	A	**162**	21	17	**81**	10,5	8,5	**162**	38	**81**	19
8	B	5	**192**	3	3	**95,5**	1,5	**192**	8	**96**	4
9	B	12	**176**	12	6	**88**	6	**176**	22	**88**	12
10	C	50	6	**144**	30,5	3	**71,5**	**144**	56	**72**	28
11	A	**130**	3	67	**65**	1,5	33,5	**130**	70	**65**	35
12	B	45	**126**	28	22,5	**63**	14	**126**	74	**63**	37
13	B	23	**148**	29	11,5	**74**	14,5	**148**	52	**74**	26
14	A	**128**	23	49	**64**	11,5	24,5	**128**	72	**64**	36
15	A	**106**	8	86	**58**	4	43	**106**	94	**53**	47

Zdroj: Vlastní dotazníkové šetření

Tabulka 8.1 - Vyjádření počtu správných odpovědí u obyvatel ČR

Počet správných odpovědí (počet bodů)	Počet respondentů	Vyjádření v %	Celkový průměr (bodů)	Celkový průměr v %
1	0	0,0		
2	0	0,0		
3	0	0,0		
4	**2**	1,0		
5	**2**	1,0		
6	**3**	1,5		
7	**6**	3,0		
8	**13**	6,5	**10,89**	**72,60**
9	**22**	11,0		
10	**26**	13,0		
11	**41**	20,5		
12	**37**	18,5		
13	**26**	13,0		
14	**18**	9,0		
15	**4**	2,0		
	Σ 200	**Σ** 100		

Zdroj: Vlastní dotazníkové šetření

Výsledky dotazníkového šetření u obyvatel v ZHP

Tabulka 9 - Rozložení správných a špatných odpovědí obyvatel v ZHP

Otázka	Správná odpověď	A	B	C	A	B	C	správně	špatně	správně	špatně
		celk. počet			*v %*			*celk. počet*		*v %*	
1	B	10	**90**	0	10	**90**	0	90	10	90	10
2	A	**56**	44	0	**56**	44	0	56	44	56	44
3	C	6	24	**70**	6	24	**70**	70	30	70	30
4	B	15	**85**	0	15	**85**	0	85	15	85	15
5	A	**83**	0	17	**83**	0	17	83	17	83	17
6	B	26	**72**	2	26	**72**	2	72	28	72	28
7	A	**86**	10	4	**86**	10	4	86	14	86	14
8	B	1	**98**	0	1	**99**	0	98	2	98	2
9	B	5	**91**	4	5	**91**	4	91	9	91	9
10	C	31	1	**68**	31	1	**68**	68	32	68	32
11	A	**69**	1	30	**69**	1	30	69	31	69	31
12	B	15	**71**	13	15	**71**	13	71	29	71	29
13	B	4	**77**	19	4	**77**	19	77	23	77	23
14	A	**70**	8	22	**70**	8	22	70	30	70	30
15	A	**59**	3	38	**59**	3	38	59	41	59	41

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 9.1 - Vyjádření počtu správných odpovědí u obyvatel v ZHP

Počet správných odpovědí (počet bodů)	Počet respondentů	Vyjádření v %	Celkový průměr (bodů)	Celkový průměr v %
1	0	0,0		
2	0	0,0		
3	0	0,0		
4	0	0,0		
5	0	0,0		
6	0	0,0		
7	**2**	2,0		
8	**7**	7,0	**11,45**	**76,33**
9	**7**	7,0		
10	**12**	12,0		
11	**21**	21,0		
12	**19**	19,0		
13	**18**	18,0		
14	**10**	10,0		
15	**4**	4,0		
	Σ 100	**Σ** 100		

Zdroj: Vlastní dotazníkové šetření

Výsledky dotazníkového šetření u obyvatel mimo ZHP

Tabulka 10 - Rozložení správných a špatných odpovědí u obyvatel mimo ZNP

Otázka	Správná odpověď	A	B	C	A	B	C	správně	špatně	správně	špatně
		celk. počet			*v %*			*celk. počet*		*v %*	
1	B	20	**78**	2	20	**78**	2	78	22	78	22
2	A	**54**	40	6	**54**	40	6	54	46	54	46
3	C	9	29	**62**	9	29	**62**	62	38	62	38
4	B	12	**85**	3	12	**85**	3	85	15	85	15
5	A	**79**	3	18	**79**	3	18	79	21	79	21
6	B	30	**68**	2	30	**68**	2	68	32	68	32
7	A	**76**	11	13	**76**	11	13	76	24	76	24
8	B	5	**94**	3	5	**92**	3	94	6	94	6
9	B	7	**85**	8	7	**85**	8	85	15	85	15
10	C	30	5	**76**	30	5	**75**	76	24	76	24
11	A	**61**	2	37	**61**	2	37	61	39	61	39
12	B	30	**55**	15	30	**55**	15	55	45	55	45
13	B	19	**71**	10	19	**71**	10	71	29	71	29
14	A	**58**	15	27	**58**	15	27	59	41	59	41
15	A	**47**	5	48	**47**	5	48	47	53	47	53

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 10.1 - Vyjádření počtu správných odpovědí u obyvatel mimo ZHP

Počet správných odpovědí (počet bodů)	Počet respondentů	Vyjádření v %	Celkový průměr (bodů)	Celkový průměr v %
1	0	0,0		
2	0	0,0		
3	0	0,0		
4	**2**	2,0		
5	**2**	2,0		
6	**3**	3,0		
7	**4**	4,0		
8	**6**	6,0	**10,33**	**68,87**
9	**15**	15,0		
10	**14**	14,0		
11	**20**	20,0		
12	**18**	18,0		
13	**8**	8,0		
14	**8**	8,0		
15	0	0,0		
	Σ 100	**Σ** 100		

Zdroj: Vlastní výzkum

3.2 Statistiké šetření výsledků znalostí u obyvatel ČR

Účelem tohoto statistického šetření je zjistit úroveň znalostí obyvatel ČR. Do statistických vyhodnocení byly zahrnuty výsledky všech 200 dotazníků.

Škálování:

Tabulka 11 - Škálování výsledků znalostí z dotazníkového šetření u obyvatel ČR

x_i	n_i	*počet správných odpovědí (počet bodů)*
1	2	0 - 4
2	11	5 - 7
3	35	8 - 9
4	67	10 - 11
5	63	12 - 13
6	22	14 - 15
	Σ 200	

Zdroj: Vlastní výpočet

Elementární statistické zpracování:

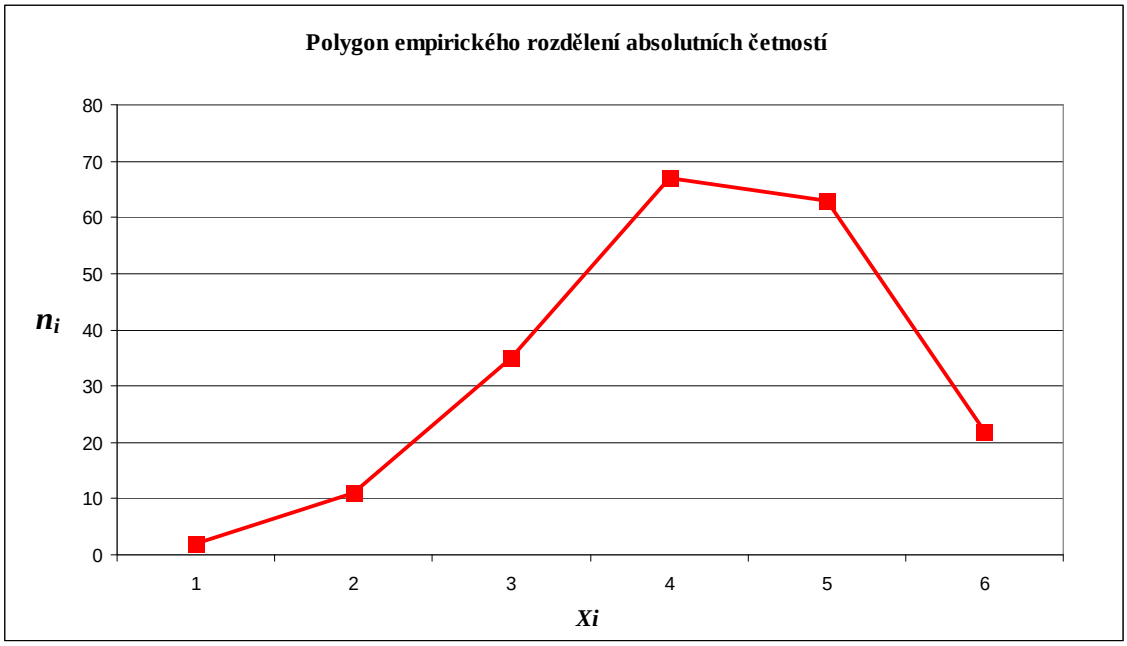
Tabulka 12 - Výsledky šetření empirických parametrů u obyvatel ČR

	Absolutní četnost	Relativní četnost	Kumulativní četnost				
x_i	n_i	n_i / n	$\Sigma\, n_i / n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	2	0,010	0,01	2	2	2	2
2	11	0,055	0,065	22	44	88	176
3	35	0,175	0,24	105	315	945	2835
4	67	0,335	0,575	268	1072	4288	17152
5	63	0,315	0,89	315	1575	7875	39375
6	22	0,110	1	132	792	4752	28512
	Σ 200	**Σ** 1		**Σ** 842	**Σ** 3798	**Σ** 17948	**Σ** 88050

Zdroj: Vlastní výpočet

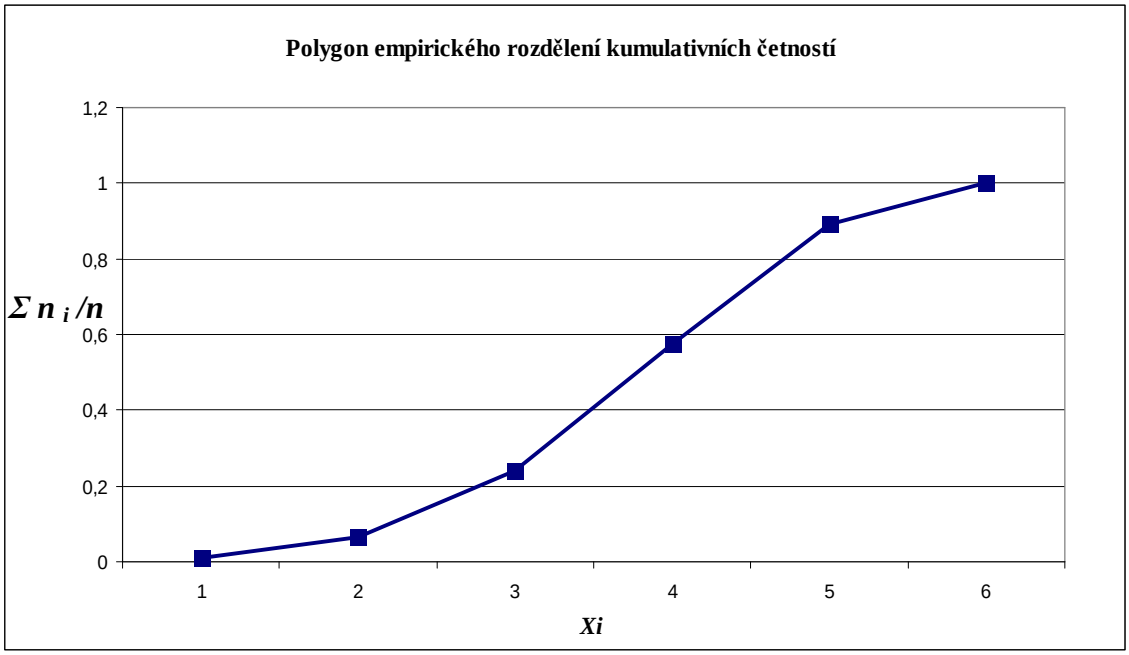
Empirické rozdělení četností:

Obrázek 18 - Polygon empirického rozdělení absolutních četností u obyvatel ČR



Zdroj: Vlastní výpočet

Obrázek 19 - Polygon empirického rozdělení absolutních četností u obyvatel ČR



Zdroj: Vlastní výpočet

Parametr polohy (obecný moment prvního řádu):

$$O_1 = \sum \frac{(x_i * n_i)}{n} = \frac{842}{200} = \mathbf{4,21}$$

$$O_2 = \sum \frac{(x_i^{\,2} * n_i)}{n} = \frac{3798}{200} = \mathbf{18,99}$$

$$O_3 = \sum \frac{(x_i^{\,3} * n_i)}{n} = \frac{17948}{200} = \mathbf{89,74}$$

$$O_4 = \sum \frac{(x_i^{\,4} * n_i)}{n} = \frac{88050}{200} = \mathbf{440,25}$$

Parametr variability:

$C_2 = O_2 - O_1^2 = \mathbf{1,2659}$

$C_3 = O_3 - (3*O_2*O_1) + 2*(O_1)^3 = \mathbf{-0,86678}$

$C_4 = O_4 - (4*O_3*O_1) + 6*O_2*(O_1)^2 - 3*(O_1)^4 = \mathbf{6,08119}$

Směrodatná odchylka:

$Sx = \sqrt{C_2} = \sqrt{1{,}2659} =$ **1,12512**

***Parametr šikmosti*:**

$$N_3 = \frac{C_3}{C_2 * \sqrt{C_2}} = \mathbf{5{,}287}$$

Parametr špičatosti:

$$N_4 = \frac{C_4}{C_2^{\,2}} = \mathbf{-0{,}60857}$$

exces $N_4 - 3 = 5{,}287 - 3 =$ **2,40492**

Intervalové rozdělení četností , přechod k normovanému normálnímu rozdělení.

Tabulka 13 - Intervalové rozdělení četností výsledků u obyvatel ČR

		Absolutní četnost	Relativní četnost	Kumulativní četnost				
x_i	***interval***	n_i	n_i / n	$\Sigma\, n_i / n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	(-∞,1,5>	2	0,01	0,065	2	2	2	2
2	(1,5;2,5>	11	0,055	0,065	22	44	88	176
3	(2,5;3,5>	35	0,175	0,24	105	315	945	2835
4	(3,5;4,5>	67	0,335	0,575	268	1072	4288	17152
5	(4,5;5,5>	63	0,315	0,89	315	1575	7875	39375
6	(5,5 ; ∞)	22	0,11	1	132	792	4752	28512
		Σ 200	**Σ** 1		**Σ** 842	**Σ** 3798	**Σ** 17948	**Σ** 88050

Zdroj: Vlastní výpočet

Výpočet normované náhodné veličiny u_1 - pro výpočet jednotlivých ploch

$u_1 = (x_1 - O_1) / S_x = (1{,}5 - 4{,}21) / 1{,}125 = -2{,}409$

$u_2 = (x_2 - O_1) / S_x = (2{,}5 - 4{,}21) / 1{,}125 = -1{,}520$

$u_3 = (x_3 - O_1) / S_x = (3{,}5 - 4{,}21) / 1{,}125 = -0{,}631$

$u_4 = (x_4 - O_1) / S_x = (4{,}5 - 4{,}21) / 1{,}125 = 0{,}258$

$u_5 = (x_5 - O_1) / S_x = (5{,}5 - 4{,}21) / 1{,}125 = 1{,}147$

$u_6 = (x_6 - O_1) / S_x = (\infty - 4{,}21) / 1{,}125 = \infty$

$$u_i = \frac{x_i - O_1}{S_x} = (x_i - O_1) / S_x$$

Distribuční funkce F (u) – statistické tabulky

$F\,u_1$= - 2,409=0,99202

$F\,u_2$= - 1,520=0,93574

$F\,u_3$= - 0,631=0,76565

$F\,u_4$= 0,258=0,60257

$F\,u_5$= 1,147=0,87493

$F\,u_6$= ∞ = 1

Výpočet jednotlivých ploch grafu p_1 –p_6

$$p_n = \int_{dm}^{hm} \rho(u)du = Fu_n - Fu_{n-1} \qquad F(-u) = 1 - Fu$$

$$p_1 = \int_{-\infty}^{-2,409} \rho(u)du = Fu_1 = 1 - 0,992 = 0,008$$

$$p_2 = \int_{-2,409}^{-1,520} \rho(u)du = Fu_2 - Fu_1 = (1 - 0,9356) - (1 - 0,992) = 0,056$$

$$p_3 = \int_{-1,520}^{-0,631} \rho(u)du = Fu_3 - Fu_2 = (1 - 0,766) - (1 - 0,936) = 0,170$$

$$p_4 = \int_{-0,631}^{0,258} \rho(u)du = Fu_4 - Fu_3 = 0,603 - (1 - 0,766) = 0,368$$

$$p_4 = \int_{0,258}^{0,258} \rho(u)du = Fu_5 - Fu_6 = 0,875 - 0,603 = 0,272$$

$$p_6 = \int_{1,147}^{\infty} \rho(u)du = Fu_6 - Fu_5 = 1 - (1 - 0,875) = 0,125$$

Kontrola výpočtů:

$$\sum_{1}^{6} p_n = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1$$

$$\sum_{1}^{6} p_n = 0{,}008 + 0{,}056 + 0{,}170 + 0{,}368 + 0{,}272 + 0{,}125 = 1$$

Hodnoty jednotlivých ploch:

Tabulka 14 - Hodnoty jednotlivých integrálů pro testování znalostí u obyvatel ČR

x_i	*interval*	n_i	u_i	$F(u_i)$	p_i	np_i
1	(-∞,1,5>	2	-2,409	0,992	0,008	0,016
2	(1,5;2,5>	11	-1,520	0,936	0,056	0,619
3	(2,5;3,5>	35	-0,631	0,766	0,170	34,02
4	(3,5;4,5>	67	0,258	0,603	0,368	73,64
5	(4,5;5,5>	63	1,147	0,875	0,272	54,47
6	(5,5 ; ∞)	22	∞	1	0,125	25,01

Zdroj: Vlastní výpočet

Aplikace testu dobré schody χ^2-test

Při testu normality musí být v každém intervalu nejméně 5 výsledků měření. Vzhledem k nesplnění této podmínky došlo ke sdružení sousedních intervalů, aby bylo dosaženo 5 a více výsledků.

Tabulka 15 - Výsledky výpočtů pro testování znalostí u obyvatel ČR.

x_i	n_i	p_i	np_i	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
1+2	13	0,6430	12,85	0,002
3	35	0,1701	34,02	0,028
4	67	0,3682	73,64	0,599
5	63	0,2724	54,47	1,334
6	22	0,1251	25,01	0,363
		Σ 1	**Σ** 200	**Σ** 2,961

Zdroj: Vlastní výpočet

Výpočet $\chi^2_{\exp}$:

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

$$\chi^2_{\exp} = \frac{(n_{1+2} - np_{1+2})^2}{np_{1+2}} + \frac{(n_3 - np_3)^2}{np_3} + \frac{(n_4 - np_4)^2}{np_4} + \frac{(n_5 - np_5)^2}{np_5} + \frac{(n_5 - np_5)^2}{np_5}$$

$$\chi^2_{\exp} = \frac{(13 - 12{,}85)^2}{12{,}85} + \frac{(35 - 34{,}02)^2}{34{,}02} + \frac{(67 - 73{,}64)^2}{73{,}64} + \frac{(63 - 54{,}47)^2}{54{,}47} + \frac{(22 - 25{,}01)^2}{25{,}01}$$

$\chi^2_{\exp}$ = **2,961**

Výpočet kritické teretické hodnoty χ^2_{teor}:

$$\chi^2_{teor} = \chi^2_{\nu_{krit}} \qquad \nu_{krit} = k - r - 1$$

Hodnoty pro výpočet:

- hladina statistické významnosti $\boldsymbol{\alpha} = 0{,}05$
- počet interval§ů intervalového rozdělení četností **k** = 5
- počet teoretických parametrů normálního rozdělení **r** = 2

$$\nu_{krit} = 5 - 2 - 1$$

$$\nu_{krit} = 2$$

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

χ^2_{teor} = **5,99**

Kritický obor:

$W = (\chi^2_{teor}(0{,}05); \infty) = (5{,}99; \infty)$

$\chi^2_{\exp}\ 2{,}961 \notin W$

Výsledná experimentální hodnota $\chi^2_{\exp} 2{,}961$ odpovídá kritickému oboru. To vypovídá o dobré schodě výsledků dotazníkového šetření, tudíž byla přijata nulová hypotéza H_0 - empirické rozdělení znalostí obyvatel ČR lze na hladině statistické významnosti $\alpha = 0{,}05$ nahradit normálním rozdělením.

3.3 Porovnání skupin - dvojvýběrové parametrové testování

K porovnání znalostí mezi obyvateli ČR žijících v zóně havarijního plánování a obyvatel žijících mimo tuto zónu byl použit dvouvýběrový t-test. Nejdříve byl u sledovaných skupin proveden výpočet empirických parametrů O_1 a Sx, Na základě výsledků těchto parametrů byl následně proveden vlastní t-test.

Výpočet empirických parametrů u obyvatel v ZHP

Škálování:

Tabulka 16 - Škálování výsledků dotazníkového šetření u obyvatel v ZHP

x_i	n_i	*počet správných odpovědí (počet bodů)*
1	2	0 - 7
2	14	8 - 10
3	33	10 - 11
4	37	12 - 13
5	14	14- 15
	Σ 100	

Zdroj: Vlastní výpočet

Elementární statistické zpracování:

Tabulka 17 - Výsledky šetření empirických parametrů u obyvatel v ZHP

	Absolutní četnost	relativní četnost	kumulativní četnost				
x_i	n_i	n_i / n	$\Sigma\, n_i / n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	2	0,02	0,02	2	2	2	2
2	14	0,14	0,16	28	56	112	224
3	33	0,33	0,49	99	297	891	2673
4	37	0,37	0,86	148	592	2368	9472
5	14	0,14	1	70	350	1750	8750
	Σ 100	Σ 1		Σ 347	Σ 1297	Σ 5123	Σ 21121

Zdroj: Vlastní výpočet

Parametr polohy (obecný moment prvního řádu):

$$O_1 = \sum \frac{(x_i * n_i)}{n} = \frac{347}{100} = \mathbf{3,47}$$

$$O_2 = \sum \frac{(x_i^2 * n_i)}{n} = \frac{1297}{100} = \mathbf{12,97}$$

$$O_3 = \sum \frac{(x_i^3 * n_i)}{n} = \frac{5123}{100} = \mathbf{51,23}$$

$$O_4 = \sum \frac{(x_i^4 * n_i)}{n} = \frac{21121}{100} = \mathbf{211,21}$$

Parametr variability:

$C_2 = O_2 - O_1^2 = \mathbf{1,2659}$

$C_3 = O_3 - (3*O_2*O_1) + 2*(O_1)^3 = \mathbf{-0,86678}$

$C_4 = O_4 - (4*O_3*O_1) + 6*O_2*(O_1)^2 - 3*(O_1)^4 = \mathbf{6,08119}$

Směrodatná odchylka:

$Sx = \sqrt{C_2} = \sqrt{1,2659} = \mathbf{1,12512}$

Výpočet empirických parametrů u obyvatel mimo ZHP

Škálování:

Tabulka 18 - Škálování výsledků dotazníkového šetření u obyvatel mimo ZHP

x_i	n_i	*počet správných odpovědí (počet bodů)*
1	11	0 - 7
2	21	8 - 10
3	34	10 - 11
4	26	12 - 13
5	8	14- 15
	Σ 100	

Zdroj: Vlastní výpočet

Elementární statistické zpracování:

Tabulka 19 - Výsledky šetření empirických parametrů u obyvatel mimo ZHP

	Absolutní četnost	relativní četnost	kumulativní četnost				
x_i	n_i	n_i / n	$\Sigma n_i / n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	11	0,11	0,11	11	11	11	11
2	21	0,21	0,32	42	84	168	336
3	34	0,34	0,66	102	306	918	2754
4	26	0,26	0,92	104	416	1664	6656
5	8	0,08	1	40	200	1000	5000
	Σ 100	**Σ** 1		**Σ** 299	**Σ** 1017	**Σ** 3761	**Σ** 14757

Zdroj: Vlastní výpočet

Parametr polohy (obecný moment prvního řádu):

$$O_1 = \sum \frac{(x_i * n_i)}{n} = \frac{299}{100} = \mathbf{2,99}$$

$$O_2 = \sum \frac{(x_i^{\,2} * n_i)}{n} = \frac{1017}{100} = \mathbf{10,17}$$

$$O_3 = \sum \frac{(x_i^{\,3} * n_i)}{n} = \frac{3761}{100} = \mathbf{37,61}$$

$$O_4 = \sum \frac{(x_i^{\,4} * n_i)}{n} = \frac{14757}{100} = \mathbf{147,57}$$

Parametr variability:

$C_2 = O_2 - O_1^2 =$ **0,9291**

$C_3 = O_3 - (3*O_2*O_1) + 2*(O_1)^3 =$ **- 0,22385**

$C_4 = O_4 - (4*O_3*O_1) + 6*O_2*(O_1)^2 - 3*(O_1)^4 =$ **2,21062**

Směrodatná odchylka:

$Sx = \sqrt{C_2} = \sqrt{1{,}2659} =$ **0,963**

Dvouvýběrový t -test

Hypotéza vytýčila předpoklad, že bude přijata alternativní hypotéza H_a , tj. že mezi znalostmi obou skupin je na hladině α=0,05 statistické významný rozdíl.U obyvatel žijících v zóně havarijního plánování je na základě vyššího průměru dosažených bodů předpoklad vyšších znalostí. Skupině obyvatel žijících v ZHP byl přiřazen index 1. a skupině obyvatel žijících mimo ZHP index 2.

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ $\alpha = 0{,}05$

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

Hodnoty pro výpočet:

$\mu_1 = (O_1)_1 = 3{,}47$ $\mu_2 = (O_1)_2 = 2{,}99$

$Sx_1 = 1{,}109$ $Sx_2 = 0{,}964$

$n_1 = 100$ $n_2 = 100$

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

Kritický obor:

$W = (-\infty ; -t_{n_1+n_{2-1}}(\alpha/2)\rangle \cup \langle t_{n_1+n_{2-1}}(\alpha/2); \infty)$

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

$t_{198}\ (0{,}025) = 1{,}96$

Hodnoty kritického oboru:

$W = (-\infty; -1{,}96\rangle \cup \langle 1{,}96 , \infty)$

$$t_{exp} = \frac{3{,}47 - 2{,}99}{\sqrt{(100-1)*1{,}109^2 + (100-1)*0{,}964^2}} \sqrt{\frac{100*100*(100+100-2)}{100+100}}$$

$$t_{exp} = \frac{0{,}99}{\sqrt{99*1{,}230 + 99*0{,}929}} \sqrt{\frac{10000*198}{200}}$$

$$t_{exp} = \frac{0{,}99}{\sqrt{121{,}77 + 91{,}98}} \sqrt{9900} = \frac{0{,}99}{14{,}62} * 99{,}5$$

$t_{exp} = \mathbf{6{,}73}$ z toho vyplívá, že $t_{exp} \in W$

Jelikož hodnota t_{exp} = 6,73 je prvkem kritického oboru *W*, je nutno přijmout alternativní hypotézu H_a. Mezi znalostmi sledovaných skupin existuje na hladině $\alpha = 0{,}05$ statisticky významný rozdíl.

4 Diskuze

Jak už jsem uvedl v metodice, ke zjištění znalostí obyvatelstva bylo provedeno dotazníkové šetření . Rozbor výsledků jednotlivých otázek je obsahem následující části.

Otázka 1. Úvodní otázku *(Víte ve kterém roce došlo k havárii jaderné elektrárny Černobyl? **b) v roce 1986**)* jsem zvolil tak, abych hned na začátku dotazníkového šetření zjistil, jak jsou dotázaní respondenti schopni černobylskou havárii časově zařadit a odvodit si, jak dlouhá doba od havárie uplynula. Na základě této znalosti, pak respondenti mohli lépe v dalších otázkách vyhodnocovat aktuální stav radioaktivních látek v závislosti na jejich poločasu rozpadu a existenci pozdních zdravotních následků. Špatné odpovědi nebyly do dotazníku vytvořeny náhodně, ale představovaly jiné známé jaderné havárie, a to a) v roce 1977, havárii v Jaslovských Bohunicích a c) v roce 2011, havárii v japonské Fukušimě. Správně na tuto otázku odpovědělo 168 dotázaných, což je 84%. Ze špatných odpovědí byla nejčastější odpověď a), kterou zvolilo 30 dotázaných (to je 15 %). K celkové úspěšnosti přispěla především první skupina, ve které odpovědělo správně 90%, ve druhé skupině správně odpovědělo 78%. Hodnocení úspěšnosti všech správných odpovědí je velmi dobré.

Otázka 2. *(Co bylo příčinou černobylské havárie? **a) nevydařený technologický experiment**)*.je se 110 správnými odpověďmi druhou nejhůře zodpovězenou otázkou celého průzkumu. Správně odpovědělo pouhých 55% respondentů. V první skupině správně odpovědělo 56% a ve druhé skupině 54%, což ukazuje na stejně špatné znalosti v obou skupinách. Nejvíce chybně zodpovězenou otázkou z celkového počtu dotazovaných byla odpověď b) závadou na zařízení, kterou odpovědělo 42% za všech respondentů. Tento výsledek je velice neuspokojivý. Chybné odpovědi v takovém rozsahu jsem neočekával. Většina respondentů, mimo 4% špatných odpovědí c) zemětřesení, se shodla pouze v tom, že havárie nezavinilo působení neočekávaných vnějších vlivů. Správná odpověď byla záměrně definovaná jako nevydařený technologický experiment, protože příčin havárie bylo několik a v dané, málo pravděpodobné kombinaci dopěly k následné katastrofě. Hlavní podíl viny však zůstává na obsluze reaktoru, která chtěla i za nestabilního stavu reaktoru a odpojených

důležitých havarijních systémů experiment bezpodmínečně dokončit. Tím porušila veškerá bezpečností opatření. Vzniklá havárie a její tragické následky se staly obrovským varováním a celosvětovou nutností provozovatelů jaderných elektráren zvýšit pozornost nad dodržování provozních předpisů, kvalitou bezpečnostních systému a kvalifikovanou přípravu personálu. Tato otázka směřovala k tomu prověřit obyvatelstvo, zda znají příčiny vzniku havárie a mohou na základě těchto znalostí posoudit, zda se takové havárii dalo vyvarovat. Neznalost těchto skutečností pravděpodobně měla podíl na tehdejší celkové nedůvěře v jadernou energetiku. Proto byla úspěšnost informovanosti u této otázky vyhodnocena za nedostatečnou.

O tom, zda mají občané představu o rozsáhlosti zasažení uniklými nebezpečnými radioaktivními látkami z havarovaného reaktoru a kde vznikly obavy z jejich účinků vypovídá otázka 3. *(Jak velkou oblast zasáhly radioaktivní látky unikající z havarovaného reaktoru?* ***c) území většiny států Evropy****).* Tato otázka byla zodpovězena celkově v 66% správně. Tohoto výsledku bylo dosaženo díky první skupině ze 70% úspěšností, kdežto druhá skupina dosáhla 62%. Z celkového počtu zvolilo celkem 34% špatné odpovědi. Většinou špatně zvolili větší území c) téměř celý svět, ve 24,5% a někteří předpokládali, že byly zasaženy státy pouze v blízkém okolí elektrárny Černobyl a) Rusko, Ukrajinu, Polsko a bývalou ČSSR, ty zvolilo 7,5%. Většina občanů ví, že se jednalo o nejzávažnější jadernou havárii v historii, ale kdyby radioaktivní látky zasáhli téměř celý svět, tak si nedokážeme představit veškeré vzniklé následky. Na druhou stranu malé procento si myslí, že byly zasaženy pouze jmenované čtyři státy a to je z hlediska podvědomí obyvatel důležitější. Znalosti v této otázce jsou uspokojivé.

Otázka 4. *(Jakou cestou se dostaly radioaktivní látky bezprostředně po havárii na území ČR****? b) ve formě radioaktivního mraku a následného radioaktivního spadu****).* Cesta radioaktivních látek z havarovaného reaktoru se odvíjela od způsobu jejich rozptýlení v místě úniku. Jelikož došlo k výbuchu a následnému požáru, vystoupil nebezpečný oblak do výšky 1500 m a odtud pak dále v závislosti na síle a směru větru putoval nekontrolovatelně až do velmi vzdálených oblastí (viz. otázka 3.). Přechodem mraku přes naše území docházelo k následnému uvolňování částic, které se nazývají

radioaktivní spad. Na tuto otázku správně odpovědělo 85% respondentů. Úspěšnost vzešla ze vzácné shody správných odpovědích obou skupin (85%). Varianty špatných odpovědí a) v dovážených potravinách a zboží ze zamořených oblastí nebo c) především produktovody z Ruska se zemním plynem a ropou, byly v daném stavu nepravděpodobné až nereálné. Na základě vysoké úspěšnosti správných odpovědí jsou znalosti obyvatelstva velmi dobré.

Na to, zda se umí obyvatelstvo orientovat v oblasti velikosti dávek z ozáření a dokáže porovnat jak nebezpečnou dávkou byl zasažen průměrný obyvatel ČR během roku po havárii, byla směřována otázka 5. *(Víte s čím je srovnatelné ozáření průměrného obyvatel ČR z elektrárny Černobyl za období jednoho roku po havárii?* ***a) s průměrným ozářením obyvatel za rok při lékařském vyšetření (rentgen, apod).)*** Správně odpovědělo 81% respondentů, první skupina s 83% úspěšností, druhá skupina se 79%. Podle počtu správných odpovědí lze vyvodit, že většina dotázaných má představu, že i v běžném životě se neustále setkáváme z mnoha zdroji záření. Největší podíl na průměrném ozáření osob žijících v ČR má radon , radionuklidy v zemské kůře , radionuklidy v našem těle a v potravinách, kosmické záření. Z umělých zdrojů je nejvýznamnější lékařské ozáření. Obávané jaderné elektrárny mají při běžném provozu oproti tomu na svědomí asi jen 0,01 % z celkového ozáření osob a to ukazuje, že špatná byla odpověď c) s celoživotním ozářením způsobeným provozem jaderných elektráren v ČR. To, že průměrný občan obdržel dávku záření za první rok po havárii na úrovni rentgenového vyšetření , je dobrým porovnáním a uklidněním občanů, že nedošlo k ozáření vyšší dávkou, než kterou mohou obdržet v běžném životě. V tom případě byla nepřípustná i další špatná odpověď b) ozáření při výbuchu atomové bomby v Hirošimě. Celkové znalosti hodnotím jako dostatečné.

Tématicky otázka 6. volně navazuje na otázku 5.*(Jaký podíl na celoživotním ozáření průměrného občana ČR tvoří ozáření z havárie elektrárny Černobyl?* ***b) 0,2%*** *).* U této otázky bylo úkolem zjistit, zda má obyvatelstvo představu, jak velký podíl ze všech ozáření, se kterými člověk přijde za svůj život do styku způsobilo ozáření po černobylské havárii. Správně odpovědělo 70% respondentů, z první skupiny 72%,

ze druhé skupiny 68%. Nejčastější špatnou odpověď a) 33%, zvolilo 28% respondentů. Hodnocené znalosti jsou dostatečné.

Otázka 7. *(U kolika osob v ČR byl diagnostikován akutní radiační syndrom (nemoc z ozáření) způsobený ozářením po úniku radioaktivních látek z Černobylu?* ***a) u žádné osoby)*** byla zaměřena na povědomí obyvatelstva o závažných zdravotních onemocnění , které mohlo způsobit ozáření osob na našem území po havárii v Černobylu. Pro správnou odpověď bylo důležité vědět, že akutní nemoc z ozáření je nezávažnější zdravotní postižení, s nímž se lze setkat výjimečně., pouze u osob ozářených velmi vysokou dávkou. V případě černobylské tragédie jen u pracovníků ozářených při výbuchu reaktoru a u likvidátorů havárie. Správnou odpověď zvolilo 81% respondentů a to považuji za dobré znalosti. V první skupině odpovědělo správně 86%, ve druhé skupině 76%. Rozdíl v úspěšnosti ve skupinách přikládám menší znalosti druhé skupiny pojmu akutní radiační syndrom nebo nemoc z ozáření. První skupina se s tímto výrazem setkala určitě častěji a má větší představu o jeho významu. Špatnou odpověď b) u 5 osob, nebo c) u 23 osob, zvolili převážně respondenti, kteří nedokázali odhadnout na základě dávek míru zdravotních následků.

Otázka 8. Ve vyhodnocení této otázky *(Jaké zdravotní komplikace se mohou projevit někdy až 10 let .po ozáření?* ***b) nádorová onemocnění)*** nebylo nutné rozlišovat úspěšnost odpovědí jednotlivých skupin. Celkově totiž odpovědělo správně na tuto otázku 96% respondentů. Do nabídky špatných odpovědích a) vředy na kůži a c) zvracení, střevní potíže, byly zařazeny takové zdravotní komplikace, které se z hlediska jejich projevů nezařazují mezi pozdní. U obou se rovněž jedná o postižení, která způsobují pouze deterministické účinky a ty se projevují ve velmi krátké době po ozáření. Znalosti u této otázky jsou výborné.

Otázka 9. *(Který z lidských orgánů je nejvíce rizikový k vyvolání rakoviny ozářením?* ***b) štítná žláza*** *).* U této otázky jsem očekával vysokou úspěšnost správných odpovědí, což se také potvrdilo. Jedná se v pořadí o druhou nelépe zodpovězenou otázku, kterou zvolilo celkem 89% respondentů. Mé očekávání se částečně potvrdilo i v předpokládaném rozdílu mezi sledovanými skupinami. První skupina, kterou zastupují obyvatelé žijící v zóně havarijního plánování elektrárny Temelín dosáhla

úspěšnost 91% , druhá skupina složená z obyvatel žijících mimo zónu havarijního plánování 85%. Podíl na tomto rozdílu má určitě skutečnost, že každý obyvatel ze zóny havarijního plánování dostává pravidelně po 5 letech tablety jodidu draselného. Zároveň provozovatel jaderné elektrárny vydává kalendář s instrukcemi pro obyvatele pro případ úniku radioaktivních látek, ve kterém by se každý občan měl seznámit s účelem použití těchto tablet. Díky znalosti účelu jejich použití neměli respondenti problém zvolit správnou odpověď. Vzhledem k rozdílu pouhých 6% mezi skupinami i druhá skupina zná dobře význam použití tablet jodidu draselného a celkové znalosti jsou dobré.

Otázka 10. U této otázky (*Jakými všemi typy ozáření bylo ohroženo obyvatelstvo v ČR?* ***c) zevním ozářením z radioaktivního mraku a radioaktivního spadu, vnitřním ozářením po vdechnutí nebo požití radioaktivních látek***) bylo důležité vybrat odpověď, ve které byly vyjmenované všechny typy možného ozáření. I když špatné odpovědi a) vnějším ozářením z radioaktivního spadu a vnitřním ozářením z konzumace potravin a b) vnitřním ozářením po vdechnutí nebo požití radioaktivních látek, uváděly skutečné způsoby ozáření, tak nezahrnovaly vždy všechny možné. V odpovědích dotazovaní zapomínali především na ozáření z radioaktivního mraku. Mysleli si, že ozáření způsobuje pouze radioaktivní spad, který po dopadu na zemi ozařuje zevně nebo se dalším roptýlením dostane vdechnutím a požitím kontaminovaných potravin do těla, kde způsobuje vnitřní ozáření. Radioaktivní mrak díky svým vlastnostem nezpůsobuje dlouhodobě ozáření, jelikož přes zasažené území pouze prochází. Jeho nebezpečnost spočívá v tom, že zasáhne své okolí krátce po úniku radioaktivních látek a obsahuje radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu, které v radioaktivním spadu postupně vymírají a způsobují nižší dávky (působí však dlouhodobě). Celkově na tuto otázku odpovědělo správně 68% respondentů. Nejčastější špatnou odpověď a) vybralo 31%. V první skupině odpovědělo správně 68% a ve druhé skupině 75%.. Vzhledem k dané otázce, ve které byla správná odpověď pouze v případě zvolení všech způsobů ozáření, považuji znalosti za uspokojivé.

Otázka 11. byla zaměřena na znalosti obyvatelstva o chování a účincích radionuklidů uvnitř lidského těla *(K čemu dochází při vniknutí radioaktivních látek do těla člověka?* ***a) k jejich kumulaci v orgánech, kde zvyšují jejich ozáření z***

bezprostřední blízkosti). Pro odpověď na tuto otázku byl v mnohých případech použit princip vylučovací metody. Špatnou variantu b) k ozáření krve a vzniku krevních sraženin, zvolilo pouze 1% . U ostatních byla tato odpověď okamžitě vyloučena z důvodu nepravděpodobnému ozáření pouze krve a ne dalších orgánů v těle. Tady se projevila dedukce po předchozí otázce 9., která se týkala rizikovosti konkrétních orgánů k onemocnění rakovinou Bohužel další špatnou odpověď c) k jejich usazování na plicích a následným dýchacím potížím, zvolilo 34%. K této odpovědi pravděpodobně vedly zkušenosti a znalosti spojené s účinky nebezpečných chemických látek nebo kouření, které ale pro radioaktivní látky nelze uplatnit. Nepředpokládal jsem, že v tak velkém počtu budou zapomínat na možný příjem radioaktivních látek v potravinách. Na tuto otázku správně odpovědělo celkem 65%. V hodnocení úspěšnosti byla vyhodnocena jako nepříliš dostatečná.

Otázka 12. U této otázky *(Jaká byla uskutečněna opatření na ochranu obyvatel v ČR po černobylské havárii?* ***b) sledování obsahu radionuklidů ve vybraných potravinách, regulace spotřeby zvěřiny*** *)* dotazovaní často odpovídali na nesprávné možnosti a) omezení vycházek těhotným ženám, omezení cestování a pobytu v přírodě nebo c) povinné celorepublikové užívání tablet jodidu draselného. Tato opatření ke zvýšené ochraně obyvatel lze uplatnit, ale jen v případě rizika vyšší dávek z ozáření, než ke kterým skutečně došlo. Na základě měření a vývoji situace byla prováděna opatření na ochranu obyvatel, která neomezovala normální život občanů a nevyžadovala jejich aktivní spoluúčast. Nelze však opomenout vliv západních zahraničních sdělovacích prostředků a také rakouských propagačních letáků, které svou přehnanou propagandou zastrašovaly naše obyvatele a nabádaly je k provádění řady dalších opatřením. V důsledku omezených informací o skutečné radiační situace lidé těmto propagandám často podlehly a začaly podnikat vlastní kroky, které je měli chránit před radioaktivním spadem. Dle výzkumu uskutečněného tehdejším Institutem veřejného mínění v roce 1986 změnila skoro polovina obyvatelstva změnila své běžné zvyklosti a omezila konzumaci některých potravin, zvýšila osobní hygienu, zredukovala pobyt v přírodě a vycházky dětí. Tato skutečnost určitou měrou přispěla u respondentů k volbě špatné odpovědi a), kterou zvolilo 23% . Další špatnou odpověď c) zvolilo 14%. Výrazně se projevil rozdíl mezi u

sledovaných skupin, který je nevětší ze všech otázek V první skupině odpovědělo správně 71%, ve druhé skupině 55%.. U obyvatel první skupiny ze zóny havarijního plánování se ukázalo, že o neodkladných opatření zahrnující ukrytí nebo aplikaci tablet jodidu draselného mají daleko větší informace. Důležité je připomenout, že taková opatření nebylo doposud nutno na území našeho státu podniknout. Díky první skupině je celková úspěšnost 61%, i tak jsou znalosti hodnoceny jako částečně dostačující.

Otázka 13. *(Ve kterých potravinách na území ČR bylo z důvodu omezení vnitřní kontaminace prováděno nejrozsáhlejší měření aktivity radionuklidů?* ***b) mléko, mléčné výrobky****)* měla za svůj cíl zjistit, jak vnímají obyvatelé distribuci radioaktivních látek v závislosti na potravinovém řetězci. Je patrné, že vnitřní kontaminace z potravin představuje jedno z největší ohrožení pro člověka. Radioaktivní látky na základě svého biologického a fyzikálního rozpadu zůstávají v těle a způsobují vnitřní ozáření. Z tohoto důvodu je kontrola aktivity potravin velice důležitá. O tom, kterých potravin se to týkalo a byla prováděna jejich kontrola správně vědělo 74% ze všech respondentů. Svou správnou odpovědí potvrdili, že znají důvod proč tomu tak bylo. Radioaktivní látky ze spadu se nejvíce usadily na vegetaci, která sloužila jako potrava pro hospodářská zvířata a odtud se přes mléko mohly dostat až ke člověku. Mléko a mléčné výrobky patří mezi základní potraviny každodenní konzumace, které se ke spotřebitelům dostávají ve velmi krátké době po jejich produkci, a proto bylo obyvatelstvo nejvíce ohroženo kontaminací krátkodobými radionuklidy, především ^{131}I. Dalším důvodem, proč se prováděla nejrozsáhlejší kontrola právě v těchto potravinách, byla též cílová skupina spotřebitelů. Mezi ně patří především kojenci a malé děti, u nichž by následky z vnitřního ozáření byly daleko závažnější. Chybná odpověď a) chléb, pečivo, byla zavádějící. I když se jedná o potraviny každodenní konzumace, tak v době po havárii byla základní surovinou pro jejich výrobu nekontaminovaná mouka z předešlých sklizní. Tuto odpověď zvolilo 12% respondentů. Další chybnou odpověď c) tropické ovoce, zvolilo 12%. Byli to patrně ti, kteří na základě jedné z chybných odpovědí v otázce 4. předpokládali, že se radioaktivní látky na naše území dostaly v dovážených potravinách a zboží ze zamořených oblastí. Úspěšnost v této otázce byla dobrá, bez velkého rozdílu

u sledovaných skupin. V první skupině správně odpovědělo 77%, ve druhé skupině 71%.

Otázka 14. (Která věková skupina obyvatel ČR se stala nejohroženější na následky ozáření z Černobylu? **a) *děti a mladiství ve věku do 15let v době havárie)*** Tato otázka naváděla k odpovědi, že nejohroženější skupinou se stala c) obyvatelé, kterým v době havárie bylo nad 50 let, a tuto variantu opravdu zvolilo 24,5% dotázaných respondentů. Tato odpověď patří s společně s odpovědí b) každý, kdo se narodil 5 let po havárii, mezi nesprávné. V oblasti ohrožení radioaktivním zářením platí, že děti a mládež jsou až 3-10 krát citlivější na ozáření ve srovnání s dospělými. Je to z toho důvodu, že u nich probíhá ve větší míře dělení buněk a současně je u nich předpokládaná delší doba života. Tato otázka patří v úspěšnosti mezi částečně dostačující, jelikož na ní správně odpovědělo 64 % respondentů.

Otázka 15. K poslední otázce *(Kde by jste se ještě dnes v našem okolí setkali se zbytky radioaktivních látek z Černobylu? **a) v houbách a v mase lesní zvěře**)* mě přivedla zpráva, která proběhla v tisku a v televizi na konci roku 2012. V kontrolních vzorcích byla ve dvou případech u divokých prasat naměřena v mase nadlimitní dávka ^{137}Cs. Jednalo se o oblast Šumavy, kde po průchodu radioaktivního mraku byla naměřena jedna z nejvyšších koncentrací radioaktivního spadu. U přírodních ekosystémů v České republice se jedná vesměs o půdu s vysokým obsahem organických látek, v níž se ^{137}Cs udržuje v dostupné formě pro přestup do kořenového systému vegetace. Často se jedná o relativně tenkou vrstvu půdy na žulovém podkladě, takže ^{137}Cs nemigruje do hloubky. Jeho úbytek se tak děje pouze fyzikálním rozpadem a přestupem do vegetace, která však v přírodním ekosystému zůstává na místě. O tom , že se stále můžeme setkat se zbytky radioaktivních látek a kde se konkrétně nacházejí má správné znalosti pouhých 53 %. V této otázce byla úspěšnější první skupina, která projevila znalosti v 59%, druhá skupina ve 47%. U druhé skupiny se jedná a nejhůře zodpovězenou otázku a jedinou otázku ze všech skupin, která dosáhla úspěšnost méně než 50%. Jelikož se jedná o zodpovězenou otázku s nejhorší úspěšností , znalosti lze ohodnotit jako velice nedostačující.

Na základě součtu získaných bodů ze všech dotazníků, tedy u všech obyvatel České republiky, jsem provedl výpočet průměru na jednu osobu. Výsledný průměrný počet dosažených bodů je 10,89 z celkových 15 možných. Celková úspěšnost je 72,60%. Z těchto výsledků je patrné, že znalosti obyvatelstva o radiačních rizicích vyplívajících z jaderné havárie v Černobylu jsou na dobré úrovni. O tom vypovídá též statistické vyhodnocení dobré shody, které odpovídá normálnímu rozdělení správných odpovědí.. Taková to úroveň znalostí mezi obyvateli je odrazem především postupného uvolnění informací, ke kterému došlo převážně v roce 1989 po změně politického režimu v Československu. Zvýšená informovanost dále nastala v devadesátých letech, kdy se rozhodovalo o dostavbě Jaderné elektrárny Temelín. Ve snaze pozastavit dostavbu elektrárny ekologické organizace ve své propagandě často černobylskou havárii připomínaly a zneužívaly k zastrašení obyvatelstva. Postupně se ukázalo, že tehdejší obavy postupně ztrácejí na významu a lidé díky neutajování žádných skutečností získávají u nás stále větší důvěru v jadernou energetiku.

Potvrdil se předpoklad rozdílu znalostí jednotlivých skupin. První skupina, obyvatelé žijící v zóně havarijního plánování jaderné elektrárny Temelín - dosáhla průměrný počet 11,45 bodů, což je 76,33% úspěšnost. Druhá skupina, obyvatelé žijící mimo zónu havarijního plánování - dosáhla průměrný počet10,33 bodů, což je 68,87% úspěšnost. Již na první pohled je podle předchozích výsledků patrné, že první skupina má lepší znalosti. Jako potvrzující důkaz jsem provedl vzájemné porovnání obou skupin pomocí statistického parametrického dvouvýběrového t-testu na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ (rozdíl na úrovni 95%). Test jednoznačně potvrdil statisticky významný rozdíl a první skupina má opravdu větší znalosti. Významně se na tom podílí skutečnost, že tito obyvatelé mají v blízkosti svých domovů jadernou elektrárnu, která je motivuje ke zvýšenému zájmu a získávání informací o jejím provozu a také možných rizicích. Zároveň i snaha provozovatele Jaderné elektrárny Temelín přispívá k vyšší informovanosti obyvatelstva a to pravidelným vydáváním Příručky pro ochranu obyvatelstva v případě radiační havárie JE Temelín s kalendářem a dále svým informačním střediskem, které je vystaveno stále většímu zájmu ze strany občanů.

Pokud bychom v teoretické rovině připustili možnou další událost související se zasažením našeho státu radioaktivními látkami, jak tomu bylo po havárii v Černobylu, určitě bychom se setkali s rozdílným přístupem obyvatel, než tomu bylo v době po havárii. Nepředpokládám menší obavy ze vzniklého nebezpečí, ale současné znalosti možných rizik by značně přispěly ke klidnějšímu a rozvážnějšímu řešení dané situace.

5 Závěr

Dopady na zdraví lidí a na životní prostředí jasně charakterizují černobylskou havárii jako nejvážnější jadernou havárii v historii. Stejně vážné, ne-li vážnější, však byly dopady nedostatečných a často rozporuplných informací týkajících se závažnosti vzniklých rizik pro obyvatelstvo. Hlavním úkolem bylo tedy zjistit jaké jsou současné znalosti obyvatel ČR o těchto rizicích.

Tato práce potvrdila obě zadané hypotézy. Obyvatelé ČR mají dobré znalosti o radiačních rizicích vyplívajících z havárie jaderné elektrárny a obyvatelé žijící v zóně havarijního plánování jaderné elektrárny Temelín mají větší znalosti než obyvatelé žijící mimo zónu havarijního plánování. Zároveň byli splněny i všechny cíle V kapitolách 1.2.6 až 1.2.8 je zpracován přehled onemocnění způsobených ozářením radioaktivními látkami a v kapitole 1.4.6 jsou popsány zdravotní následky havárie Černobyl. Ke splnění ostatních cílů bylo provedeno dotazníkové šetření, z něhož byla zjištěna znalost obyvatel týkající se dané problematiky.

Při zpracování své diplomové práce jsem dospěl dále k závěru, že v současné době se můžeme setkat zcela výjimečné s riziky, která zanechala havárie jaderné elektrárny Černobyl na území České republiky. Proto by tato problematika měla pro nás a další generace zůstat už jen velkým varováním a poučením. Doporučuji zaměřit se více na současný stav v oblasti možných radiačních rizik a na informovanost o zajištění bezpečného provozu provozovaných jaderných elektráren Temelín a Dukovany. Svojí práci nabídnu k nahlédnutí Státnímu ústavu radiační ochrany a útvaru Vnitřních a vnějších vztahů ETE na Jaderné elektrárně Temelín, kteří by mohly využít poznatky.obsažené v této diplomové práci.

6 Použitá literatura

1) ULLMANN, V. *Jaderná a radiační fyzika, 1.2. Radioaktivita* [online], [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm

2) SÚRO, *Informace Státního ústavu radiační ochrany, v.v.i., k událostem v Japonsku, Základní pojmy* [online], [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/rms/informace-statniho-ustavu-radiacni-ochrany-v.v.i.-k-udalostem-v-japonsku/zakladni-pojmy

3) KOLÁČEK, Bohumil, Ing. *Radiační ochrana pro pracovníky velmi významných zdrojů*. Brno: Školící výcvikové středisko. 2006

4) KOLEKTIV AUTORŮ. *Patnáct let od havárie Černobylu – následky a poučení.* Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2001

5) KOLEKTIV AUTORŮ. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Azin CZ, 2000. ISB 80-238-3703-6. s.349

6) KAPITÁN, M.,. *Ionizující záření a jeho vztah k živému organismu* [online], [cit. 2013-03-014]. Dostupné z: http://www.mediprofi.cz/ionizujici-zareni-organismus-uniqueidgOkE4NvrWuMf0y8FDgMuk6qLYsX2a233/

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

8) ČESKO. *Vyhláška č. 307 ze dne 13.června 2002 o radiační ochraně.* Dostupný z http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/

9) KOLÁČEK, Bohumil, Ing. *Radiační ochrana pro pracovníky velmi významných zdrojů.* Brno: ČEZ a.s., Školící výcvikové středisko. 2006

10) ULLMANN,L. *Jaderná a radiační fyzika, Biologické účinky ionizujícího záření* [online], [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm

11) ULLMANN, V. *Jaderná fyzika a ionizující záření, Radiační ochrana ionizujícího záření.* [online], [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm

12) SÚRO. *Stručný přehled biologických účinků záření* [online], [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/

13) *Radiobiologie, Poškození DNA* [online], [cit. 2013-03-19].Dostupné z: http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/433.html

14) KONEČNÝ, J. *Radiační fyzika.* Skripta JČU. České Budějovice. 2007. ISBN 80-7040-846-X

15) SÚRO. *Radiační ochrana, Biologické účinky ionizujícího záření* [online], [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni

16) KOLÁČEK, B. *Radiační ochrana pro vybrané pracovníky jednoduchých a významných zdrojů*. Brno: ČEZ a.s., listopad 2009.

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

18) SÚRO. *Biologické účinky ionizujícího záření* [online], [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni

19) LEBEDA, M. *Biologické účinky ionizujícího záření* [online], [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://radiace.czweb.org/ucinky_zareni.html

20) KUNA, P., NAVRÁTIL,.L A KOL., *Klinická radiobiologie.* Praha: Manus, 1. vyd., 2005. ISBN 80-86571-09-2

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

22) SÚKUPOVÁ, M.*O dávkách v radiodiagnostice a všem, co s tím souvisí…, Deterministické a stochastické účinky* [online], [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: http://www.sukupova.cz/deterministicke-a-stochasticke-ucinky-ozareni/

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

24) MATZNER, J. *Praktika z dozimetrie*, JČU ZSF, České Budějovice, 2004, ISBN 80-7040-707-7

25) HÁLA, J. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Brno, 1998. ISBN 80-85615-56-8.

26) *Radiobiologie. Radionuklidy pocházející ze spadu po jaderné havárii Černobyl a zkouškách jaderných zbraní* [online], [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/433.html

27) SÚRO. *Radiační ochrana, Radiační havárie* [online], [cit. 2013-03-017]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/radiacni-havarie

28) SÚRO. Radiační ochrana, Radiační havárie [online], [cit. 2013-03-017]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/radiacni-havarie

29) KOLEKTIV AUTORŮ. *10let od havárie jaderného reaktoru v Černobylu – důsledky a poučení.* Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 1996

30) *Jodové tablety a ochrana před radioaktivitou - jaký je účel jejich použití?* [online], [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.samoleceni.cz/jodove-tablety

31) *Výročí výbuchu v Černobylu: vše, co potřebujete vědět o radioaktivním záření* [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://www.toplekar.cz/archiv-clanku/radioaktivni-zareni-vse-co-potrebujete.html

32) HORÁKOVÁ, J. *Nejvýznamnější radionuklidy při havárii jaderné elektrárny, zkušenosti z Černobylu.* Diplomová práce. JCU Česká Budějovice, 2007

33) KOSTKA, T. *Havárie v jaderné elektrárně Černobyl* [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://cernobyl.euweb.cz/

34) RYZÍ, Lukáš. *Černobylská jaderná elektrárna* [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://chernobylzone.cz/cernobylska-jaderna-elektrarna/

35) *Černobyl – jak to tenkrát bylo* [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://www.klubpraha7.cz/?p=1836

36) *Soubor:RBMK en.svg*. [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:RBMK_en.svg

37) *Havárie v černobylské jaderné elektrárně,* Praha5 – Zbraslav, 1986, Československá komise pro atomovou energii, Ústřední informační středisko pro jaderný program, 57-814/86

38) ILLEŠ, A. Š., PRALNIKOV, A. E., *Reportáž z Černobylu.* Praha: Československá komise pro atomovou energii v ústavu jaderných informací, Redakční příprava VN MON, 1989. ISBN 80-7073-006-4

39) *Černobyl – jak to tenkrát bylo* [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://www.klubpraha7.cz/?p=1836

40) *Černobyl – 25let* [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://www.csvts.cz/cns/news11/cernob25.pdf

41) SMITH, J.,BERESFORD, D. *CHERNOBYL-Catastrophe and Consequences*. Chichester, UK: Praxi Publishing Ltd, 2005. ISBN 3-540-23866-2

42) KLENER, V., TOMÁŠEK, L. SÚRO *Zdravotní následky Černobylské katastrofy* [online], [cit. 2013-03-017]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/zdravotni_nasledky_cernobylu.pdf

43) *20 let od havárie v Černobylu − fakta a souvislosti* [online], [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: http://www.jihoceskematky.cz/dokumenty/Sbornik.pdf

44) *Děditctvi černobylu: Zdravotní, ekologické a sociálně-ekonomické dopady a doporučení vládám Běloruska, ruské federace a Ukrajiny* ISBN 8O-02-01806-O

45) *Zdravotní důsledky černobylské havárie* [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/backgrounder/en/index.html

46) UNSCER. *Sources and effects of ionizing radiation.* Vol II: Effect United Nations. New York 2000

47) KUVSHINIKOV, A.V. *20 yers after the Chernobyl catastrophe The Consequences in the Republic of Belarus and thein OPvercoming*. Minsk: 2006. ISBN 985-01-0628-X

48) *ČSVTS v koedici s Českou nukleární společností, Hlavní zřetele studií Černobylského fóra* [online], [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: http://www.csvts.cz/cns/news06/cernob06.pdf

49) VANĚK, Miroslav. *Černobyl - krize věrohodnosti. Politické dopady černobylské tragédie* [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/Cernobyl_krize_verohodnosti.pdf

50) Institut hygieny a epidemiologie. *Zpráva o radiační situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny Černobyl.* PRAHA 10, Centrum hygieny záření, Škrobárova 48, 1987

51) HŮLKA, J., MALÁTOVÁ, I. *SÚRO. Radiační situace v České republice, přehled hlavních výsledků měření a opatření* [online], [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf

52) KOSTKA, T. *Černobylská havárie. Radiační dávky* [online], [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://chernobylzone.cz/radiacni-davky/

53) MALÁTOVÁ, I. *SÚRO. Situace po černobylské havárii v České republice* [online], [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/situace_po_cernobylske_havarii_v_ceske_republice.pdf

7 Klíčová slova

Jaderná havárie, elektrárna Černobyl, radioaktivní látky, ozáření.

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Hodnoty radiačních váhových součinitelů dle doporučení ICRP
Tabulka 2 - Hodnoty tkáňových váhových součinitelů dle doporučení ICRP
Tabulka 3 - Limity ozáření
Tabulka 4 - Celkový přehled zdravotních následků ozáření
Tabulka 5 - Velikost sledovaných populací
Tabulka 6 – Úvazky efektivní dávky z příjmu radionuklidů v r. 1986
Tabulka 7 – Zevní a vnitřní odhady dávek ozáření obyvatelstva ČR po havárii
Tabulka 8 - Rozložení správných a špatných odpovědí obyvatel ČR
Tabulka 8.1 - Vyjádření počtu správných odpovědí u obyvatel ČR
Tabulka 9 - Rozložení správných a špatných odpovědí obyvatel v ZHP
Tabulka 9.1 - Vyjádření počtu správných odpovědí u obyvatel v ZHP
Tabulka 10 - Rozložení správných a špatných odpovědí u obyvatel mimo ZHP
Tabulka 10.1 - Vyjádření počtu správných odpovědí u obyvatel mimo ZHP
Tabulka 11 - Škálování výsledků znalostí z dotazníkového šetření u obyvatel ČR
Tabulka 12 - Výsledky šetření empirických parametrů u obyvatel ČR
Tabulka 13 - Intervalové rozdělení četností výsledků u obyvatel ČR
Tabulka 14 - Hodnoty jednotlivých integrálů pro testování znalostí u obyvatel ČR
Tabulka 15 - Výsledky výpočtů pro testování znalostí u obyvatel ČR
Tabulka 16 - Škálování výsledků dotazníkového šetření u obyvatel v ZHP
Tabulka 17 - Výsledky šetření empirických parametrů u obyvatel v ZHP
Tabulka 18 - Škálování výsledků dotazníkového šetření u obyvatel mimo ZHP
Tabulka 19 - Výsledky šetření empirických parametrů u obyvatel mimo ZHP

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma význačných procesů a jejich časové posloupnosti účinků ionizujícího záření na živou tkáň
Obrázek 2 - Princip přímých a nepřímých účinků ionizujícího záření
Obrázek 3 - Lokální poškození DNA vyvolané kaskádou radikálů
Obrázek 4 - Stochastické a deterministické účinky

Obrázek 5 – Schéma bloku s reaktorem RBMK - 1000
Obrázek 6 - Rakovina štítné žlázy u dětské populace v Bělorusku, Rusku a Ukrajině
Obrázek 7 – Dynamiky míry výskytu maligního tumoru u likvidátorů a populace kontrolní skupiny
Obrázek 8 - Standardizovaná incidence leukémie u likvidátorů
Obrázek 9 - Rozšíření vrozených malformací v oblastech Běloruska
Obrázek 10 - Objemové aktivity významných radionuklidů v prvních dnech po havárii
Obrázek 11 - Plošné aktivity ^{137}Cs na území České republiky krátce po havárii zjištěné v celostátním průzkumu ve dnech 16. − 17. 6. 1986
Obrázek 12 - Objemové aktivity významných radionuklidů v prvních dnech po havárii
Obrázek 13 - Podíl ozáření průměrného obyvatele ČR v roce 1986
Obrázek 14 - Dlouhodobý časový vývoj hmotnostních aktivit 137 Cs v potravinách
Obrázek 15 – Podíl jednotlivých potravin na příjmu 137 Cs
Obrázek 16 – Časový vývoj efektivních dávek obyvatelstva ČR
Obrázek 17 – Relativní podíl ozáření: v roce 1986 – celoživotně (od r. 1986)
Obrázek 18 - Polygon empirického rozdělení absolutních četností u obyvatel ČR
Obrázek 19 - Polygon empirického rozdělení absolutních četností u obyvatel ČR

Seznam příloh

Příloha A - Dotazník

Příloha A - Dotazník

Dobrý den!

Jmenuji se Luboš Jaroš a studuji magisterský obor Civilní nouzová připravenost na Zdravotně sociální fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Dovoluji si Vás prostřednictvím oslovených studentů - studentek požádat o zodpovězení několika otázek z následujícího dotazníku, který je součástí mojí diplomové práce na téma „Znalosti obyvatel ČR o radiačních rizicích vyplývajících z havárie jaderné elektrárny Černobyl“. Dotazníky jsou anonymní a budou použity pouze pro účely diplomové práce.

Velice děkuji za Vaši ochotu a spolupráci.

DOTAZÍK

Jste ?

Muž □ Žena □ Váš rok narození ? …….

Pracujete v jaderné energetice, na pracovišti se zdroji ionizujícího záření nebo máte vzdělání v daném oboru?

ANO □ NE □

Pokud ANO, v jakém oboru pracujete nebo studujete? ……

Bydlíte v zóně havarijního plánování JE Temelín (zóna 13 km kolem elektrárny, viz. přiložená mapa)?

ANO □ NE □

---

1. Víte ve kterém roce došlo k havárii jaderné elektrárny Černobyl?
   a) v roce1977,
   b) v roce 1986,
   c) v roce 2011.

2. Co bylo příčinou černobylské havárie?
   a) nevydařený technologický experiment,
   b) závada na zřízení,
   c) zemětřesení.

3. Jak velkou oblast zasáhly radioaktivní látky unikající z havarovaného reaktoru?
   a) Rusko, Ukrajinu, Polsko a bývalou ČSSR,
   b) téměř celý svět,
   c) území většiny států Evropy.

4. Jakou cestou se dostaly radioaktivní látky bezprostředně po havárii na území ČR?
   a) v dovážených potravinách a zboží ze zamořených oblastí,
   b) ve formě radioaktivního mraku a následného radioaktivního spadu,
   c) především produktovody z Ruska se zemním plynem a ropou.

5. Víte s čím je srovnatelné ozáření průměrného obyvatel ČR z elektrárny Černobyl za období jednoho roku po havárii?
   a) s průměrným ozářením obyvatel za rok při lékařském vyšetření (rentgen, apod)
   b) s ozářením pří výbuchu atomové bomby v Hirošimě,
   c) s celoživotním ozářením způsobeným provozem jaderných elektráren v ČR.

6. Jaký podíl na celoživotním ozáření průměrného občana ČR tvoří ozáření z havárie elektrárny Černobyl?
   a) 32%,
   b) 0,2%,
   c) 88%.

7. U kolika osob v ČR byl diagnostikován akutní radiační syndrom (nemoc z ozáření) způsobený ozářením po úniku radioaktivních látek z Černobylu?
   a) u žádné osoby,
   b) u 5 osob,
   c) u 23 osob.

8. Jaké zdravotní komplikace se mohou projevit někdy až 10 let .po ozáření?
   a) vředy na kůži,
   b) nádorová onemocnění,
   c) zvracení, střevní potíže.

9. Který z lidských orgánů je nejvíce rizikový k vyvolání rakoviny ozářením?
   a) ledviny,
   b) štítná žláza,
   c) tlusté střevo.

10. Jakými všemi typy ozáření bylo ohroženo obyvatelstvo v ČR?
   a) vnějším ozářením z radioaktivního spadu a vnitřním ozářením z konzumace potravin,
   b) vnitřním ozářením po vdechnutí nebo požití radioaktivních látek,
   c) zevním ozářením z radioaktivního mraku a radioaktivního spadu, vnitřním ozářením po vdechnutí nebo požití radioaktivních látek.

11. K čemu dochází při vniknutí radioaktivních látek do těla člověka?
   a) k jejich kumulaci v orgánech, kde zvyšují jejich ozáření z bezprostřední blízkosti,
   b) k ozáření krve a vzniku krevních sraženin,
   c) k jejich usazování na plicích a následným dýchacím potížím.

12. Jaká byla uskutečněna opatření na ochranu obyvatel v ČR po černobylské havárii?
    a) omezení vycházek těhotným ženám, omezení cestování a pobytu v přírodě,
    b) sledování obsahu radionuklidů ve vybraných potravinách, regulace spotřeby zvěřiny,
    c) povinné celorepublikové užívání tablet jodidu draselného.

13. Ve kterých potravinách na území ČR bylo z důvodu omezení vnitřní kontaminace prováděno nejrozsáhlejší měření aktivity radionuklidů?
    a) chléb, pečivo,
    b) mléko, mléčné výrobky,
    c) tropické ovoce.

14. Která věková skupina obyvatel ČR se stala nejohroženější na následky ozáření z Černobylu?
    a) děti a mladiství ve věku do 15let v době havárie,
    b) každý, kdo se narodili 5 let po havárii,
    c) obyvatelé, kterým bylo v době havárie nad 50let.

15. Kde by jste ještě dnes v našem okolí setkali se zbytky radioaktivních látek z Černobylu?
    a) v houbách a v mase lesní zvěře,
    b) v rybách a vodních rostlinách,
    c) nikde.

Za každou správnou odpověď 1 bod.
Maximální počet 15 bodů.
Minimální počet 0 bodů.

Mapa zóny havarijního plánování Jaderné elektrárny Temelín