



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Ionizující záření jako téma environmentální edukace

Diplomová práce

Studijní program:

Ochrana obyvatelstva

Autor: Marcel Vaněček

Vedoucí práce: prof. Dr.rer.nat. Friedo Zölzer, Dsc.

České Budějovice 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem „*Ionizující záření jako téma environmentální edukace*“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne 10.5. 2021

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu prof. Dr.rer.nat. Friedo Zölzerovi, Dsc. za vedení mé práce, za všechny rady a postřehy. Dále děkuji všem ředitelům škol zahrnutých do výzkumu a všem zúčastněným studentům. Mé díky patří také mé rodině za jejich podporu.

Abstrakt

Ionizující záření je fyzikální faktor, který nezanedbatelně působí na lidské zdraví. Průměrný člověk je na planetě Zemi ozářen v průměru 2,4 mSv ročně. Největší část z této dávky pochází z přírodních zdrojů, především radonu. Vysoké koncentrace radonu jsou druhou nejčastější příčinou rakoviny plic, hned po kouření. V současné době je však na vzestupu ozáření z lékařských zdrojů, které se v některých vyspělých zemích může rovnat ozáření ze zdrojů přírodních. Základní znalosti o zdrojích ionizujícího záření, jeho účincích a ochranou před ním, by měly být známy všem studentům středních škol.

Diplomová práce se zaměřuje na téma ionizujícího záření z pohledu středoškolských učitelů a studentů. Práce je rozdělena na dvě hlavní části. V první, teoretické části je rozebírána problematika ionizujícího záření jako fyzikálního faktoru ovlivňujícího lidské zdraví. Je zde popsán vznik ionizujícího záření, základní pojmy, jako radioaktivita a poločas rozpadu, jsou zde rozlišeny jednotlivé druhy záření, jednotlivé zdroje, účinky a ochrana před ním.

Druhá, praktická část je zaměřena na zkoumání znalostí studentů středních škol o této problematice. V práci je řešeno několik cílů. Prvním cílem práce je analýza přístupu středoškolských učitelů k informacím o tématu ionizujícího záření. Druhým cílem je ověření znalostí středoškolských studentů o tomto tématu. Třetím cílem je zhodnotit, zda jsou studenti středních odborných škol lépe znalostně vybaveni o tématu ionizujícího záření než studenti gymnázií. Čtvrtým a posledním cílem práce je sepsání volně přístupného materiálu o tématu ionizujícího záření pro středoškolské učitele i studenty. Tento materiál bude sloužit jako informační zdroj při tvorbě edukačního podkladu učitelům vyučujících o tématu ionizujícího záření, ale mohou jej využít i studenti při tvorbě seminárních prací.

Výsledky v praktické části byly získány především z dotazníkového šetření s účastí celkem 348 respondentů ze čtyř typů středních odborných škol, které byly pro další zkoumání dále rozděleny do dvou sekcí. Z výsledků je možné vyčíst, že 348 studentů ze středních škol odpovídalo na 11 odborných otázek s průměrnou přesností 53%. Dalším významným objevem je fakt, že studenti gymnázií na odborné otázky odpovídali v průměru s 57% úspěšností, zatímco studenti středních odborných škol jen s 50% úspěšností.

Klíčová slova:

Ionizující záření, radiace, zdroje ozáření, radiační zátěž, přírodní záření

Abstract

Ionizing radiation is a physical factor that has a significant effect on human health. An average person on Earth is irradiated at an average of 2.4 mSv per year. Most of this dose comes from natural sources, especially radon. High levels of radon are the second most common cause of lung cancer after smoking. At present there is an increase in exposure from medical sources which in some developed countries may equal to exposure from natural sources. Basic knowledge about sources of ionizing radiation, its effects and protection against it should be known to all high school students.

The diploma thesis focuses on ionizing radiation from the perspective of high school teachers and students. It is divided into two main parts. In the first theoretical part the issue of ionizing radiation as a physical factor affecting human health is discussed. It describes the origin of ionizing radiation, basic concepts such as radioactivity and half-life, there are different types of radiation, individual sources, effects and protection against it.

The second practical part is focused on examining the knowledge of high school students on this issue. The work tries to solve several goals. The first goal of the thesis is analysing the approach of high school teachers to information about the topic of ionizing radiation. The second goal is to verify the knowledge of high school students. The third goal is to evaluate whether high school students have a better knowledge of the topic of ionizing radiation than grammar school students. The fourth and last goal of the diploma thesis is to write a freely accessible material about the topic of ionizing radiation for high school teachers and students. This material will serve as an information source during the creation of the educational material for teachers teaching on the topic of ionizing radiation, but it can also be used by students while preparing seminar papers.

The results in the practical part were obtained mainly from a questionnaire survey made with 348 respondents from four types of secondary vocational schools which were divided into two sections for further research. The results show that 348 high school students answered 11 questions with an average accuracy of 53%. Another significant discovery is the fact that grammar school students answered questions with an average of 57% success rate, while high school students answered only with 50 % success.

Keywords:

Ionizing radiation, radiation, radiation sources, radiation exposure, natural radiation

Obsah

1. Úvod	10
2. Teoretická část	12
2.1. Radioaktivita	12
2.1.1. Struktura atomu	12
2.1.2. Co je radioaktivita	13
2.1.3. Pochopení radioaktivity	13
2.1.4. Základní jednotky radioaktivity	13
2.2. Stabilita jader a rozpadové řady	14
2.2.1. Stabilita jader	14
2.2.2. Poločas rozpadu	15
2.2.3. Rozpadové řady	17
2.3. Umělá radioaktivita	18
2.3.1. Objev umělé radioaktivity	18
2.3.2. Umělé radionuklidy	18
2.3.3. Jaderné reakce	18
2.4. Záření	20
2.4.1. Co je záření a jeho formy	20
2.4.2. Elektromagnetické záření	21
2.4.3. Excitace	21
2.4.4. Ionizace	21
2.4.5. Rozdělení záření podle vlnové délky	22
2.5. Ionizující záření	24
2.5.1. Rozdělení ionizujícího záření	24
2.5.2. Záření alfa	24
2.5.3. Záření beta	24

2.5.4.	Záření gama	25
2.6.	Účinky ionizujícího záření	27
2.6.1.	Zdravotní účinky	27
2.6.2.	Stochastické účinky	27
2.6.3.	Nestochastické účinky ionizujícího záření.....	28
2.6.4.	Deterministické účinky	28
2.6.5.	Akutní nemoc z ozáření	29
2.6.6.	Akutní lokální změny.....	30
2.6.7.	Vliv ionizujícího záření na plod.....	30
2.7.	Radiační zátěž u obyvatel České republiky.....	31
2.7.1.	Roční ozáření obyvatel ČR	31
2.8.	Největší zdroje ionizujícího záření.....	32
2.8.1.	Gama záření z přírodních zdrojů.....	32
2.8.2.	Zátěž ze stavebních materiálů	32
2.8.3.	Přírodní radionuklidy	32
2.8.4.	Kosmické záření.....	33
2.8.5.	Záření z jaderných havárií	34
2.8.6.	Ozáření z lékařských zdrojů.....	36
2.8.7.	Narůstající dávky ozáření z lékařských zdrojů	38
2.8.8.	Radon	39
2.9.	Radiační pracovníci a ochrana před ionizujícím záření	41
2.9.1.	Expoziční situace	41
2.9.2.	Radiační pracovník	41
2.9.3.	Ochrana před ionizujícím zářením	41
2.9.4.	Kontaminace radioaktivní látkou.....	42
3.	Metodika.....	43
4.	Výsledky.....	47

4.1.1.	Počty respondentů z jednotlivých škol.....	48
4.1.2.	Věk respondentů	49
4.1.3.	Ročník studia respondentů	51
4.1.4.	Pohlaví respondentů	53
4.1.5.	Zájem respondentů o téma	55
4.1.6.	Probírali jste téma ionizujícího záření, respektive radiace v hodinách fyziky? 57	
4.1.7.	Kolik hodin ve vaší výuce (fyziky, biologie, radiologie) bylo věnováno tématu ionizujícího záření, respektive radioaktivitě?.....	59
4.1.8.	Viděl/a jste někdy dokument týkající se ionizujícího, respektive radiačního záření, popřípadě kterého typu?	61
4.1.9.	Co je podle vás radioaktivita.....	62
4.1.10.	Který typ záření nejvíce prostupuje materiálem nebo lidskou tkání?	64
4.1.11.	Které záření z radioaktivních zdrojů má největší schopnost ionizace?	66
4.1.12.	Který chemický prvek se používá na odstínění (zachycení) pronikavého ionizujícího záření z radioaktivních zdrojů?	68
4.1.13.	Každý rok je člověk vystaven určité dávce ionizujícího záření pocházejícího z různých zdrojů. Základní dělení je na umělé, lékařské a přírodní. Označte, ze kterého zdroje pochází největší část ozáření.	70
4.1.14.	Z jakého přírodního zdroje podle vás pochází největší část ozáření pro obyvatele? 72	
4.1.15.	Do jaké vzdálenosti následky havárie jaderné Elektrárny Černobyl ohrožují obyvatele Evropy?.....	74
4.1.16.	Co je to radon?	76
4.1.17.	Vyberte, která z následujících reakcí není spojena s vystavením organismu ionizujícímu záření	78
4.1.18.	Jaký typ rakoviny je spojován s dlouhodobým vystavením účinků ionizujícího záření z přírodních zdrojů v České republice?.....	80

4.1.19. Vyberte, která z následujících možností nespadá do principů radiační ochrany u radiačních pracovníků	82
5. Diskuze	84
6. Závěr	89
7. Seznam literatury	91
8. Seznam obrázků	100
9. Seznam tabulek	103
10. Seznam příloh	104
11. Použité zkratky	105
12. Přílohy	106

1. Úvod

Existuje mnoho druhů záření v různých formách. Toto záření je neoddelitelnou součástí vesmíru. Nás jako lidstvo doprovází záření každý den po celých dvacet čtyři hodin v různých podobách. Některé záření je pro život zcela esenciální, některé naopak může být životu nebezpečné. Naše těla jsou záření vystavena ze zdrojů, jako je Slunce, vesmír a hvězdy, ale některé druhy záření jsou vyzařovány i z naší planety, vyzařují je předměty kolem nás, jídlo které jíme, voda kterou pijeme a vyzařují je i naše těla.

Zjednodušeně můžeme záření rozdělit na ionizující a neionizující, podle energie, kterou je schopno předat absorbujícímu materiálu. Tato diplomová práce se bude zaměřovat na ionizující záření, což je vysokoenergetické záření které může být pro lidstvo velice prospěšné použitím v průmyslu, lékařství a energetice, ale vystavení jeho nekontrolované dávce může mít negativní až fatální následky pro organismus.

Zdroje tohoto nebezpečného fyzikálního faktoru pro člověka i ostatní živé organismy jsou přírodního i antropogenního původu. Průměrný člověk na zemi obdrží efektivní dávku záření rovnající se 2,4 mSv/rok. Většina zdrojů z této dávky pochází z přírody, dostává se k nám v podobě radonu a jeho rozpadových produktů, gama záření z půdy a kosmického záření. Jen přibližně 25 % z celkové dávky záření u průměrného člověka tvoří antropogenní zdroje, využívané především v lékařské radiologii a nukleární medicíně.

Ohledně zdrojů i účinků ionizujícího záření je možné na sociálních sítích dohledat různé dezinformace a zkreslené údaje. Dále televizní dokumenty a dokumentární série o jaderných haváriích nebo testování a použití jaderných zbraní může u laické, především mladší populace ovlivňovat vnímání celé této problematiky a ovlivňovat u ní názory týkající se ionizujícího záření.

Problematiku ionizujícího záření na středních školách mají za úkol vykládat učitelé fyziky, kteří se musejí vypořádat nejen s předsudky svých žáků ohledně tohoto tématu, ale dále s možným nedostatkem podložených materiálů sloužících jako podklad pro výuku tohoto tématu.

Hlavním cílem této práce je sepsat volně přístupné informace o ionizujícím záření, které budou sloužit jako podklad pro výuku středoškolských učitelů fyziky ohledně této problematiky. Dalšími cíli je otestování znalostí žáků vybraných středních škol o ionizujícím záření a porovnání znalostí dané problematiky mezi studenty gymnázií a studenty středních odborných škol, kteří by měli v rámci zaměření svého oboru tuto problematiku probírat hlouběji.

Téma této diplomové práce jsem si vybral z důvodů mé zainteresovanosti v tématu ionizujícího záření a zároveň z důvodu aktuálního nedostatku důvěryhodných materiálů dostupných k této problematice na internetových stránkách pro laickou veřejnost i pro učitele, kterým byl svěřen úkol vzdělávání následujících generací. Je důležité, aby studenti a další mladí lidé měli alespoň základní informace o největších zdrojích ionizujícího záření a jeho účincích. Dalším z faktorů, které ovlivnily mé rozhodnutí ohledně volby tohoto tématu je touha zjistit, do jaké míry je dnešní mladá generace ovlivněna dokumenty a dokumentárními sériemi o účincích ionizujícího záření, haváriích jaderných elektráren a testování a použití jaderných zbraní hromadného ničení. Zajímá mne, kolik ze zkoumaných respondentů vidělo dokumenty o jaderné havárii, a do jaké míry si respondenti myslí, že jaderné havárie ovlivňují celkový příjem ročního ozáření.

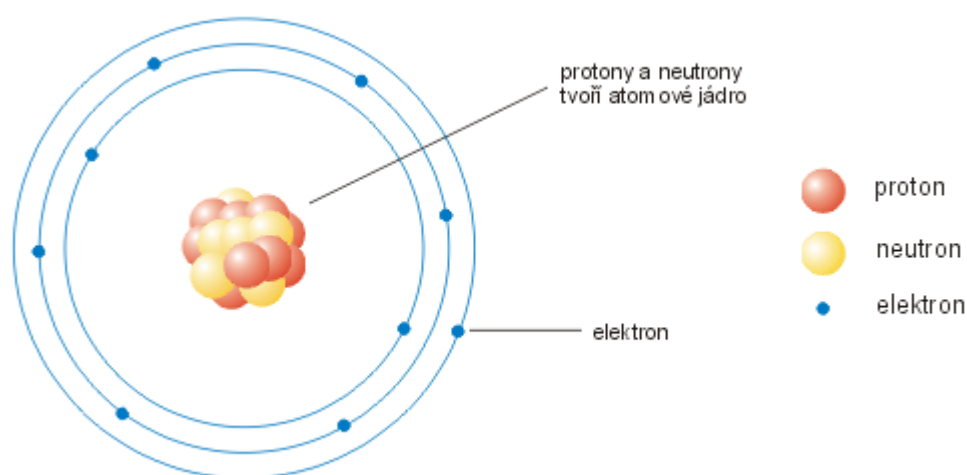
2. Teoretická část

2.1. Radioaktivita

2.1.1. Struktura atomu

Všechny hmotné materiály se dají označit slovem těleso. Všechna tělesa mají jiné fyzikální a chemické vlastnosti. Některá tělesa se skládají z jedné látky, jiné ze směsi. Veškeré látky jsou tvořeny z částic. Základní částice jsou atomy, což jsou velmi malé částice tvořené z protonů, elektronů a neutronů. Atomy se mohou spojovat do větších celků, které jsou označovány jako molekuly. Látky, tvořené z molekul různých prvků, se nazývají sloučeniny (Bednaříková).

Slovo atom pochází z řeckého jazyka a v překladu znamená nedělitelný. Atom je nejmenší částice běžné hmoty, tedy částice, kterou již chemickými prostředky dále nelze dělit a která definuje vlastnosti daného chemického prvku. Atom se skládá z jádra a obalu. Jádro atomu je složeno z kladně nabitých protonů a neutronů, které nemají elektrický náboj. Jádro tvoří téměř veškerou hmotnost celého atomu, ale tvoří pouze malou část jeho objemu. Obal atomu je složen ze záporně nabitých elektronů, které se pohybují kolem jádra ve vrstvách. Vrstva, která je nejvzdálenější od jádra, se nazývá vnější elektronová vrstva. Počet elektronů v obalu se rovná počtu protonů v jádře. Tímto způsobem se elektrický náboj vyrovnává a tvoří tak stabilní atom (Bednaříková).



Obrázek 1 Struktura atomu

Zdroj: (Žejdlíková)

2.1.2. Co je radioaktivita

Radioaktivita je akt spontánního emitování záření. To se děje atomovým jádrem, které je nestabilní a k dosažení energetické stability se musí vzdát přebytečné energie.

2.1.3. Pochopení radioaktivity

Radioaktivita byla podrobně zkoumána ve dvacátém století. Vědci, zabývající se tímto fyzikálním fenoménem, došli v roce 1960 k zajímavým závěrům. Zjistili, že příliš mnoho neutronů v jádře vede k emitování negativní beta částic, která následně mění jeden z neutronů na proton. Příliš protonů v jádře vede k emitování pozitronu (pozitivně nabitého elektronu), který změní proton na neutron. Přebytek energie vede k vyzáření paprsku gama, přičemž se jádro zbaví velkého množství energie beze změny jakékoli částice v jádře. Příliš velké množství „těžké“ hmoty vede k tomu, že jádro emituje alfa částici a odhodí čtyři těžké částice (dva protony a dva neutrony), (What Is Radioactivity?).

2.1.4. Základní jednotky radioaktivity

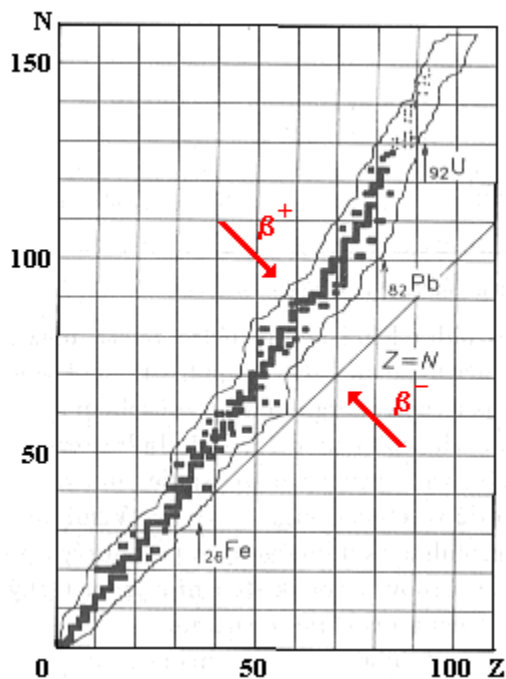
Radioaktivita se měří v přeměnách za sekundu, její měrnou jednotku je Becquerel (Bq), na počest Henryho Becquerela, který objevil spontánní emise záření z uranu v roce 1896. Záření produkované rozpadem radioizotopů interaguje s hmotou a přenáší energii. Velikost a závažnost účinků závisí na dávce a typu přijímaného záření. Měrnou dávkou absorbované dávky je grey (1 Gy se rovná jednomu joulu absorbovaném 1 kg hmoty). Pro stanovení míry biologických účinků způsobených radiací byl zaveden koncept ekvivalentní dávky. To umožňuje vyhodnocení poškození způsobeného stejnou dávkou různých typů ionizujícího záření. V tomto případě je měrnou jednotkou sievert (Sv), (Radioactivity and man, 2013).

2.2. Stabilita jader a rozpadové řady

2.2.1. Stabilita jader

Atomy se nacházejí v přírodě ve stabilním stavu, pokud jsou síly mezi částicemi, které tvoří jádro, vyvážené. Atom je nestabilní (radioaktivní), pokud jsou tyto síly nevyvážené a má přebytek vnitřní energie. Nestabilita atomového jádra může být výsledkem přebytku neutronů nebo protonů. Radioaktivní atom se pokusí dosáhnout stability emitováním částice jádra, nebo jiných částic, a uvolněním energie v jiných formách (Radioactivity).

Jak již bylo uvedeno, stabilita jádra je dána počtem protonů a neutronů v něm obsažených. Stabilní jsou především jádra, jejichž počet protonů a neutronů je dán tzv. magickými čísly. To jsou čísla, podle kterých se zaplňují jednotlivé energetické stavy nuklidu a při nichž jádra vykazují extrémní vlastnosti související právě s jadernou stabilitou. Při malých počtech protonů mají stabilní jádra přibližně stejný počet neutronů. S přibývajícimi protony v jádrech atomů převažují neutrony. To pravděpodobně pomáhá kompenzovat odpudivé síly kladně nabitých protonů. Nejtěžší známý nuklid je Bi^{83} (Reichl).



Obrázek 2 Linie stability jader

Zdroj: (Reichl)

2.2.2. *Poločas rozpadu*

Poločas radioaktivního rozpadu jádra je jedním z jeho hlavních rysů spolu s druhem záření, které emituje. Poločas rozpadu je definován jako doba potřebná k dosažení poloviny počtu jader přítomných ve vzorku v daném čase. Poločasy mohou trvat od zlomků sekund po miliardy let. Tři přirozená jádra mají poločas rozpadu nad jednu miliardu let (draslík ^{40}K , uran ^{238}U a thorium ^{232}Th), zatímco například poločas rozpadu jádra polonia 214 je pouze 0,16 milisekundy (Radioactive Half-life).

Poločas rozpadu je tedy doba, za kterou se rozpadne polovina výchozího množství radioaktivního izotopu. Poločas této přeměny není nijak ovlivněn počtem výchozích jader nebo vlivem vnějších fyzikálních a chemických podmínek, jako je tlak, teplota, skupenství, chemická forma nebo vnější pole a další. Poločas rozpadu také nelze žádným způsobem urychlit ani zpomalit. Obecně platí, že jádra s velkým přebytkem neutronů nebo protonů, a též jádra s extrémně vysokým počtem nukleonů, se rozpadají značně rychle, tedy s krátkým poločasem rozpadu. (Bílík, 2006).

Výpočet poločasu rozpadu lze spočítat následujícím způsobem:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

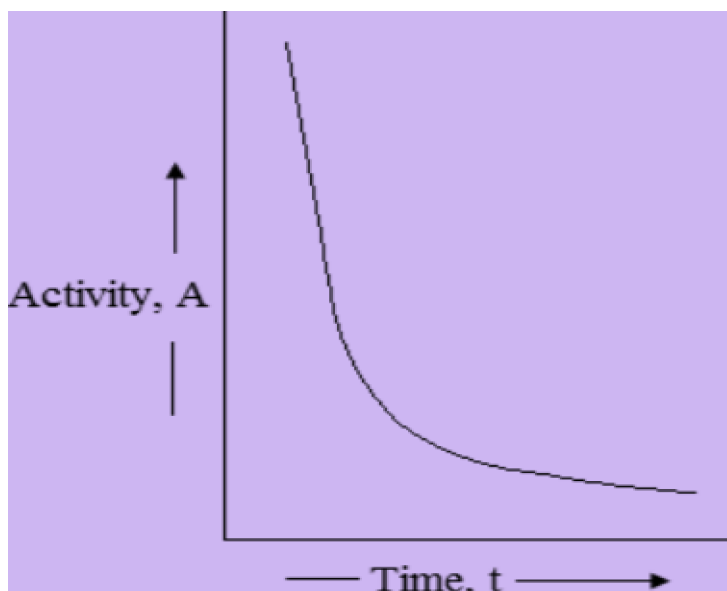
$T_{1/2}$ je poločas rozpadu (roků)

λ je rozpadová konstanta

$\ln 2$ je přirozený logaritmus dvou

Tento zákon lze interpretovat tak, že za určitou dobu se aktivita jádra zmenší vždy na polovinu hodnoty (Bílík, 2006).

Radioaktivita každého prvku se s časem snižuje. Tento proces se obecně označuje jako „vymírání“ radionuklidu. Radionuklid většinou již nebývá nebezpečný po deseti poločasech rozpadu, kdy radioaktivita klesne tisíckrát. Například plynný radioaktivní jod¹³¹, který má poločas rozpadu 8 dní, můžeme po 80 dnech považovat za neškodný (Králová).



Obrázek 3 Poločas rozpadu radionuklidu

Zdroj: (Patil, 2020).

2.2.3. *Rozpadové řady*

Radionuklidy se nemusí nutně rozpadat na stabilní jádra. Většinou se stává, že se daný radionuklid rozpadá na jiná jádra, která stále nejsou stabilní. Tato jádra se tedy opět rozpadají a vzniklá jádra opět mohou být nestabilní, tedy radioaktivní. Jeden radionuklid se může přeměňovat na stabilní nuklid postupně, takzvanou přeměnovou řadou, také označovanou jako rozpadová řada. Na základě přeměnových řad lze určit vlastnosti nuklidů, které se na Zemi dříve vyskytovaly, přestože se do současnosti rozpadly vlivem radioaktivních přeměn. Jsou známy celkem čtyři rozpadové řady, které jsou nazvány podle izotopu s nejdelším poločasem rozpadu (Reichl).

Posunovací zákon pro radioaktivní rozpad látek objevili nezávisle na sobě Kazimierz Fajans a Frederick Soddy. Ti zjistili, že pokud jádro vyloučí částici α , má zbylý atom v jádře o dva protony méně a posunul se tedy o dvě místa zpět v Mendělejevově periodické tabulce. Pokud atom vyzáří částici β , kladný náboj jádra se zvýší o jeden proton a prvek vzniklý při rozpadu β má protonové číslo o 1 větší. Radionuklidy se postupně přeměňují přeměnami α a β . V některých případech se daný radionuklid může přeměňovat více způsoby, dochází ke vzniku „větvi“ řady, které se opět spojují u některého z dalších radionuklidů v řadě s tím, že řada vždy končí u stabilního nuklidu. Jsou známy čtyři rozpadové řady, z nichž tři jsou přirozené a jedna umělá. Umělá rozpadová řada se nazývá neptuniová. Umělá je proto, že neptunium se jako radionuklid v přírodě přirozeně nenachází. Mateřské prvky přirozených rozpadových řad jsou vždy uran. Posledními, neradioaktivními produkty všech tří řad, jsou izotopy olova (Králová).

2.3. Umělá radioaktivita

2.3.1. Objev umělé radioaktivity

V roce 1934 bylo zjištěno, že ostřelováním hliníku částicemi α vznikne nový, v přírodě neexistující nuklid fosforu a neutron. Vzniklý fosfor má poločas rozpadu pouze 130 sekund a přeměnou β přechází na stabilní izotop křemíku (byla objevena umělá radioaktivita). Tento objev učinili manželé Frédéric a Irène Joliot – Curieovi, kteří oba dostali Nobelovu cenu za fyziku v roce 1935 (Reichl).

2.3.2. Umělé radionuklidy

V současné době se umělé radionuklidy připravují průmyslově ostřelováním atomových jader nabitými částicemi z urychlovačů nebo neutrony z jaderných reaktorů. Široké využití radionuklidů v praxi (v řadě oblastí vědy, techniky, medicíny atd.) je dáno tím, že radionuklidů bylo získáno již několik tisíc. Umělé radionuklidy také vznikají jako štěpné produkty v energetických jaderných reaktorech, nebo při pokusných jaderných explozích. Ostřelováním jader neutrony a těžkými ionty byly též získány radionuklidy s protonovým číslem větším než 92, nazývané transurany. Jedním z nejdůležitějších transuranů je silně toxické plutonium s poločasem rozpadu 24 000 let (Reichl).

2.3.3. Jaderné reakce

V aplikované jaderné fyzice jsou zdaleka nejdůležitější reakce zahrnující reakci neutronu s jádrem. Na těchto reakcích je založen provoz jaderných reaktorů. Bombardováním těžkých jader atomů neutrony lze dosáhnout rozdělení těchto těžkých jader na několik fragmentů s lehčími atomy, neutronovou emisí a velkým uvolňováním energie. Tento typ jaderné reakce se nazývá „reakce jaderného štěpení“. Štěpné reakce, probíhající v jaderných reaktorech, se uskutečňují v jádrech těžkých atomů (uran, plutonium, thorium...), (How does a nuclear reaction take place).

Jaderné reakce se rozdělují podle různých kritérií. Nejčastěji se rozdělují podle vztahu mezi původními a vzniklými jádry na transmutace, štěpení jader a jadernou syntézu (Kusala).

Transmutace je děj, při kterém z původního jádra vzniká jádro s málo odlišným protonovým číslem. Transmutace je první umělá přeměna, kterou připravil roku 1919 E. Rutherford. Reakci připravil tím, že jádra dusíku ostřeloval heliony za vzniku jádra kyslíku a protonů (Kusala).

Jaderné štěpení se uskutečňuje řetězovou reakcí, kdy pomalý neutron narazí do jádra uranu 235. Jádro, do kterého tento neutron přibude, se stane velmi nestabilní a rozpadne se na dvě lehčí jádra a uvolní se dva až tři neutrony. Uvolněné neutrony narazí do dalších jader uranu 235 a dojde ke štěpení. K tomu, aby mohla probíhat řetězová reakce, musí mít štěpný materiál určitou hmotnost, aby obsahoval dostatečné množství nukleonů ke štěpení. Tato hmotnost se označuje jako kritická hmotnost (Jaderná reakce).

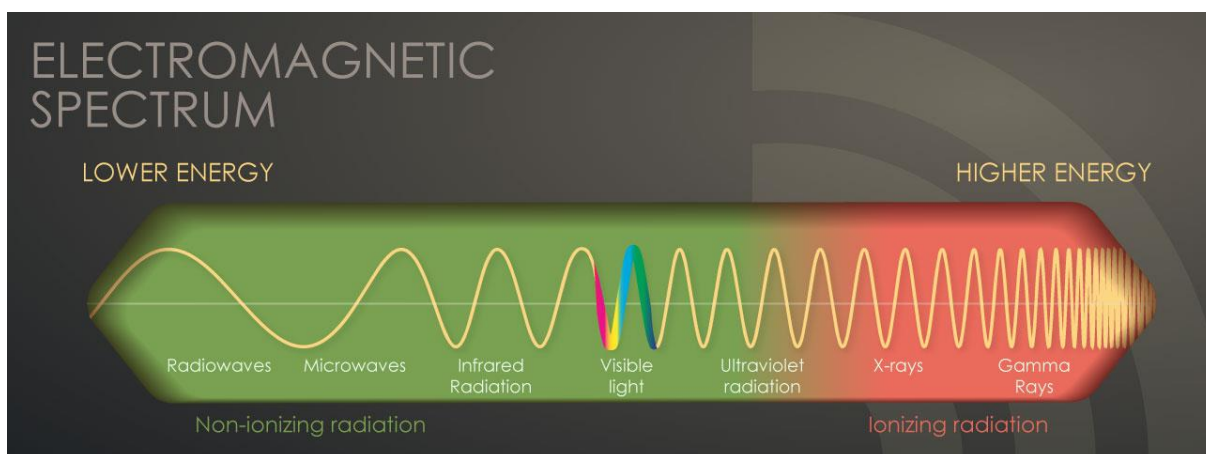
Syntéza jader vzniká sloučením dvou lehčích jader za vzniku těžšího jádra a uvolnění části vazebné energie. Pro uskutečnění této reakce je vhodné „palivo“ například vodík nebo deuterium. Problémem slučování jader jsou velké odpuzivé síly, které brání vzájemnému přiblížení jader. Potřebnou energii mohou jádra získat zahřátím na teploty vyšší než 350 000 000 °C. Za těchto podmínek probíhá slučování při výbuchu vodíkové bomby nebo v nitru hvězd. Řízená termonukleární reakce je zatím ve stadiu výzkumů (Kusala).

2.4. Záření

2.4.1. Co je záření a jeho formy

Záření je emise energie vyzařující z jakéhokoliv zdroje. Může to být běžný vysokofrekvenční rentgen, sluneční světlo nebo teplo vyzařované z našich těl (Gupta).

Nejběžnější formou záření je viditelné světlo. Světlo je energie putující z určitého zdroje a putuje vesmírem obrovskou rychlostí. Má specifickou vlnovou délku a frekvenci, která definuje jeho energii. Toto záření je možné detekovat očima. Jediný rozdíl mezi barvami obsaženými ve světle je v jejich vlnové délce nebo frekvenci. Z fyzikálního hlediska je tedy odlišuje pouze jiná energie. Například červené světlo má méně energie než fialové světlo. V přírodě existuje široká škála elektromagnetického záření. Viditelná část spektra je pouze její malou součástí. Se snižující se frekvencí směrem dolů od červeného světla existují další známé formy elektromagnetického záření, jako je infračervené záření, mikrovlny, signály telefonů, rádiové vlny. Jedná se o formy záření, které jsou pro naše oči neviditelné, a které mají méně energie než viditelné. Se zvyšující frekvencí směrem nahoru od fialového světla se nachází ultrafialové záření, rentgenové záření a gama paprsky. Jedná se o všechny formy záření s energiemi mnohem vyššími než viditelné světlo. Rentgenové paprsky a gama paprsky mají dostatek energie k tomu, že během interakce s atomy z nich mohou odebrat elektrony a způsobit tím ionizaci atomu. Toto záření označujeme jako ionizující (What is Radiation? The Electromagnetic Spectrum, 2015).



Obrázek 4 Elektromagnetické spektrum a vlnová délka

Zdroj: (What is Radiation? The Electromagnetic Spectrum, 2015).

2.4.2. *Elektromagnetické záření*

Elektromagnetické záření je proud fotonů nesoucích energii. Foton má korpuskulárně-částicový charakter. Foton je částice s nulovou klidovou hmotností, jež nese nejmenší nedělitelné kvantum energie. Fotony vznikají nebo zanikají při různých interakcích látek s okolím, proto mohou existovat pouze, pokud se děje určitý pohyb. Částice fotonu má nulovou klidovou hmotnost, ale díky jeho pohybu má určitou energii (Elektromagnetické záření).

Spojením těchto dvou definic je možné získat matematický vztah popisující přímou úměru mezi energií záření a jeho frekvencí a nepřímou úměru mezi energií a jeho vlnovou délkou. Jinými slovy: čím je vlnová délka kratší a frekvence záření vyšší, tím vyšší energii záření nese (Elektromagnetické záření).

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

E-energie záření h-Planckova konstanta ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$) c-rychlost záření λ -vlnová délka ν -frekvence záření (Elektromagnetické záření).

2.4.3. *Excitace*

Nabitá částice při průchodu látkou ztrácí svou kinetickou energii převážně elektrickou Coulombovou interakcí s elektrony obsaženými ve valenční vrstvě atomů prostupované látky. Pokud je energie předaná elektronu v atomovém obalu relativně malá a stačí jen k „přenesení“ elektronu na vyšší energetickou hladinu, jedná se o proces excitace atomů. Excitovaný (vybuzený) stav atomu není stálý. Po vybuzení atomu dochází k deexcitaci, tedy přenesení elektronu na jeho původní energetickou hladinu. Spolu s přenesením elektronu dojde k vyzáření zbytkového množství energie ve formě fotonu elektromagnetického záření. Při excitaci elektronu na vnějších slupkách je emitováno viditelné světlo, na středních slupkách UV záření a při excitaci na vnitřních slupkách pak fotony charakteristického rentgenového záření (Ullmann).

2.4.4. *Ionizace*

Ionizace je proces, při kterém se elektricky neutrální atomy nebo molekuly přeměňují na elektricky nabitě atomy nebo molekuly (ionty). Ionizace je způsob, kterým záření, jako jsou nabitě částice a rentgenové paprsky, přenášejí svou energii na hmotu (Ionization).

Při ionizaci materiálu dochází ke vzniku záporných iontů (aniontů), nebo kladných iontů (kationtů). Ke vzniku aniontů dochází při dodání záporného elektrického náboje (elektronu) do elektronového obalu částice. Vznik kladných iontů je naopak podmíněn odtržením jednoho

nebo více elektronů z elektronového obalu. K tomu je potřeba částici dodat energii, nejčastěji ve formě dopadajícího elektromagnetického záření – fotonů. Minimální energie potřebná k odstranění jednoho elektronu z elektronového obalu se označuje jako ionizační potenciál (ionizační energie). Jedná se o minimální energii, kterou musí obsahovat dopadající částice, aby mohlo dojít k ionizaci a vytvoření kationtu. Ionizační potenciál se udává v elektronvoltech (Ionizace).

Částice alfa, nebo beta, vyzářené z radioaktivních materiálů, způsobují na svých drahách letu materiálem rozsáhlou ionizaci. Jejich délka doletu je však díky tomuto fyzikálnímu jevu velice malá. Částice bez elektrického náboje, jako neutrony a neutrina, jsou výrazně pronikavější, na své dráze letu však nezpůsobují díky absenci elektrického náboje téměř žádnou ionizaci.

Zářivá energie v podobě rentgenového záření a gama záření je velice pronikavá. Oba tyto druhy záření nejsou přímo ionizující. Mají ale schopnost odstranit elektron z atomů fotoelektrickým jevem, což způsobuje takzvanou sekundární ionizaci. Sekundární ionizace je jev, kdy vysoce nabitě elektrony, jež jsou výsledkem fotoelektrického jevu, mohou při uvolnění z atomu způsobit ionizaci okolního materiálu (Ionization).

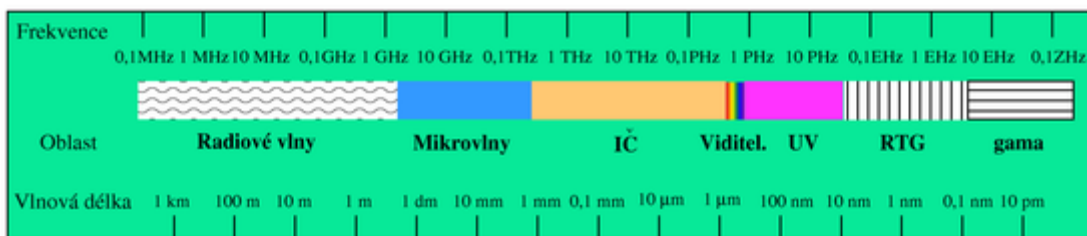
2.4.5. Rozdělení záření podle vlnové délky

Neionizující záření zahrnuje velkou oblast záření a polí elektromagnetického spektra, která obsahuje infračervené záření (IR), viditelné světlo, ultrafialové záření (UV), elektromagnetické pole a lasery. Charakteristickou vlastností záření z této části spektra je neschopnost vyvolat ionizaci materiálu, v němž je absorbováno. Za hraniční vlnovou délku, která odděluje oblast ionizujícího a neionizujícího záření, se zpravidla pokládá 100 nanometrů, dlouhovlnná část dosahuje až desítek kilometrů (Eichler).

Neionizující záření je elektromagnetické záření energií fotonu, nižší než 10 eV, což odpovídá frekvencím nižším než 3 PHz (31 015 Hz) a vlnové délky delší než 100 nm. Neionizující záření je rozděleno do různých frekvenčních nebo vlnových pásem, jmenovitě ultrafialového (UV) záření s vlnovou délkou 100-400 nm, viditelné světlo s vlnovou délkou 400-780 nm, infračervené záření (780 nm až 1 mm), (Principles for Non-Ionizing Radiation Protection, 2020).

Rentgenové záření je ionizující elektromagnetické záření, neboli proud fotonů, o energiích desítek až stovek keV a vlnových délkách v rozmezí 10^{-12} - 10^{-8} m, tedy 1 pm-10 nm. Přírodními zdroji tohoto záření jsou především hvězdy, uměle se získává v betatronu, nebo rentgence (VZNIK RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ).

Gama záření provází jaderné děje spojené se vznikem alfa nebo beta záření, jeho zdrojem je excitované jádro izotopu vzápětí po jeho vzniku z nestabilního radionuklidu. Toto záření je velice pronikavé, vlnová délka gama záření je pod 124 pm. Využití je především v medicíně a výzkumu (Linda, 2006).



Obrázek 5 Spektrum elektromagnetického záření

zdroj: Wikipedia elektromagnetické spektrum

2.5. Ionizující záření

2.5.1. Rozdělení ionizujícího záření

Ionizující záření obecně rozdělujeme na alfa a beta. Alfa a beta je přímo ionizující částicové záření. Za nepřímo ionizující záření, tedy fotonové záření, považujeme gama, rentgenové a ultrafialové záření s vyššími frekvencemi. Všechny tyto typy ionizujícího záření mají potenciál odstranit elektron z atomu (Ionizing and Non-Ionizing).

Ionizující záření je všudypřítomným prvkem kosmu, od exogenních kosmických paprsků po endogenní záření ze země, tedy minerální radioaktivita (Dartnell, 2011).

2.5.2. Záření alfa

Záření alfa, tvořené částicemi alfa, je strukturně ekvivalentní jádru atomu helia. Skládá se ze dvou protonů a dvou neutronů. Během procesu jaderného rozpadu se uvolněná energie (energie rozpadu) rozdělí mezi dceřiné jádro a alfa částici. Dva neutrony částice alfa jí dodávají další hmotu, která dále usnadňuje ionizaci columbickou interakcí nebo přímou kolizí částice alfa s atomovými elektrony. Alfa částice rozptýlí svou energii během těchto srážek hlavně dvěma mechanismy, ionizací a excitací elektronů. Vysoká hmotnost a náboj částice alfa, ve srovnání s jinými formami jaderného záření, jí dává větší ionizační sílu, ale horší schopnost pronikat hmotou. K excitaci elektronů však dochází, když alfa částice nedokáže předat atomovému elektronu dostatečnou energii, aby mohla být z atomu vystřelena. Atomy, nebo molekuly daného materiálu spíše absorbují část energie alfa částic a stávají se povýšeny do stavu vyšší energie. V závislosti na absorpčním materiálu excitované atomy nebo molekuly materiálu okamžitě spadnou zpět do stavu s nižší energií, nebo do základního stavu, tím, že rozptýlí absorbovanou energii jako fotony viditelného světla (L'Annunziata, 2007).

2.5.3. Záření beta

Beta částice jsou vysokoenergetické, vysokorychlostní elektrony nebo pozitrony, které jsou vylučovány z jádra některými radionuklidy během radioaktivního rozpadu, nazvaného beta rozpad. Beta rozpad se normálně vyskytuje v jádrech, která mají příliš mnoho neutronů k dosažení stability. Beta částice mají hmotnost, která dosahuje poloviny jedné tisícině hmotnosti protonu, a nesou jeden záporný (elektronový) nebo kladný (pozitronový) náboj. Jelikož mají malou hmotnost a lze je uvolnit vysokou energií, mohou dosáhnout rychlosti blízké rychlosti světla. Jejich lehká hmotnost znamená, že interakcí s hmotou rychle ztrácejí

energii. Beta částice jsou mnohem méně ionizující než částice alfa a obecně způsobují menší poškození pro materiál nebo živou tkáň. Jejich délka doletu ve vzduchu je několik centimetrů (v závislosti na energii) a několik milimetrů v materiálu. Emise beta minus částic nastává, když je poměr neutronů k protonům v jádře příliš vysoký. Přebytečný neutron se transformuje na proton a elektron. Proton zůstává v jádru a elektron je energeticky vysunut. Beta částice jsou méně ionizující než alfa částice, mohou ale putovat větší vzdálenost vzduchem a pronikají několik milimetrů kůží nebo tkání. Větší intenzita beta záření může způsobovat popáleniny, spíše jako silné spálení sluncem. Pokud jsou radionuklidy emitující beta částic inhalovány nebo požitý, mohou také poškodit vnitřní buňky a orgány (Beta particles).

2.5.4. Záření gama

Záření gama je elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou kratší než světlo a energií fotonu o přibližně 100 keV. Na rozdíl od rentgenového záření vzniká gama záření v jádře atomu. Doprovází záření alfa i beta, vzniká při rozpadech některých částic, při srážkách urychlených částic, při anihilaci částice a antičástice, dále při extrémních teplotách a jako brzdné záření (při zabrzdění nabitě částice s rychlostí blížíící se rychlosti světla v elektrickém a magnetickém poli). Vzniká všude tam, kde se uvolňuje obrovské množství energie (erupce na Slunci, výbuchy supernov, aktivní jádra galaxií, procesy v blízkosti neutronových hvězd). Ve vakuu se šíří stejnou rychlostí jako světlo. Ze všech ostatních záření je gama záření nejpronikavější, je možné jej zastavit pouze hustým materiálem, jako je beton nebo olovo. Při vzniku záření gama musí nejprve dojít k nepružné srážce elektronu s atomem. Kinetická energie elektronu se následně z části přemění na kinetickou energii atomu a na energii potřebnou k excitaci atomového jádra. Při deexcitaci se z jádra atomu uvolní energie ve formě gama záření, přičemž se část kinetické energie elektronu zachová. Záření gama se běžně vyskytuje v přírodě, rentgenu, v kosmickém záření, při onkologické léčbě apod. (Králová).

Rentgenové záření - nadpis

Objev rentgenového záření se řadí mezi nejvýznamnější lidské objevy. To je dáno především širokým polem aplikací, v němž lze toto záření využít. V dnešní době jeho působnost sahá od medicíny, přes defektoskopii a antropologii až po výzkum struktury látek. Objevitelem tohoto záření byl Německý fyzik Wilhelm Conrad Rontgen roku 1895, který při pokusu s katodovými paprsky objevil do té doby neznámé záření, jež bylo schopné

prostupovat i neprůhlednými látkami. Nejběžnějším zdrojem umělého rentgenového záření jsou rentgenové lampy. Jako katoda slouží wolframové vlákno rozžhavené na velmi vysokou teplotu, pracující ve vakuu. Z vlákna jsou následně uvolňovány elektrony urychlované v elektrickém poli, kde s velkou energií dopadají na povrch anody, což generuje RTG záření. V medicíně se používají rentgeny s rotační anodou mající vyšší intenzitu rentgenového záření. Vliv na zdraví člověka při použití rentgenového záření z důvodu diagnostického vyšetření je zanedbatelný. Pro analytické metody se nejčastěji používá tzv. charakteristické záření (Říha).

2.6. Účinky ionizujícího záření

2.6.1. Zdravotní účinky

Vystavení účinkům ionizujícímu záření lze rozdělit do tří expozičních situací. První je plánovaná expoziční situace, která vyplývá ze záměrného zavedení zdroje ionizujícího záření se zvláštními účely, jako je tomu v případě lékařského využití záření pro diagnostiku nebo léčbu pacientů či použití zdrojů záření v průmyslu nebo výzkumu. Druhým typem expoziční situace je situace, kdy je zdroj záření znám, ale není možné se mu zcela vyhnout, lze pouze kontrolovat míru záření. Jedná se o záření z přírodních zdrojů, jako je expozice radonu v domácnostech a na pracovištích. Poslední typ situace je nouzové ozáření z neočekávaných událostí vyžadujících rychlou reakci, jako jsou nehody u jaderné elektrárny nebo nukleární útoky. Lékařské využití ionizujícího záření představuje 98 % populační dávky ze všech umělých zdrojů a představuje 20 % z celkové expozice pro populaci (Ionizing radiation, health effects and protective measures).

2.6.2. Stochastické účinky

Stochastické účinky vznikají při nižších dávkách záření a způsobují mutaci genomu. Prahová dávka u stochastického záření není známa. Bylo vědecky potvrzeno, že různé typy rakoviny se objeví při různém rozsahu dávek, závažnost účinku není závislá na dávce, ale četnost výskytu v exponované skupině obyvatelstva je závislá na dávce a ve většině případů se s dávkou lineárně zvyšuje. Jedná se především o rakovinná onemocnění, mrtvice, onemocnění srdce, gastrointestinální a respirační onemocnění. Stochastické účinky, tedy zhoubné nádory a dědičné změny, se klinickým obrazem neliší od obdobných spontánně se vyskytujících projevů. Klinicky ani biochemickými markery nelze rozlišit případ radiačně indukovaného nádoru od nádoru spontánně vzniklého. Ionizující záření zvyšuje pravděpodobnost jejich vzniku (Dávková). Genetické změny vznikají v důsledku poškození genetického materiálu v reprodukčních buňkách a vedou k mutacím, které se přenáší z generace na generaci. Toto bylo prokázáno laboratorním šetřením. Výskyt rakoviny v důsledku narušení DNA šroubovice je jedním z nejobávanějších následků ozáření ionizujícím zářením. Indukce rakoviny byla potvrzena studiemi, které zkoumaly pracovníky ozářené velkými dávkami, nebo obyvatele měst postižených jaderným útokem. Všechna radiačně indukovaná poškození mají určitou dobu latence. Pro indukci rakoviny je obecně doba latence v řádu let až desítek let, přičemž nejmenší doba latence je u leukémie, 5-15 let. Pro solidní tumory je doba latence mezi 10-60 lety. Kvůli dlouhé době latence je tedy velmi

obtížné prokázat, zda rakovina vznikla v důsledku ozáření ionizujícím zářením, protože v období latence může zapůsobit podstatně více jiných faktorů, jež mohou vyústit ve vznik rakoviny (Súkupová, 2014).

2.6.3. Nestochastické účinky ionizujícího záření

Jako pozdní účinky jsou označovány patologické změny tkání, které se objevují několik měsíců až let po ozáření. Pro pozdní nestochastické účinky ionizujícího záření existuje prahová dávka a velikost účinku záření závisí na dávce. Typicky je možné se s těmito účinky setkat jako s důsledkem frakcionované terapie, jelikož frakcionace chrání spíše před účinky akutními než pozdními.

Existují dvě teorie vysvětlující pozdní nestochastické účinky:

- a) Deplece, neboli vyčerpání klonogenních buněk ve tkáni, které byly ozářeny před delší dobou.
- b) Porucha vaskularizace tkáně, která se projevuje nedostatečným cévním zásobením a fibrotizací.

Výsledkem nestochastických pozdních účinků ionizujícího záření je porucha funkčnosti hladkého svalstva v orgánech, což způsobuje snížení, popřípadě znemožnění jejich funkce (Mornstein).

2.6.4. Deterministické účinky

Deterministické účinky ionizujícího záření není lehké definovat. V praxi se deterministické účinky projevují do několika týdnů po expozici. Řadíme zde popáleniny kůže, rozpad střevní výstelky a snížení hladiny krevních buněk. To vše může být fatální během několika týdnů nebo do měsíce od expozice. Mezi později vyskytující se deterministické účinky ionizujícího záření patří například snížení funkce plic. Hlavní rozdíl mezi stochastickými a deterministickými účinky záření je v jiném způsobu chování buněk po expozici. Obecně řečeno jsou stochastické účinky, tj. rakovina, a dědičné účinky způsobeny nesmrtícími mutačními událostmi v buňkách, zatímco deterministické účinky jsou způsobeny samozničujícími programy v buňce. Je přirozené, že buňky po čase odumrou, jejich funkce je zastoupena ostatními buňkami v příslušném orgánu. Problém nastává, pokud odumře tolik buněk, že tělo nemůže nahradit jejich funkci v přiměřené době, důležité tkáně a orgány nefungují správně a nastávají zdravotní následky (Edwards, 1998).

Na rozdíl od stochastických účinků závisí deterministické účinky ionizujícího záření na dávce, dávkovém příkonu, frakcionaci dávky, ozáření objemu těla a typu záření. Deterministické účinky mají prahovou hodnotu, pod kterou se účinek neobjeví. Prahová hodnota může být velmi nízká a může se u jednotlivých osob lišit. Jakmile je však prahová dávka překročena, závažnost účinku se zvyšuje s dávkou.

Příklady deterministických účinků, vyjádřených v jednotkách Gy (grey):

- Postižení plodu (0,1-0,5 Gy);
- Katarakta (0,5 Gy);
- Sterilita (2-3 Gy) – u mužů dočasná;
- Vypadávání vlasů (2-5 Gy);
- Kožní erytém (2-5 Gy);
- Letalita (3-5 Gy) – při celotělovém ozáření;
- Nevratné poškození kůže (20-40 Gy), (Murphy).

2.6.5. Akutní nemoc z ozáření

Akutní nemoc z ozáření se rozvíjí po jednorázovém ozáření celého těla, nebo jeho větší části, dávkou asi od 1 Gy výše. Podle stupně ozáření v klinickém obraze převládají příznaky od poškození krvetvorných orgánů a trávicího ústrojí, až k poškození centrálního nervového systému.

Krevní (hematologický) typ akutní nemoci z ozáření vzniká po celotělovém ozáření dávkou od 1 Gy do 6 Gy. Jeho průběh se rozděluje do několika období. V prvním dni po expozici dochází k projevům neurčitých příznaků, jako je nevolnost, doprovázená zvracením. Tyto projevy jsou důsledkem poruch nervových a humorálních systémů, které řídí sekreci hormonů. Následuje období latence (1-2 týdny), probíhající bez příznaků. Vlastní onemocnění je charakterizováno zejména projevy imunitního selhávání a krvácením. Postižený má teploty, trpí krvácením z dásní a kůže, ubývá na váze z důvodu nechutenství a průjmů, může mít zvředovatělá ložiska na sliznicích. V krevním obraze klesá počet krevních destiček a červených krvinek. V závislosti na dávce nastupují po šesti až osmi týdnech známky zlepšování zdravotní kondice. Je-li dávka záření vyšší, mezi 6 Gy až 10 Gy, je celý průběh bouřlivější, nevolnost a zvracení se objevují za několik málo hodin a u pacienta ozáření vede ke smrti kolem 20.-30. dne, pokud nebyla včas zajištěna intenzivní léčba (Stručný přehled biologických účinků záření).

2.6.6. Akutní lokální změny

Z lokálních účinků ionizujícího záření je třeba věnovat největší pozornost kůži, která je při každém zevním ozáření vstupním polem svazku záření a je tedy nejvíce zatíženým orgánem. Stupeň poškození kůže je závislý na druhu záření, dávce, lokalizaci ozáření a velikosti ozářeného pole. Práh poškození nastává od cca 3 Gy výše. Několik hodin (max. 3 dny) po ozáření nastupuje tzv. časný erytém, který do 24 hodin vymizí. Následuje období klidu trávající 10-15 dnů. Po této době nastává vlastní odezva na ozáření, tzv. pozdní erytém (pozdní zarudnutí), při kterém dochází ke zduření kůže a bolestivosti. Dále dochází ke ztrátě ochlupení, která po dávce nad 6 Gy může být trvalá. Při ozáření vyššími dávkami, především nad 10 Gy, vzniká radiační dermatitida druhého stupně, kdy se pokožka odděluje od pojivového podkladu tekutinou vystupující z cév a vznikají puchýře. Odlučováním puchýřů spojeným s infekcemi se stav dále komplikuje. Stav se v příznivějším případě zlepšuje po 2-4 týdnech. Pokud dojde k těžšímu poškození cév, dochází k odumření kůže a vzniku vředu. Vřed se velmi špatně hojí, a i po zhojení je pokožka tenká a špatně odolává zátěži i infekci (Stručný přehled biologických účinků záření).

2.6.7. Vliv ionizujícího záření na plod

Ionizující záření je prokázaný teratogen, popřípadě mutagen, způsobující chromozomální změny, aberace. Tyto mutace způsobují vrozené vývojové vady a zakládají vznik malignit (Hájek, 2000).

2.7. Radiační zátěž u obyvatel České republiky

2.7.1. Roční ozáření obyvatel ČR

Pro každého člověka představuje ionizující záření určitou radiační zátěž. Podle United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) celkový odhad radiační zátěže ze zdrojů činí 5,0 mSv/rok na obyvatele. Průměrná celosvětová účinná dávka z lékařského ozáření se odhaduje na 0,4 mSv/rok na obyvatele, u jednoho obyvatele České republiky se odhaduje 1,3 mSv/rok, přičemž největší dávku ozáření představují radiodiagnostická vyšetření (0,92 mSv/rok). Pro srovnání, průměrné celosvětové roční ozáření jednotlivce z obyvatelstva z přírodního pozadí činí zhruba 2,4 mSv (pro značnou část populace ve světě i 10-20 mSv ročně). V České republice díky radiačnímu pozadí činí roční dávka ozáření pro obyvatele 3,5 mSv/rok. Radiační zátěž z lékařského ozáření závisí na frekvenci vyšetření ionizujícím záření a na efektivních dávkách záření při jednotlivých vyšetřeních (Golisová, 2010).

2.8. Největší zdroje ionizujícího záření

2.8.1. Gama záření z přírodních zdrojů

Gama záření vyzařované z radionuklidů, které mají poločas rozpadu srovnatelný s věkem Země, jako je uran 238 a thorium 232 a jejich produkty rozpadu, představují vnější zdroj ozáření pro lidské tělo. Půdní zdroj gama záření se přirozeně vyskytuje ve stopových prvcích zemské kůry. Přirozené zemské záření závisí hlavně na geologických a geografických podmínkách. Vyšší úrovně radiace jsou spojeny s magmatickými horninami, jako je granit, jenž vykazuje zvýšenou elementární koncentraci uranu a thoria. Nižší úrovně ionizujícího záření jsou spojovány se sedimentárními horninami (Tzortzis, 2003).

Zdrojem radioaktivního gama záření v budovách jsou především stavební materiály, vyrobené s příměsí magmatických hornin, nebo do kterých byl přimícháván elektrárenský popílek s obsahem radioaktivních prvků díky jejich obsahu v uhlí (především uran). Gama záření tedy vychází ze stavebních materiálů a přímo ozařuje obyvatele domu (Pojar).

2.8.2. Zátěž ze stavebních materiálů

V šedesátých a sedmdesátých letech byly pro výrobu stavebních materiálů používány i některé suroviny s vysokým obsahem radionuklidů. Jednalo se o škváru a popílek vzniklé při spalování černého uhlí dobývaného z míst, kde bylo uhlí doprovázeno horninami s vysokým obsahem uranu. Konkrétně byl tento problém zaznamenán u materiálů poříčský pórobeton a rynholecký škvárobeton, které byly v daném období používány pro stavby panelových i rodinných domů. V uvedených materiálech byla různá koncentrace přírodních radionuklidů, proto také úroveň ozáření obyvatel těchto domů kolísá. Někde odpovídá běžnému standardu, jinde může být i nepříjemně vysoká a může zvyšovat pravděpodobnost ohrožení zdraví (Domy postavené ze stavebního materiálu se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů).

2.8.3. Přírodní radionuklidy

Primárním zdrojem radionuklidů jsou horniny. Typické hmotnostní aktivity významných radionuklidů, jako je radium ^{226}Ra a uran ^{226}U , a jejich rozpadových produktů, jsou v rozmezí 1-1000 Bq/kg, v uranových ložiscích jsou to více než desítky tisíc Bq/kg. Thorium 232 se v horninách vyskytuje v množství přibližně 1-100 Bq/kg, draslík ^{40}K 70-1800 Bq/kg. Podobné hodnoty se dají nalézt i v půdách. Běžné hodnoty objemových aktivit radonu v půdním vzduchu jeden metr pod povrchem země v České republice jsou

v typickém rozmezí 1-100 kBq/m³, v některých případech více než 1000kBq/ m³ (Základy radiační ochrany, 2007).

Přírodní radionuklidy obsažené v horninách se uvolňují do vod poměrně složitými procesy, které závisí na fyzikálních, geochemických a hydrologických poměrech. Objemové aktivity jednotlivých radionuklidů ve vodě se pohybují v rozmezí 1-100 mBq/l. V případě radonu je situace jiná. V podzemní vodě jsou objemové aktivity ²²²Rn na úrovni objemových aktivit radonu v pórech hornin a půd 10-1000 Bq/l. Extrémní hodnoty dosahují vody v místech uranových ložisek, kde pro ²²²Rn dosahují aktivity hodnoty 10-1000 kBq/l (Jáchymov), a tyto vody jsou využívány lázeňsky (Základy radiační ochrany, 2007).

Z hlediska úpravy vody obsahující radionuklidy se lze setkat se zdroji podzemní vody, které jsou kontaminované nejčastěji radonem, dále uranem a dalšími přirozenými radionuklidy. Radon se odstraňuje odvětráváním do atmosféry, uran lze z vody zachytit pomocí silně bazického anexu. Úpravu a hygienické limity pro radionuklidy stanovuje vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně. Ta určuje, že hranice aktivity radonu, do které není třeba provádět žádné zásahy, je u distribuované vody 100 Bq/l (Kotas, 2017).

2.8.4. Kosmické záření

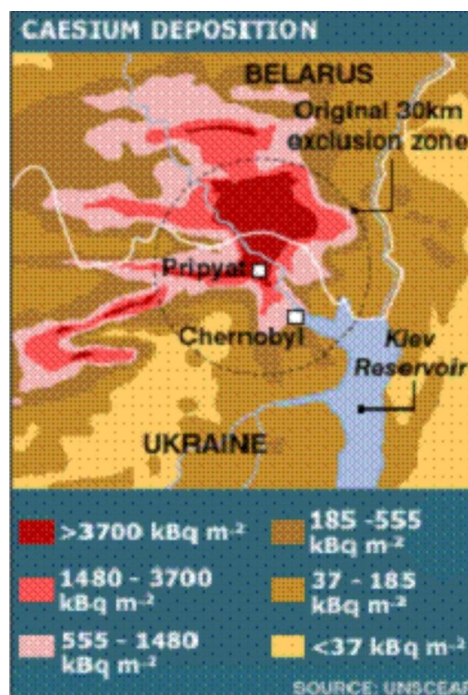
Kosmické záření jsou částice atomů, jako protony a elektrony, které se na zemi dostávají ze sluneční soustavy. Vznikají především v supernovách, pohybují se rychlostí světla a způsobují problémy s elektronikou na satelitech. Na zemi se vlivem magnetosféry dostávají velice zřídka, ale sekundární atomy se mohou dostat až k zemskému povrchu. Zemské magnetické pole a atmosféra chrání naši planetu před 99,9% záření z vesmíru. Pro kosmonauty, kteří jsou mimo ochranu magnetického pole Země, je však kosmické záření vážnou hrozbou. Vědci spočítali, že při nejkratší cestě z Marsu na Zemi, která trvá přibližně 253 dní, dostane astronaut dávku 0,66 sievert, přičemž dávka 1 Sv je spojena s 5,5% zvýšení rizika vzniku smrtelné rakoviny. Normální denní dávka, kterou obdrží průměrný člověk na zemi, je 10 mikrosievertů (Howell).

Kosmické záření je částečně odstíněno magnetickým polem a atmosférou, a proto jeho intenzita roste s nadmořskou výškou tak, že ve výšce 3 000 metrů nad mořem dosahuje přirozené pozadí na daném místě téměř dvojnásobek přímořské úrovně. Některé národy, nebo skupiny obyvatel, žijící ve vyšších nadmořských výškách čelí podstatně vyšší radiační zátěži, kterou není možné nijak potlačit. Největším zdrojem radioaktivních částic kosmického záření je Slunce (Králová).

2.8.5. Záření z jaderných havárií

Při jaderné havárii v Černobyli uniklo mnoho nebezpečných látek ohrožujících člověka a životní prostředí. K této jaderné havárii došlo dne 26. dubna 1986. Při výbuchu reaktoru došlo k uvolnění štěpných produktů (^{133}I , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs a ^{90}Sr), aktivačních korozních produktů (^{54}Mn , ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Fe), aktivačních produktů (^3H , ^{14}C) a transuranů (^{239}Pu). Radionuklidy můžeme rozdělit podle jejich poločasu rozpadu na radionuklidy s krátkým poločasem, jako je jod ^{131}I , a na radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu (^{134}Cs a ^{90}Sr).

Radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu se rozpadají v řádu sekund, maximálně měsíců. Představují tedy ohrožení maximálně několik měsíců po úniku, zatímco radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu způsobují dlouhodobé kontaminace. ^{137}Cs je jedním z nejvýznamnějších radionuklidů s dlouhodobým poločasem rozpadu, zároveň je jako jeden z mála radionuklidů s dlouhým poločasem rozpadu tělem velmi dobře zpracovatelný. Jeho poločas rozpadu činí 30 let (Horáková, 2007).

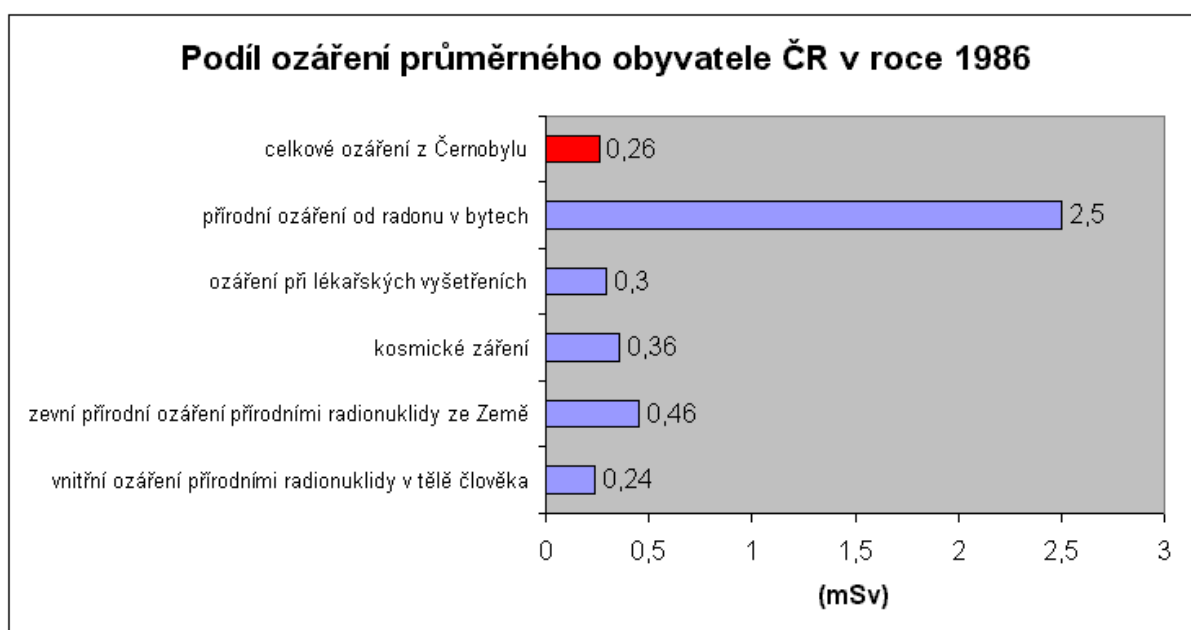


Obrázek 6 Radioaktivní spad cesia po výbuchu jaderné elektrárny Černobyl

Zdroj: (Sytarová, 2006)

Do České republiky se také dostal radioaktivní spad nesoucí cesium 137. V malém množství se stále objevují jeho stopy v rostlinách, půdě, houbách, lesních plodech a ve zvěřině. Nejvíce zasažené části České republiky jsou Novohradské hory, Králický sněžník, Orlické hory a Jeseníky (Břešťan).

V roce 1986 byla podrobně měřena průměrná efektivní dávka obyvatelstva České republiky. Bylo naměřeno, že průměrný občan České republiky v tomto roce obdržel 0,26 mSv z havárie jaderné elektrárny Černobyl. Podíl ozáření v mSv průměrného obyvatele České republiky v roce 1986 lze vidět na obrázku 7. (Radiální dávky, 2012).



Obrázek 7 Podíl ozáření (v mSv) průměrného obyvatele ČR v roce 1986

Zdroj: (Radiální dávky, 2012)

2.8.6. Ozáření z lékařských zdrojů

Při využití lékařského ozáření mluvíme o ionizujícím záření používaném pro diagnostiku nebo terapii. Na lékařské ozáření neplatí limity, uplatňují se při něm však principy radiační ochrany – zdůvodnění a optimalizace. Před samotným provedením lékařského ozáření je potřeba zvážit všechny přínosy a rizika spojené s použitím ionizujícího záření (Obecné informace o radioaktivitě a radiační ochraně).

Samotná lékařská vyšetření nevydávají lidskému tělu velké dávky záření s výjimkou případů opakovaných vyšetření vysokých dávek (CT, nukleární kardiologie). Radiačně indukované riziko se zvyšuje při dávkách mezi 10 a 100 mSv. Jediné CT břicha může tělu dodat dávku kolem 10 mSv. Nebezpečná jsou tělu především opakovaná vyšetření tohoto typu. Pod 10 mSv, což je rozmezí dávek relativní pro radiografii a některé druhy nukleární medicíny a CT, žádné přímé epidemiologické studie neprokazují zvýšený vznik rakoviny. Široce používaným údajem je 5% nadměrné riziko úmrtí na rakovinu s dávkou 1 Sv (1000mSv), (Lin, 2010).

Diagnostické nebo terapeutické aplikace zdrojů ionizujícího záření jsou odpovědností indikujícího lékaře. Indikující lékař musí být kvalifikován k odbornému posouzení očekávaného přínosu, ale i k újmě z ozáření spojené s úkonem, s uvážením alternativních technik a postupů. Lékařská ošetření nepodléhají limitům, ale u vyšetření je cílem dosažení nejnižší expozice nezbytné k diagnostickému záměru, s uvážením přijatelného standardu kvality zobrazení, stanoveného pro spolehlivou kvalitu příslušných vodiček lékařské expozice. Pro průkaz dlouhodobé stability zařízení a standardní výkonnosti zařízení a funkčnosti se provádí zkouška dlouhodobé stability. Při této zkoušce se taktéž měří radiační zatížení pacientů i odborného personálu. Zkoušky dlouhodobé stability se provádějí v pravidelných intervalech, maximálně po dvanácti měsících, a provádět ji může pouze odborně vyškolený personál (Usměrňování lékařského ozáření).

V České republice se v současnosti používá okolo 4 500 zdrojů ionizujícího záření (polovinu z nich tvoří zubní rentgeny). Lékařské ozáření představuje nejvýznamnější podíl ozáření člověka mimo přírodní pozadí – představuje okolo 1 mSv efektivní dávky pro osobu na rok. Největší podíl na tomto ozáření má radiodiagnostika. V současné době zejména počítačové tomografie a intervenční vyšetření poskytují tělu desítky mSv ekvivalentní dávky za každé vyšetření. (Lékařské ozáření).

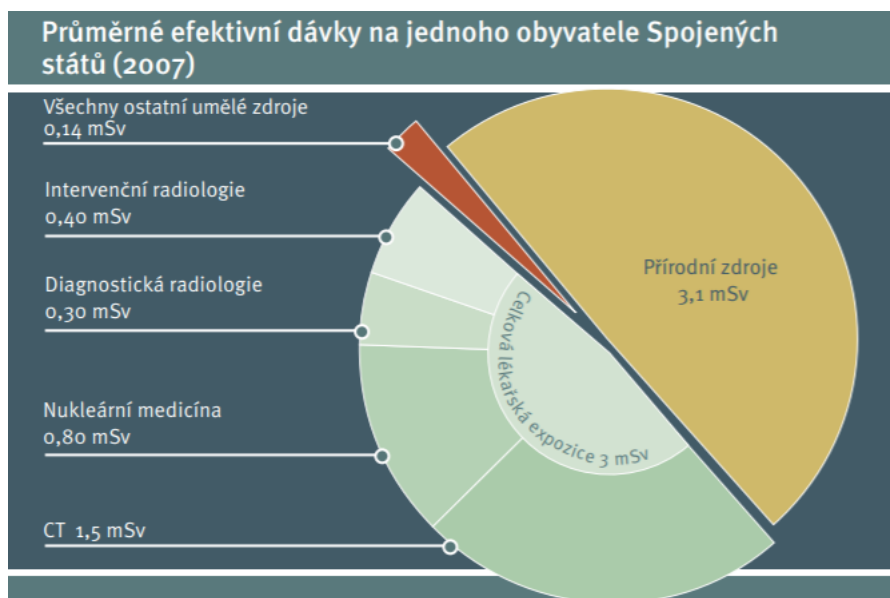
Osoba stojící 1 hodinu v 1 m od pacienta těsně po aplikaci 800 MBq ^{99m} Tc	0,01 mSv
Rentgenový snímek plic	0,02 mSv
Let do USA (7 hod)	0,05 mSv
Kouření 20 cigaret denně za 1 rok (²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb)	0,36 mSv
CT hlavy	6,9 mSv
Scintigrafie skeletu	5 mSv
CT břicha	10 mSv
PET/CT celého těla	15 mSv

Obrázek 8 *Radiační dávky při lékařských výkonech a porovnání s několika rizikovými faktory*

Zdroj: (Obecné informace o radioaktivitě a radiační ochraně)

2.8.7. *Narůstající dávky ozáření z lékařských zdrojů*

Využívání ionizujícího záření v lékařství k diagnóze a léčbě určitých nemocí zaujímá v průměru 98 % ozáření ze všech umělých zdrojů. Po přírodních zdrojích je druhým největším přispívatelem k celosvětové expozici populace, z níž představuje přibližně 20 %. Většina lékařských expozic se uskutečňuje ve vyspělých zemích, kde se radiologická zařízení využívají ve větším rozsahu. V některých zemích je dokonce ozáření z lékařských zdrojů srovnatelné, nebo větší, než ozáření ze zdrojů přírodních, viz obrázek 9, níže. (IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ ÚČINKY a ZDROJE, 2016).



Obrázek 9 Průměrná efektivní dávka obyvatel USA z roku 2007

Zdroj: (IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ ÚČINKY a ZDROJE, 2016)

Největší dávky ozáření pochází z radiodiagnostiky, kde je hojně užíváno CT. Právě CT vyšetření má za následek téměř dvojnásobné zvětšení dávky ozáření spojené s diagnostickými radiologickými výkony (v roce 1988 činila dávka z radiodiagnostiky 0,35 mSv na osobu, v roce 2007 již byla dávka na hodnotě 0,62 mSv). Tyto hodnoty však kulminují s místem života, kdy se asi dvě třetiny ze všech radiologických výkonů realizuje u 25% světové populace žijící v rozvinutých zemích. U zbylých 75 % světové populace se roční počet radiologických výkonů v podstatě nemění (IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ ÚČINKY a ZDROJE, 2016).

2.8.8. *Radon*

Radon se do staveb dostává vztlínáním ze země. Ve stavbě se hromadí, váže se na malé částice prachu a následně se dostává do plic, které ozařuje, a tím zvyšuje riziko rakoviny plic. Riziko hromadění radonu v domech je vyšší s klesající stabilitou podloží. V České republice je riziko hromadění radonu značné, jelikož se naše země rozprostírá na starých horských masivech (Pojar).

Radon je přirozeně se vyskytující plyn, bezbarvý, bez zápachu, téměř chemicky inertní a radioaktivní. Ve srovnání s jinými vzácnými plyny je radon těžší, má vysokou teplotu varu a je dobře rozpustný ve studené vodě (Cothorn, 1987).

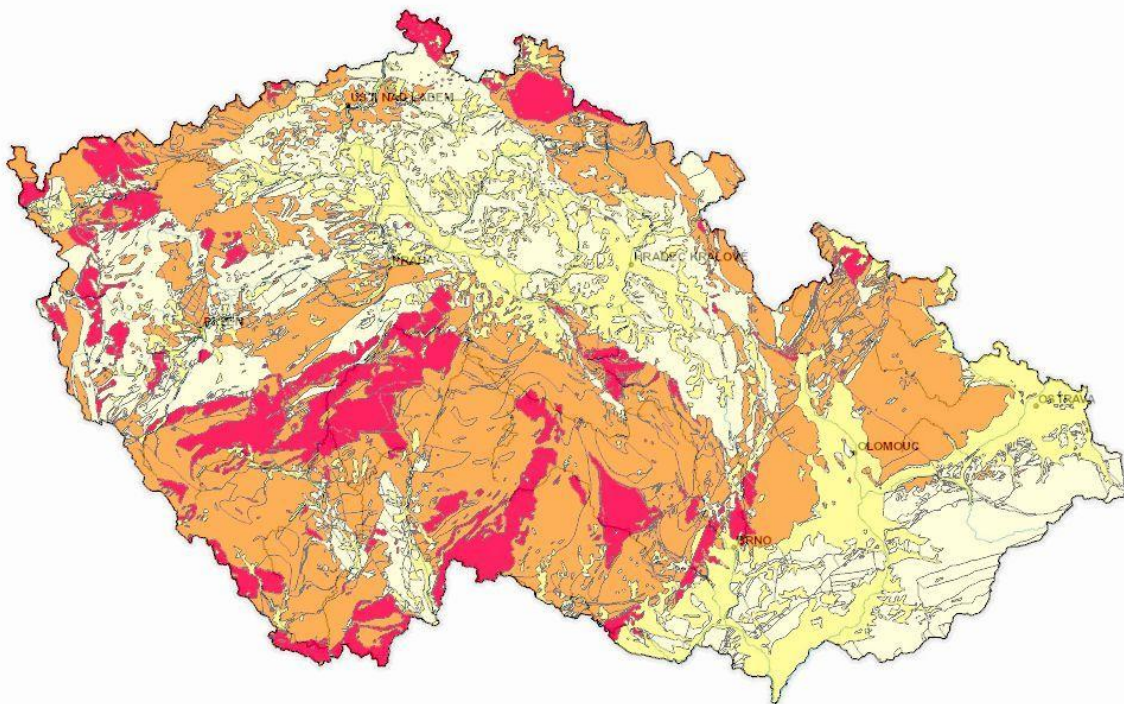
Tento plyn je uvolňován během rozpadu uranu 238, je všudypřítomný ve vnitřním i venkovním vzduchu a kontaminuje mnoho podzemních dolů. Rozsáhlá epidemiologická studie prokázala souvislost mezi expozicí vyšší dávkou radonu u těžařů a rakovinou plic. Radon je také považován za důležitý faktor při vzniku rakoviny plic pro běžnou populaci, která je vystavena kontaminaci vnitřního vzduchu radonem z půdy, vody a stavebních materiálů. Radon Ra-222 je přirozeně se vyskytující produkt rozpadu radia 226, rozpadového produktu uranu 238. Uran 238 a radium 226 jsou přítomny ve většině půd a hornin, i když se jejich koncentrace značně liší. Jak z radia 226 stává radon 222, některé jeho atomy opouštějí půdu a vstupují do okolního vzduchu nebo vody. Výsledkem tohoto procesu je radon všudypřítomný ve vnitřním i venkovním vzduchu. Radon se rozpadá s poločasem 3,82 dne na pevné, krátkodobé radioizotopy, tedy produkty rozpadu radonu. Dva z těchto produktů rozpadu, polonium-218 a polonium-214 emitují alfa částice, což jsou vysokoenergetické částice velké hmotnosti, složené ze dvou protonů a dvou neutronů. Alfa částice mají destruktivní účinek na tkáň. Pokud se emise alfa částic dostanou do plic ve formě dceřiných rozpadů radonu, může dojít k poškození genetického materiálu buněk vyskytujících se v dýchacím traktu a nakonec způsobují rakovinu plic (Samet, 1989).

Množství radonu unikajícího ze země se na pozemku určeném pro stavbu musí měřit odbornou firmou. Důležitá jsou též data z radonové mapy, která jsou schopné sdělit, jak velká je šance, že bude v místě plánované stavby vztlínat nebezpečné množství radonu. Do domu se radon nemusí dostávat vůbec, byť by stál v lokalitě s nejvyšším rizikem. Zásadní jsou zlomy v horninách, a také hydroizolace domu, případně podsklepení. Do budov se radon dostává nejčastěji díky mírnému podtlaku, který vzniká ve vytápěných domech u podlah sklepa a přízemí. Do domů je nasáván z podloží různými prasklinami a netěsnostmi. Koncentrace radonu se měří v Becquerelech na metr krychlový – Bq/m³. V rodinných domech by neměly být překročeny tyto limitní hodnoty koncentrace radonu: 200 Bq/m³ pro novostavby, 400 Bq/m³

pro stávající stavby. V žádném případě nesmí být překročeny hodnoty 1000 Bq/ m³. Pokud je tato koncentrace překročena ve stávajícím domě, je nezbytné provést protiradonová opatření (Pojar).

V České republice je průměrná hodnota ekvivalentní objemové aktivity radonu v budovách přibližně 120 Bq/m³, čímž se řadí k zemím s nejvyšší koncentrací radonu v budovách na světě. Přitom v České republice mají 2 až 3 % budov koncentraci radonu vyšší, než 400 Bq/m³. Ve venkovní atmosféře je koncentrace radonu přibližně 10 Bq/ m³. Koncentrace radonu v půdním vzduchu v hloubce 1 m pod zemí je 20 000 až 2 000 000 Bq/ m³. Koncentrace radonu v budovách se může významně měnit. Tato koncentrace je značně ovlivňována větráním i změnami v množství radonu pronikajícího z podloží. Podtlak u přízemních podlah budov je silně ovlivněn rozdílem venkovní a vnitřní teploty. Koncentrace radonu jsou nejvyšší v noci, kdy se nevětrá, a za chladných dní, tedy v topném období (Pojar).

Radon je mapován Radonovým programem ČR, v jehož rámci Česká geologická služba zpracovává tzv. mapy radonového rizika na základě vlastních data a dat poskytnutých sduženými v Asociaci radonové riziko. Mapy jsou vyjádřeny podle tří kategorií (nízká, střední, vysoká), (Mazancová, 2019).



Obrázek 10 Mapa radonového indexu podloží

Zdroj: (Mazancová, 2019)

Pozn.: Koncentrace radonu stoupá s intenzitou červené barvy.

2.9. Radiační pracovníci a ochrana před ionizujícím zářením

2.9.1. Expoziční situace

Expoziční situace jsou všechny v úvahu připadající okolnosti vedoucí k vystavení osoby nebo životního prostředí ionizujícímu záření. Rozlišuje se plánovaná expoziční situace, spojená se záměrným využíváním zdroje ionizujícího záření, dále nehodová expoziční situace, která může nastat při plánované expoziční situaci nebo může být vyvolána svévolným činem a vyžaduje přijetí okamžitých opatření k omezení nebo odvrácení důsledků expoziční situace (Malátová, 2017).

2.9.2. Radiační pracovník

Radiačním pracovníkem je každá fyzická osoba vystavená profesnímu ionizujícímu záření. Pro účely lékařského dohledu a monitorování se radiační pracovníci podle ohrožení zdraví ionizujícím zářením zařazují do kategorie A nebo B na základě očekávaného ozáření za běžného provozu a při předvídatelných poruchách a odchylkách od běžného provozu. Pracovníky kategorie A jsou radiační pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně, nebo ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv na oční čočku nebo ekvivalentní dávku vyšší než 3/10 limitu ozáření pro kůži a končetiny stanoveného ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. Ostatní radiační pracovníci se řadí do kategorie B (Malátová, 2017).

2.9.3. Ochrana před ionizujícím zářením

Existují čtyři základní způsoby ochrany před zářením:

1. Čas – obdržená dávka záření je přímo úměrná době expozice.
2. Vzdálenost – intenzita záření, a tím i dávkový příkon, jsou nepřímo úměrné druhé mocnině vzdálenosti od zdroje záření.
3. Stínění – efektivní ochranou je odstínění záření vhodným absorbujícím materiálem. Pro gama záření jsou to materiály s velkou měrnou hmotností, především olovo a beton, případně s příměsí barytu. Pro přepravu zářičů se používají olověné kontejnery, zástěny z olověného plechu, tvarované olověné cihly apod.
4. Zabránění kontaminace – stanovení bezpečnostních opatření vedoucích k ochraně pracovníků nebo obyvatel před vnitřní nebo vnější kontaminací (Rizikové faktory).

2.9.4. Kontaminace radioaktivní látkou

Radioaktivní materiál je jakákoliv látka produkující ionizující záření. Kontaminace znamená, že se radioaktivní látka dostala mimo požadované pásmo. Kontaminace se dělí na povrchovou, sekundární a vnitřní. V případě povrchové kontaminace se hovoří o kontaminaci zařízení, podlahy, oděvů atd. K tomu může dojít například tak, že v technologiích primárního okruhu, tedy v oblasti jaderného reaktoru vznikne netěsnost a médium může unikat. Případně si radioaktivní pracovník potřísní ochranný oděv radioaktivní látkou. Povrchová kontaminace je vyjadřována v plošné aktivitě (v Bq/cm²).

Sekundární kontaminace nastává v případě, že si pracovníci při nesprávném svlékání ochranných pomůcek přenesou povrchovou kontaminaci z ochranných pomůcek na tělo. K přenesení povrchové kontaminace dochází také v důsledku podvědomých pohybů (setření potu z čela zápěstím, nebo poškrábáním se kontaminovanou rukavicí). O vnitřní kontaminaci je možné hovořit, jestliže se radioaktivní látky dostanou do organismu. K tomu může dojít spolknutím, vdechnutím nebo prostupem radionuklidů přes pokožku či sliznici, např. nosu, očí apod. Při vnitřní kontaminaci bývá organismus zatěžován dlouhodobě. Radioaktivní látka může být deponována v určitých orgánech, které jsou bezprostředně vystaveny účinkům záření. Odstranění radioaktivních látek z organismu je složitější než z povrchu postiženého. Vnitřní kontaminace vede k vnitřnímu ozáření (Chvátalová, 2018).

3. Metodika

V praktické části se diplomová práce snaží dosáhnout několika cílů a hledá odpověď na jednu výzkumnou otázku. Hlavním cílem diplomové práce bude sepsání edukačního materiálu týkající se ionizujícího záření jako podkladu pro výuku středoškolských učitelů fyziky. Edukační materiál bude vytvořen na základě ověření znalostí středoškolských studentů ohledně daného tématu. Samotné ověření znalostí proběhne formou dotazníkového šetření středoškolských studentů s různým zaměřením (Gymnázia a střední odborné školy). Tvorba otázek do dotazníkového šetření se bude odvíjet od strukturovaného rozhovoru s učiteli fyziky, vyučujícími na vybraných školách. Otázky pro vyučující se týkaly i dostupnosti informací o ionizujícím záření pro přípravu podkladů výuky.

Spolu s vyhodnocením dotazníkového šetření se nabízí výzkumná otázka, zda jsou studenti středních odborných škol vzhledem ke svému zaměření lépe informačně vybaveni ohledně ionizujícího záření než studenti gymnázií, kteří mají lepší obecné znalosti. Střední odborné školy byly vybrány podle úsudku, že na zdravotních školách se výuka zaměřuje i na zdroje ionizujícího záření, jeho účinky a ochranu před ním. Studenti tohoto zaměření by měli absolvovat předmět radiologie, kde je toto téma zvláště rozebíráno. Studenti středních průmyslových škol stavebních by měli mít povědomí o ionizujícím záření, především kvůli výskytu radonu v budovách a jeho účinkům. A nakonec byla do výzkumného šetření zahrnuta střední škola se zaměřením na ochranu životního prostředí, ve kterém by žáci mohli mít obecný přehled o využívání ionizujícího záření v energetice a přehled o přírodních zdrojích ionizujícího záření. Znalosti žáků uvedených středních škol budou porovnávány se znalostmi studentů gymnázií, kteří nejsou žádným vyučovacím předmětem přímo vázáni k tématu ionizujícího záření, ale mají mít lepší obecné znalosti. Gymnázia budou vybírána náhodně, ale ve výběru se nebudou nacházet gymnázia se zaměřením, bude se tedy jednat o obecná gymnázia. Dotazníky budou vyplňovat žáci druhých, třetích a čtvrtých ročníků vybraných škol, kteří by měli mít splněný předmět fyziky, v jehož osnovách se nachází téma ionizujícího záření.

Díky nepříznivé epidemické situaci proběhne dotazníkové šetření přes internetové stránky Survio, které se zaměřují na dotazníky a dotazníková šetření.

Strukturovaný rozhovor se středoškolskými učiteli z vybraných škol bude probíhat telefonicky, případně přes zasláný dotazník. Vyučujícímu budou položeny otázky týkající se zdrojů informací pro vytvoření podkladu výuky o ionizujícím záření a otázky směřující na představu o vědomostech jeho žáků týkající se tohoto tématu.

Otázky budou znít takto:

1. Vyučujete na střední odborné škole, či gymnáziu?
2. Z jakých informačních zdrojů čerpáte při přípravě podkladů výuky o ionizujícím záření, resp. radiačním záření?
3. Jsou školní učebnice dostačující při tvorbě podkladu výuky o ionizujícím záření?
4. Je časově náročné vyhledávat na internetu ověřené webové stránky jako zdroj informací o ionizujícím záření?
5. Co si většinou vaši žáci vybaví jako první při vašem výkladu o ionizujícím záření?
6. Běžný člověk na planetě přijímá 3 mSv efektivní dávky ročně. Z jakých zdrojů si vaši žáci podle vás myslí, že přijímají největší část záření?
7. Jak dobře jsou podle vás vaši žáci informováni ze školy či ostatních zdrojů o výskytu radonu v budovách a jeho účincích?
8. Do jaké míry si jsou vaši studenti podle vás vědomi negativních účinků ionizujícího záření?
9. Kolik stran by podle vás měl obsahovat podklad pro výuku učitelů středních škol o ionizujícím záření?
10. Existuje otázka ohledně ionizujícího záření, na kterou neznáte odpověď a byla/a byste ráda/a, aby se odpověď nacházela v edukačním podkladu? Popřípadě něco, co vás osobně zajímá?

Pro strukturovaný rozhovor bylo osloveno devět škol, kde posléze mělo probíhat dotazníkové šetření. Komunikace s řediteli těchto škol byla většinou vstřícná a ke strukturovanému rozhovoru ředitelé poskytli kontakt na učitele fyziky, kteří vyučují na oslovených středních školách. Na těchto devíti školách byli ochotni podstoupit strukturovaný rozhovor čtyři vyučující, což nebylo dostačující. Pro lepší perspektivu při vytváření zmíněného dotazníku bylo osloveno dalších přibližně deset škol se zaměřením na stavebnictví, nebo zdravotnictví a několik gymnázií. Z těchto škol byli ochotni podstoupit další čtyři vyučující strukturovaný rozhovor. Šest vyučujících souhlasilo s telefonickým rozhovorem a dalším dvěma byl poskytnut dotazník, zaslaný internetovou formou.

Strukturovaný rozhovor (ve dvou případech dotazník) podstoupilo pět učitelů středních odborných škol a tři vyučující z oslovených gymnázií. Rozhovor trval v průměru patnáct minut a zaznamenané odpovědi se nacházejí v příloze č.1. Kromě odpovědí vyučujících na přímé otázky, podle kterých byl tvořen dotazník, byl tento rozhovor cenným prvkem pro způsob, jakým byl dotazník vytvářen. Otázky byly tvořeny tak, aby byly srozumitelné a lehce pochopitelné i pro studenty přímo neseznámené s tématem ionizujícího záření. Slovní obraty a odborná slova byla volena tak, aby se zde nenacházela v příliš odborné formě. Pro příklad lze uvést, že výraz ionizující záření je v dotazníku nahrazen termínem radiační záření. Dotazník je tvořen tak, aby na sebe otázky navazovaly a působily zajímavě v souvislosti s naprostou dobrovolností jeho vyplňování. Další důležitou informací od středoškolských učitelů byl fakt, že větší část jejich studentů má krátkou dobu, po kterou udrží pozornost. Proto byl dotazník navržen tak, aby jeho vyplnění nezabralo více než deset minut. Do dotazníku byla i díky tomuto rozhovoru zahrnuta otázka z kategorie filmů a dokumentů týkající se ionizujícího záření, protože většina studentů rádo sleduje různé seriály a filmy. S tímto souvisí nedávné vydání minisérie Černobyl, která se těší velké oblibě, především u mladých lidí.

Dotazník obsahuje devatenáct otázek. Z těchto devatenácti otázek se devět otázek zaměřovalo na informace o studentech a jejich zájmu o téma ionizujícího záření. Zbylých deset otázek bylo zaměřeno na jejich znalosti o tomto tématu. Plné znění otázek a možnosti odpovědí se nachází v příloze číslo 3.

Dotazníky byly rozeslány studentům patnácti škol prostřednictvím jejich ředitelů. Těm byl zaslán e-mail adresovaný žákům, ve kterém se nacházel odkaz na dotazník. Následně byli ředitelé telefonicky kontaktováni s prosbou o přeposlání tohoto e-mailu. Celý e-mail je uveden v příloze číslo 2

Po několika dnech přicházely vyplněné dotazníky. Bohužel jich přicházelo malé množství a pouze z jednoho typu středních škol. Pro více odpovědí bylo kontaktováno dalších přibližně 20 škol z různých částí České republiky. Největší počet odpovědí přišel ze středních zdravotnických škol, celkem odpovědí, přitom byly osloveny pouze 4 školy zaměřené na toto odvětví. Střední ekologická škola byla oslovena pouze jedna. Gymnázií bylo pro vyplnění dotazníku osloveno 12, převážně z Jihočeského kraje. Středních průmyslových škol bylo osloveno 15-20, z celé České republiky. Přesto z těchto škol přišel druhý nejmenší počet vyplněných dotazníků, tedy 64.

4. Výsledky

Dotazníkové šetření probíhalo od 4. března do 17. března s celkovou účastí 348 respondentů z 35 škol. Výsledky šetření se nacházejí níže. Z důvodu lepší přehlednosti byla v grafech a tabulkách zkrácena verze otázek a možností odpovědí. Jejich plné znění se nachází v příloze č. 3.

Internetový portál Survio po skončení dotazníkového šetření nabídl informace o statistice vyplňování dotazníku. Dotazník si zobrazilo celkem 556 studentů, test jich vyplnilo pouze 348, což znamená 62% úspěšnost vyplnění.

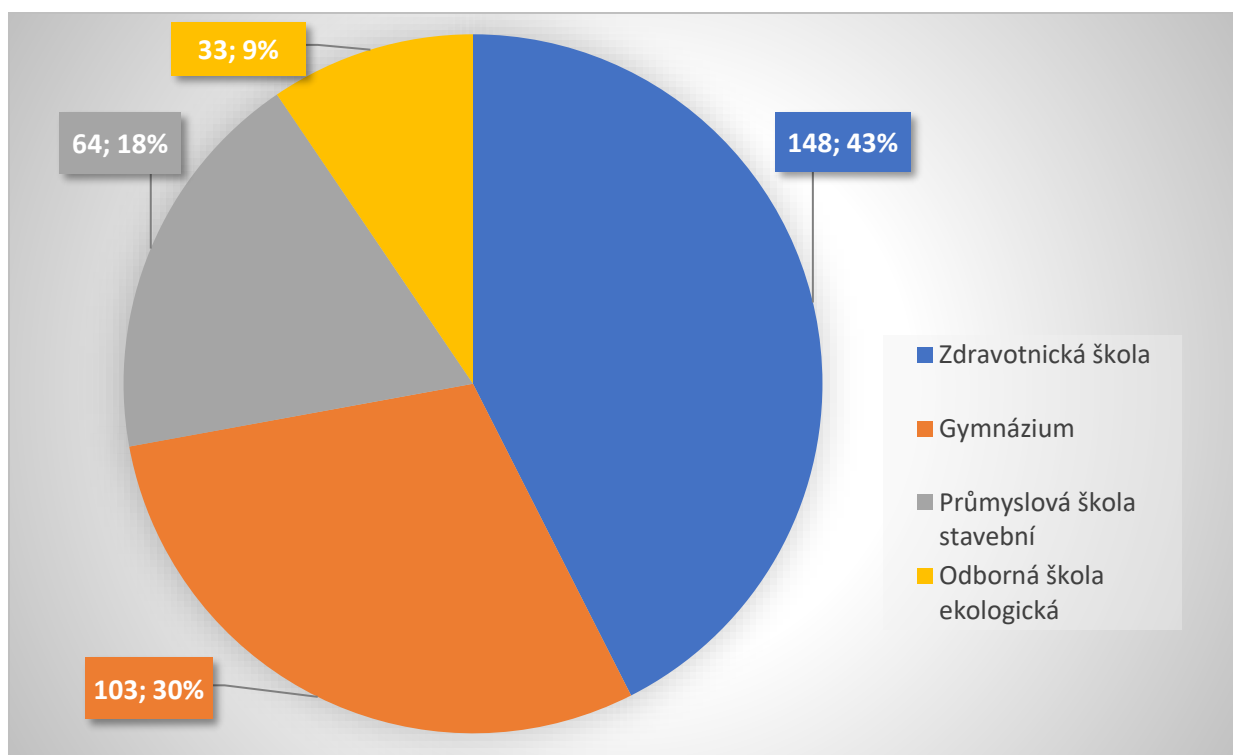
Další zajímavou statistikou je délka vyplňování dotazníku. 13 respondentů test vyplňovalo 1-2 minuty. 119 respondentům vyplnění testu zabralo 2-5 minut. Největšímu počtu respondentů (161) vyplnění testu zabralo 5-10 minut. 52 respondentů test vyplňovalo mezi 10-30 minutami a zbylí 3 respondenti test vyplňovali déle než 60 minut.

4.1.1. Počty respondentů z jednotlivých škol

Z tabulky č. 1 a grafu č. 11 lze vyčíst, v jakých počtech byly z jednotlivých škol odesílány vyplněné dotazníky. Celkem byl test vyplněn 348 respondenty. Největší počet respondentů pochází ze zdravotnických škol, 148 vyplněných dotazníků, tedy 43 % z celkového počtu. Z oslovených gymnázií bylo odesláno 103 vyplněných dotazníků (30 %). Na průmyslových školách dotazník vyplnilo 64 žáků, tedy 18 % z celkového počtu a z odborné školy ekologické test vyplnilo 33 studentů, tedy 9 %.

Tabulka 1 Označte, kterou střední školu studujete

	Počet respondentů	Procentuální zastoupení
Zdravotnická škola	148	42 %
Průmyslová škola stavební	64	18 %
Odborná škola ekologická	33	9 %
Gymnázium	103	30 %
celkem	348	100 %



Obrázek 11 Označte, kterou střední školu studujete

Zdroj: Vlastní zpracování

4.1.2. Věk respondentů

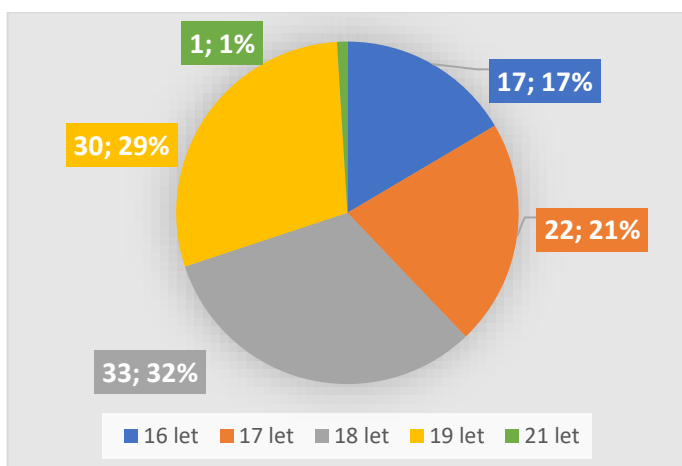
Z tabulky č. 2 lze zjistit věk všech respondentů ze zkoumaných škol, kteří se zúčastnili dotazníkového šetření. Z celkového počtu 348 respondentů je největší počet (128) ve věku devatenácti let. Osmnáctiletých respondentů bylo 115 a respondentů, kteří měli sedmnáct let, bylo 68.

Pokud se získaná data rozdělí podle zaměření na gymnázia a střední odborné školy, je možné pozorovat, že z gymnázií největší skupinu tvořili osmnáctiletí (33 %) z celkového počtu 103 respondentů, dále devatenáctiletí (29 %, 30 respondentů) a sedmnáctiletí respondenti tvořili 21 %. Graf u gymnázií uzavírají šestnáctiletí studenti, kteří tvoří 17 %.

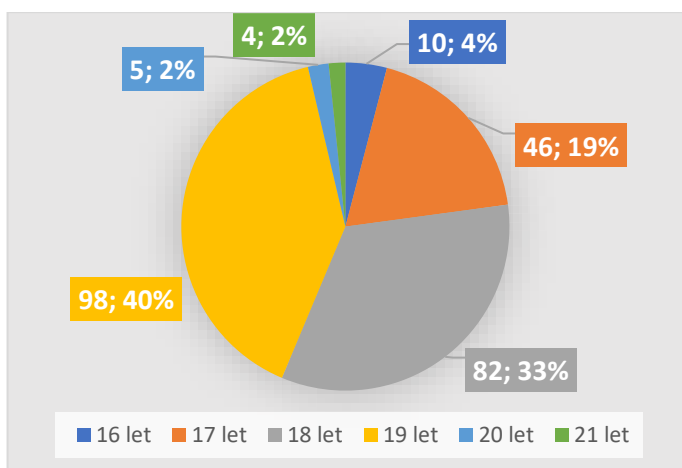
Ze středních odborných škol dotazník vyplnilo 245 respondentů. Největší skupinu tvoří devatenáctiletí studenti (40 %, 98 respondentů), dále osmnáctiletí studenti (33 %) a třetí nepoččetnější věkovou skupinou byli sedmnáctiletí studenti (19 %).

Tabulka 2 Věk respondentů

	16	17	18	19	20	21	Celkem
Průmyslová škola stavební	10	21	10	21	1	1	64
Odborná škola ekologická	0	7	14	12	0	0	33
Zdravotnická škola	0	18	58	65	4	3	148
Gymnázium	17	22	33	30	0	1	103
Celkem	27	68	115	128	5	5	348



Obrázek 12 Věk respondentů z gymnázií



Obrázek 13 Věk respondentů ze středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.3. Ročník studia respondentů

Z tabulky číslo 3, grafů 14 a 55 lze vyčíst, v jakém ročníku studia se nacházeli dotazníkoví respondenti.

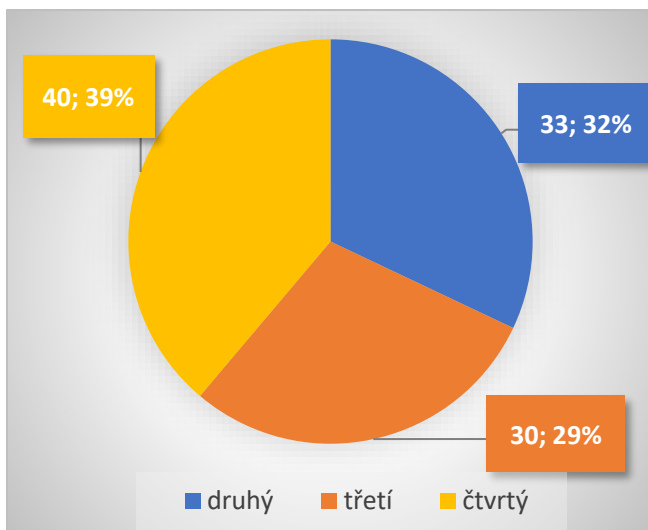
Z gymnázií největší počet tvořily 4. ročníky, 40 studentů (39 %), dále 2. ročníky (33 respondentů, 32 %) a nejméně tvořily 3. ročníky (30 respondentů, 29 %).

Z celkového průměru třech uvedených středních škol nejvíce respondentů studovalo 4. ročník (53 %, 131 respondentů), od 3. ročníků pochází 36 % vyplněných dotazníků a z 2. ročníků pochází 11% z celkového počtu dotazníků.

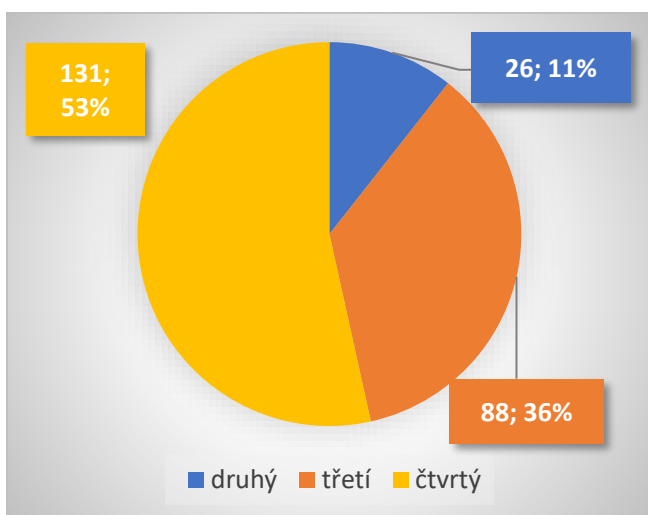
Celkem z 348 respondentů 171 studovalo 4. ročník, 118 studovalo 3. ročník a 59 studovalo 2. ročník.

Tabulka 3 Ročník studia respondentů

	2. ročník	3. ročník	4. ročník	Celkem
Průmyslová škola stavební	26	17	21	64
Odborná škola ekologická	0	17	16	33
Zdravotnická škola	0	54	94	148
Gymnázium	33	30	40	103
Celkem	59	118	171	348



Obrázek 14 Ročník studia respondentů z gymnázií



Obrázek 15 Ročník studia respondentů ze středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.4. Pohlaví respondentů

Tabulka číslo 4, grafů č. 16 a graf č. 17 znázorňuje, v jakém poměru chlapci a dívky vyplnili dotazníkové testy.

Z gymnázií byl dotazník více vyplňován dívkami (57 odpovědí od dívek, 55 %, a 49 odpovědí od chlapců, 45 %).

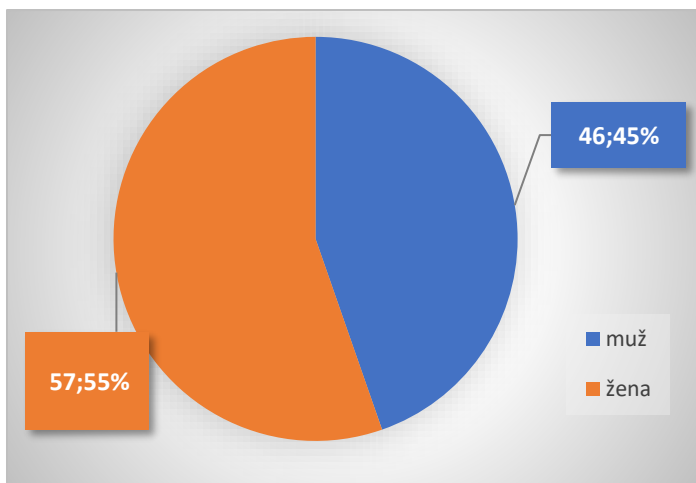
Ze středních odborných škol test vyplnilo více dívek, ze zdravotnické střední školy pochází 128 dotazníků od dívek a 18 od chlapců, u odborné školy ekologické je poměr vyplnění testu od dívek i chlapců vyrovnaný a u průmyslové školy stavební test vyplnilo více chlapců než dívek (39 chlapců a 25 dívek).

Ze středních odborných škol přišlo 71 % vyplněných dotazníků od dívek a 29 % dotazníků od chlapců.

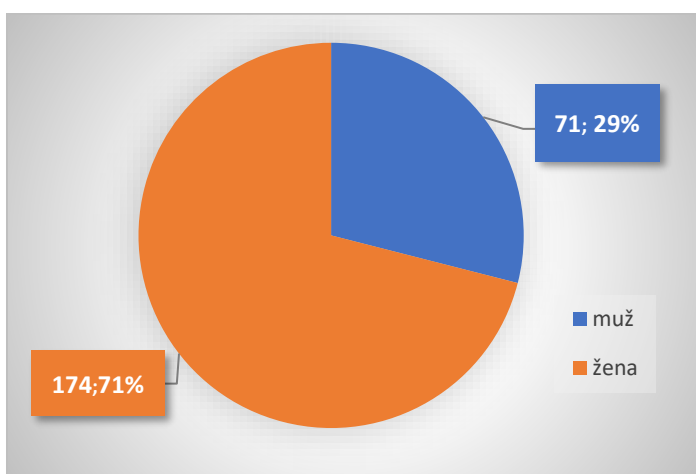
Z celkového počtu 348 respondentů se ve 231 případech jednalo o dívky a ve 117 případech o chlapce.

Tabulka 4 Pohlaví respondentů

	muž	žena	Celkem
Průmyslová škola stavební	39	25	64
Odborná škola ekologická	14	19	33
Zdravotnická škola	18	130	148
Gymnázium	46	57	103
Celkem	117	231	348



Obrázek 16 Pohlaví respondentů z gymnázií



Obrázek 17 Pohlaví respondentů ze středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.5. *Zájem respondentů o téma*

Tabulka č. 5, grafů č. 18 a 19 zobrazuje informace o zájmu respondentů ohledně tématu ionizujícího záření. Z gymnázií 81 % respondentů (87 ze 106) odpovědělo, že problematika ionizujícího záření jim přijde zajímavá, ale aktivně se o ni nezajímají. Dalších 9 respondentů odpovědělo, že je tato problematika nezajímá vůbec, a 10 respondentů zajímají pouze filmy a dokumenty s touto tematikou.

Ze střední zdravotnické školy 95 respondentů ze 146 odpovědělo, že problematika ionizujícího záření jim přijde zajímavá, ale aktivně ji nevyhledávají. Dalších 39 respondentů z této školy odpovědělo, že je toto téma je nezajímá vůbec. Z odborné ekologické školy odpovědělo 28 respondentů ze 33, že problematika jim přijde zajímavá, ale nevyhledávají ji.

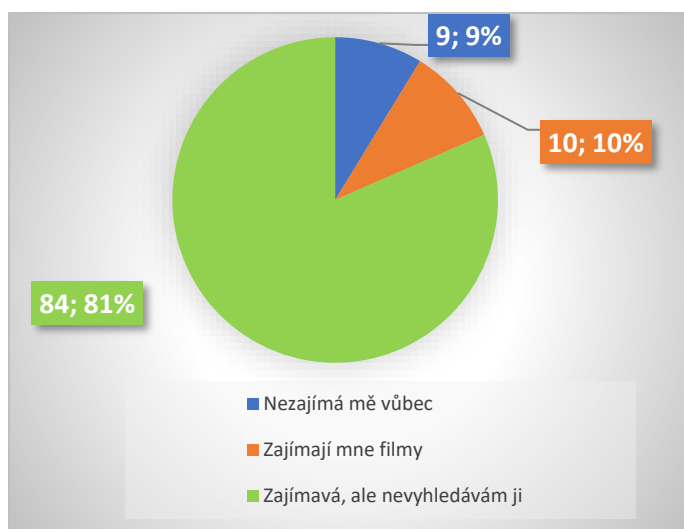
Z průmyslové školy stavební odpovědělo 64 respondentů, 39 respondentům tato problematika přijde zajímavá, ale nevyhledávají ji. Pro 14 respondentů není tato problematika vůbec zajímavá a 10 respondentů odpovědělo, že je zajímaví především dokumenty a filmy s touto tematikou.

Z celkového počtu 245 respondentů ze středních odborných škol odpovědělo 164 respondentů (67 %), že téma jim přijde zajímavé, ale nevyhledávají jej. Dalších 55 respondentů (22 %) odpovědělo, že je téma ionizujícího záření nezajímá vůbec.

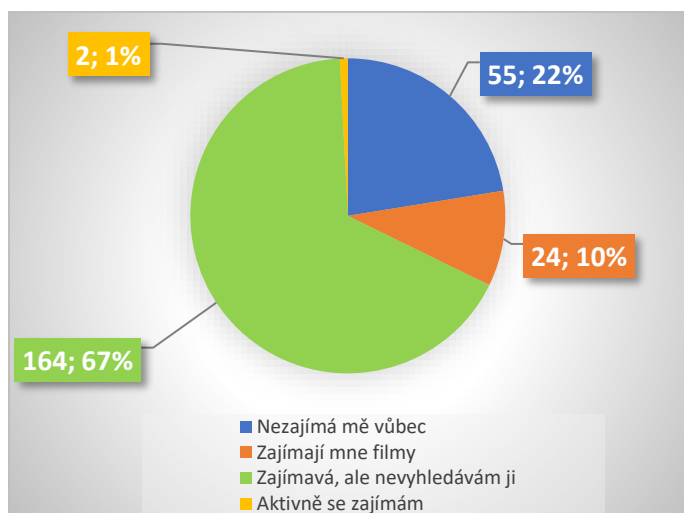
Z celkového počtu 348 respondentů 248 uvedlo, že problematika ionizujícího záření jim přijde zajímavá, ale nevyhledávají ji. 64 respondentů nezajímá tato problematika vůbec a 34 respondentů zajímají pouze dokumenty a filmy s touto tematikou. 2 respondenti se o téma ionizujícího záření zajímají tak, že toto téma aktivně vyhledávají.

Tabulka 5 Zájem respondentů o téma ionizujícího záření

	Nezajímá mně vůbec	Tato problematika mi přijde zajímavá, ale nevyhledávám ji	Zajímají mně pouze dokumenty a filmy s touto problematikou	Zajímám se o tuto problematiku aktivně	Celkem
Průmyslová škola stavební	14	39	10	1	64
Odborná škola ekologická	2	28	3	0	33
Zdravotnická škola	39	97	11	1	148
Gymnázium	9	84	10	0	103
Celkem	64	248	34	2	348



Obrázek 18 Zájem o téma ionizujícího záření u studentů gymnázií



Obrázek 19 Zájem studentů o téma ionizujícího záření u studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.6. *Probírali jste téma ionizujícího záření, respektive radiace v hodinách fyziky?*

Z následující tabulky a grafů lze vyčíst, zda studenti probírali problematiku ionizujícího záření při výuce fyziky.

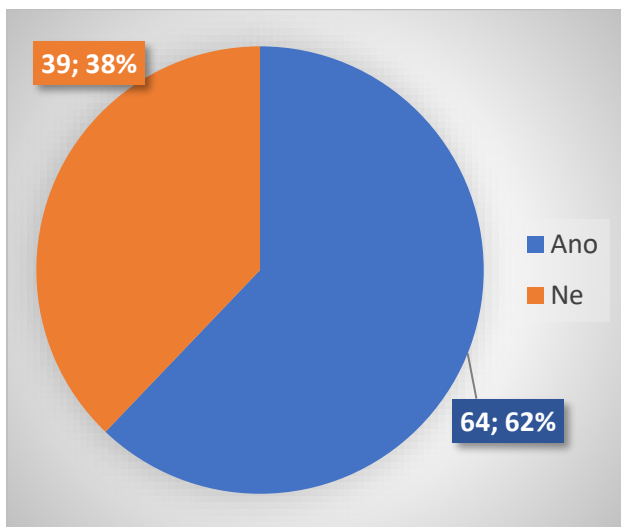
Ze 106 respondentů z gymnázií označilo 62 % studentů (64 respondentů), že tuto problematiku v hodinách fyziky probírali, 39 % studentů označilo opačnou odpověď.

Ze středních odborných škol většina respondentů (79 %) označila, že problematiku ionizujícího záření ve hodinách fyziky probírali.

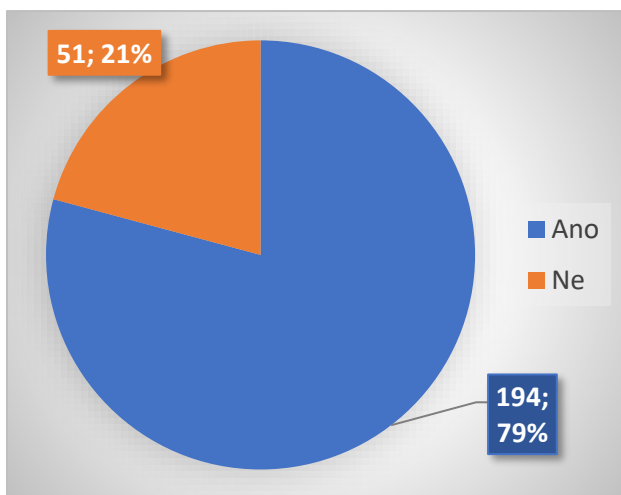
Z celkového počtu 348 respondentů na otázku, zda probírali téma ionizujícího záření při hodinách fyziky, 258 respondentů označilo odpověď ano.

Tabulka 6 Téma ionizujícího záření při výuce fyziky

	Ano	Ne	Celkem
Průmyslová škola stavební	40	24	64
Odborná škola ekologická	29	4	33
Zdravotnická škola	125	23	148
Gymnázium	64	39	103
Celkem	258	90	348



Obrázek 20 Téma ionizujícího záření při výuce fyziky u studentů gymnázií



Obrázek 21 Téma ionizujícího záření při výuce fyziky u studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.7. Kolik hodin ve vaší výuce (fyziky, biologie, radiologie) bylo věnováno tématu ionizujícího záření, respektive radioaktivitě?

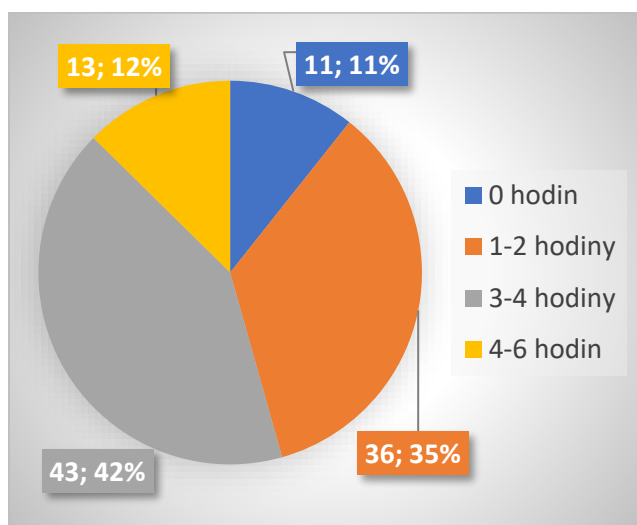
Z tabulky č. 7, grafů číslo 22 a 23 lze vyčíst, kolik hodin různých předmětů bylo věnováno tématu ionizujícího záření.

U gymnázií nejvíce respondentů označilo odpověď 3-4 hodiny (42 %, 43 studentů), druhou nejčastější odpověď, 1-2 hodiny označilo 35 % respondentů. Třetí nejčastější odpovědí je 4-6 hodin, kterou označilo 12 % respondentů. Odpověď 0 hodin označilo 11 % respondentů, tedy 11 studentů.

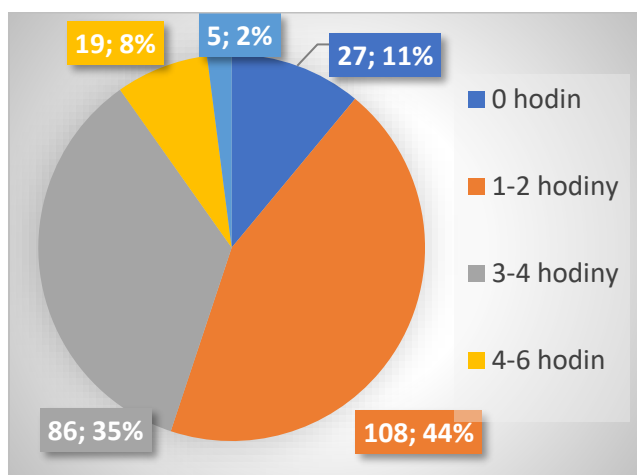
Ze studentů středních odborných škol označilo odpověď 1-2 hodiny 44 % respondentů (108 studentů). Odpověď 3-4 hodiny označilo 35 % respondentů (86 studentů). 0 hodin označilo 11 % respondentů a 4-6 hodin 8 %. Odpovědi mezi studenty třech typů středních odborných škol se výrazně neliší.

Tabulka 7 Počet vyučovacích hodin věnovaných tématu ionizujícího záření

	1-2 hodiny	3-4 hodiny	4-6 hodin	více než 7 hodin	0 hodin	Celkem
Průmyslová škola stavební	27	18	7	1	11	64
Odborná škola ekologická	8	19	2	3	1	33
Zdravotnická škola	73	50	10	1	14	148
Gymnázium	36	43	13	0	11	103
Celkem	144	130	32	5	37	348



Obrázek 22 Počet vyučovacích hodin věnovaných tématu u studentů gymnázií



Obrázek 23 Počet vyučovacích hodin věnovaných tématu u studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.8. Viděl/a jste někdy dokument týkající se ionizujícího, respektive radiačního záření, popřípadě kterého typu?

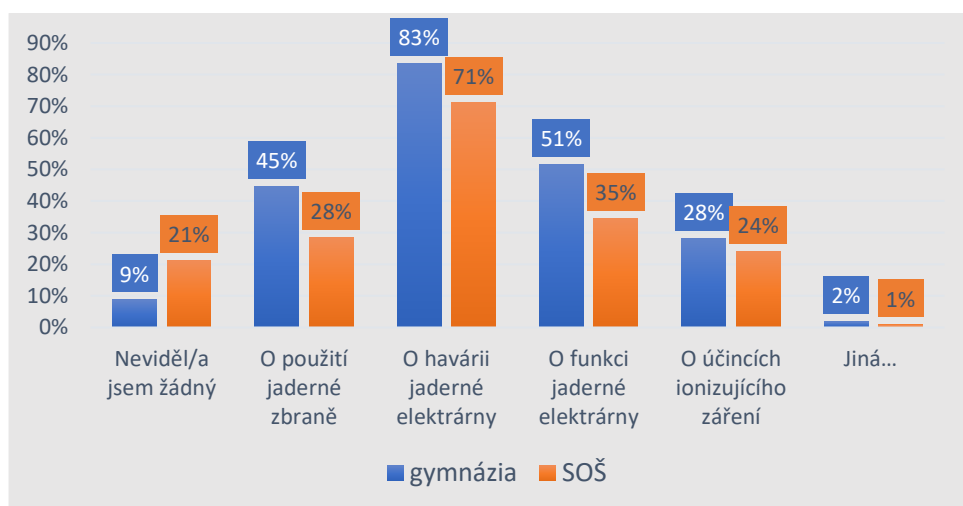
Tabulka č. 8 a graf č. 24 udává, jestli, nebo které dokumenty respondenti viděli. Otázka umožňovala více odpovědí.

52 respondentů ze středních odborných škol (21 %) uvedlo, že neviděli žádný dokument týkající se ionizujícího záření, zatímco z gymnázií takto odpovědělo pouze 9 % dotázaných (9 respondentů).

Nejvíce respondentů (83 % z gymnázií a 71 % ze středních odborných škol) uvedlo, že viděli dokument nebo seriál o havárii jaderné elektrárny. Druhou nejčastěji označovanou odpovědí je, že respondenti (51 % z gymnázií a 35 % ze středních odborných škol) vidělo dokument o funkci jaderné elektrárny. Dále 45 % respondentů z gymnázií a 28 % respondentů ze středních odborných škol uvedlo, že viděli dokument o použití jaderné zbraně.

Tabulka 8 Popularita dokumentů o ionizujícím záření

	gymnázia	SOŠ
Neviděl/a jsem žádný	9	52
O použití jaderné zbraně	46	70
O havárii jaderné elektrárny	86	175
O funkci jaderné elektrárny	53	85
O účincích ionizujícího záření	29	59
Jiná...	2	2
celkem	225	443



Obrázek 24 Popularita dokumentů o ionizujícím záření u všech respondentů středních škol

Zdroj: Vlastní zpracování

4.1.9. Co je podle vás radioaktivita

Z tabulky 9, grafů 25 a 26 lze ověřit znalosti studentů gymnázií a středních odborných škol v otázce radioaktivity.

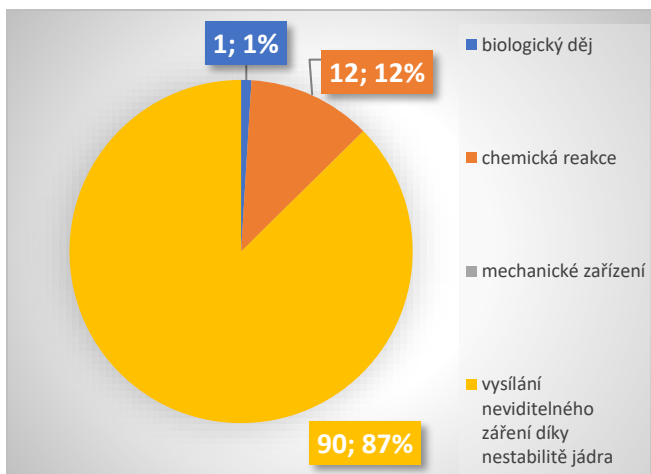
Studenti gymnázií v 87 % (90 respondentů) správně označili, že radioaktivita je vysílání neviditelného záření díky nestabilitě těžkého jádra. 12 % studentů (12 respondentů) uvedlo, že radioaktivita je chemická reakce dvou prvků, při které je vyzařována energie a jeden respondent označil, že radioaktivita je biologický děj, při kterém je vyzařována energie.

Studenti středních odborných škol uvedli správnou odpověď v 59 % (147 respondentů). Dalších 34 % (84 respondentů) uvedlo, že radioaktivita je chemická reakce dvou prvků, při které je vysíláno neviditelné záření. Dalších 6 % (14 respondentů) uvedlo, že radioaktivita je mechanické záření sloužící pro výrobu elektrické energie.

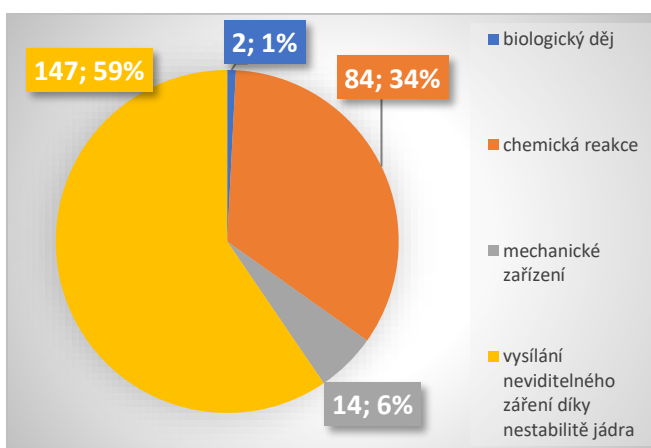
Ze 348 respondentů na otázku, co je to radioaktivita, odpovědělo správně 235.

Tabulka 9 Odpovědi respondentů na otázku, co je to radioaktivita

	mechanické zařízení sloužící pro výrobu elektrické energie	chemická reakce dvou a více prvků, při které je vyzařována energie	vysílání neviditelného záření díky nestabilitě jádra	biologický děj, při kterém bakterie vyzařují energii	Celkem
Průmyslová škola stavební	2	21	39	2	64
Odborná škola ekologická	0	11	22	0	33
Zdravotnická škola	12	52	84	0	148
Gymnázium	0	12	90	1	103
Celkem	14	96	235	3	348



Obrázek 25 Odpovědi studentů gymnázií na otázku, co je to radioaktivita



Obrázek 26 Odpovědi studentů středních odborných škol na otázku, co je to radioaktivita

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.10. *Který typ záření nejvíce prostupuje materiálem nebo lidskou tkání?*

Z tabulky č. 10, grafů č. 27 a 28 můžeme pozorovat odpovědi studentů gymnázií a středních odborných škol na otázku, které záření je nejpronikavější.

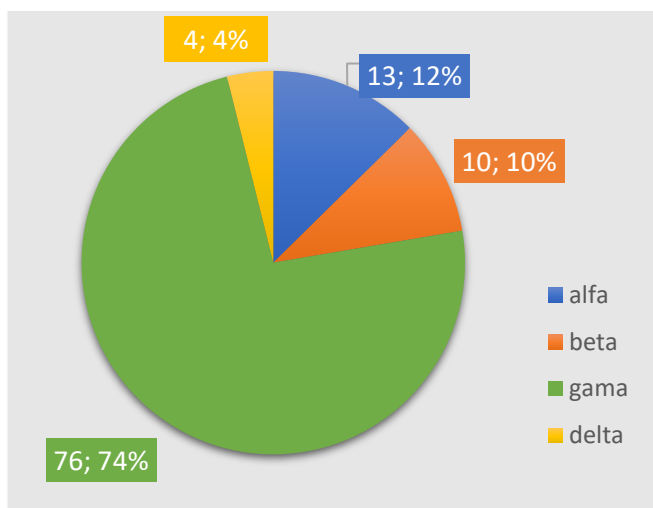
U studentů gymnázií správnou odpověď, tedy záření gama, označilo 74 % studentů (76), 13 (12 %) respondentů se domnívá, že nejpronikavější z uvedených typů záření je alfa záření a 10 studentů označilo jako správnou odpověď beta záření. Čtvrtou možnost, odpověď delta, označili 4 respondenti.

Studenti středních odborných škol označili správnou odpověď v 66 % případů (162). 40 studentů (16 %) jako nejpronikavější záření označilo alfa záření. 31 respondentů (13 %) označila beta záření jako nejpronikavější a 12 respondentů delta.

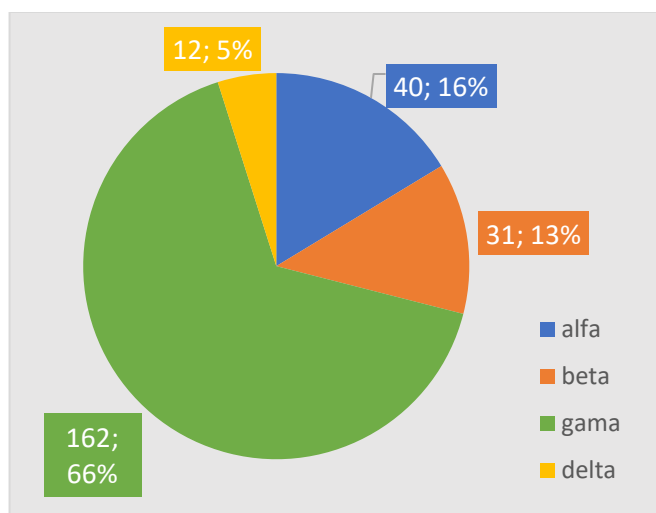
Z celkového počtu 348 respondentů byla správná odpověď označena ve 238 případech.

Tabulka 10 Nejpronikavější typ záření podle respondentů

	alfa	beta	gama	delta	Celkem
Průmyslová škola stavební	9	6	44	5	64
Odborná škola ekologická	5	1	26	1	33
Zdravotnická škola	26	24	92	6	148
Gymnázium	13	10	76	4	103
Celkem	53	41	238	16	348



Obrázek 27 Odpovědi studentů gymnázií na otázku, které záření je nejpronikavější



Obrázek 28 Odpovědi studentů středních odborných škol na otázku, které záření je nejpronikavější

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.11. *Které záření z radioaktivních zdrojů má největší schopnost ionizace?*

Z tabulky č. 11, grafů 29 a 30 lze vyčíst, jak studenti gymnázií a středních odborných škol odpovídali na otázku, které záření má největší schopnost ionizace a je nejnebezpečnější z hlediska vnitřní kontaminace radionuklidem, vyzařující tento typ záření.

Studenti gymnázií označili správnou odpověď ve 31 % odpovědí na tuto otázku.

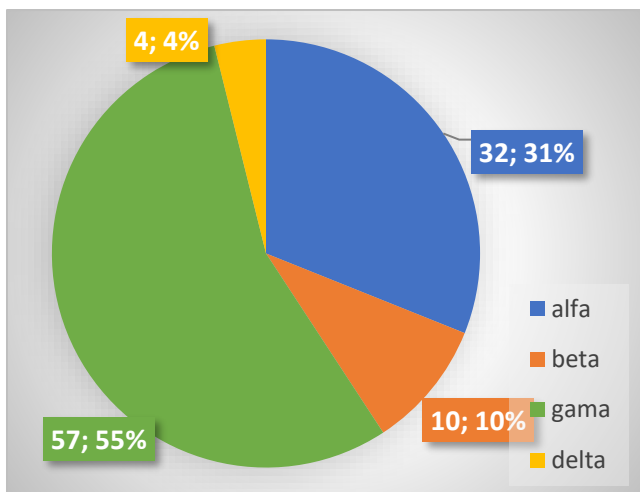
(32 respondentů). Největší počet špatných odpovědí (55 %) bylo přiřazeno ke gama záření (57 respondentů). Další z nesprávných odpovědí byla odpověď, že největší schopnost ionizace má beta záření (10 studentů gymnázií, tedy 10 %).

Studenti středních odborných škol správnou odpověď označili ve 26 % (63 respondentů). Největší podíl nesprávných odpovědí byl, stejně jakou u studentů gymnázií, přiřazen ke gama záření (39 %, 97 respondentů) a beta záření (26 %, 63 respondentů). 8 % podíl v grafu náleží odpovědi delta, která byla označena 19 studenty středních odborných škol.

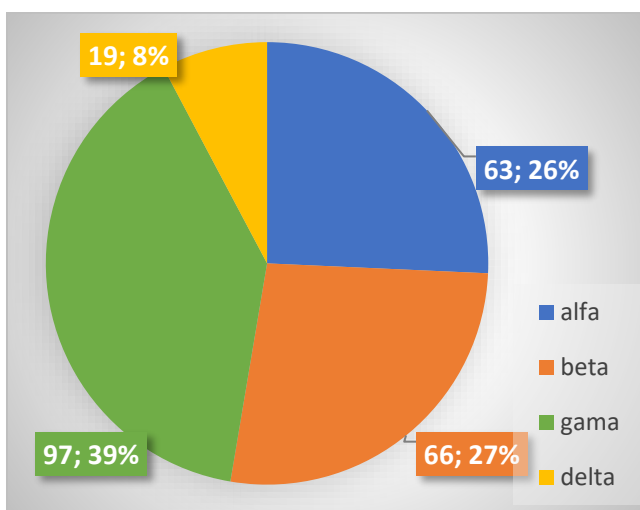
Z celkového počtu 348 respondentů správnou na otázku, které záření má největší schopnost ionizace, správně odpovědělo 95 respondentů.

Tabulka 11 Který typ záření má největší schopnost ionizace podle respondentů

	alfa	beta	gama	delta	Celkem
Průmyslová škola stavební	15	13	28	8	64
Odborná škola ekologická	7	3	19	4	33
Zdravotnická škola	41	50	50	7	148
Gymnázium	32	10	57	4	103
	95	76	154	23	348



Obrázek 29 Které záření má největší schopnost ionizace podle studentů gymnázií



Obrázek 30 Které záření má největší schopnost ionizace podle studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.12. *Který chemický prvek se používá na odstínění (zachycení) pronikavého ionizujícího záření z radioaktivních zdrojů?*

Z tabulky č. 12, grafů č. 31 a 32 pozorujeme, jak studenti gymnázií a středních odborných škol odpověděli na otázku, který prvek se používá na odstínění pronikavého ionizujícího záření.

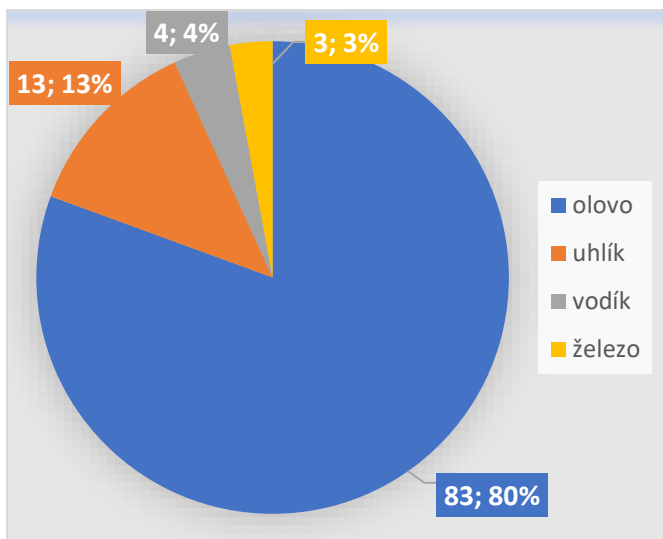
Studenti gymnázií na otázku správně odpověděli v 80 % případů (83 respondentů ze 103). Dalších 20 % respondentů uvedlo, že na odstínění ionizujícího záření se používá jiný z uvedených prvků (13 % uhlík, 4 % vodík a 3 % železo).

Studenti středních odborných škol na otázku správně odpověděli v 70 % případů (171 respondentů z 245). 30 % respondentů zvolilo nesprávnou odpověď (10 % respondentů vybralo uhlík, 10 % vodík a 10 % železo).

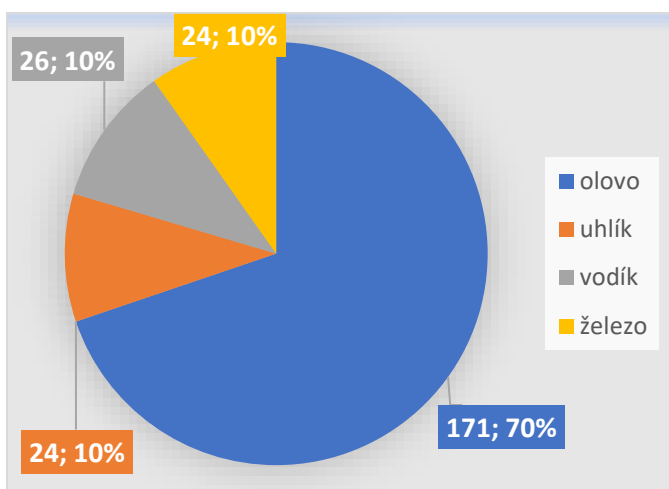
Ze 348 respondentů správně odpovědělo 254 respondentů na otázku, který chemický prvek se používá na odstínění ionizujícího záření.

Tabulka 12 Který chemický prvek se používá na odstínění ionizujícího záření podle respondentů

	železo	olovo	vodík	uhlík	Celkem
Průmyslová škola stavební	5	45	8	6	64
Odborná škola ekologická	2	25	4	2	33
Zdravotnická škola	17	101	14	16	148
Gymnázium	3	83	4	13	103
Celkem	27	254	30	37	348



Obrázek 31 Který chemický prvek se používá na odstínění IZ podle studentů gymnázií



Obrázek 32 Který chemický prvek se používá na odstínění IZ podle studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.13. Každý rok je člověk vystaven určité dávce ionizujícího záření pocházejícího z různých zdrojů. Základní dělení je na umělé, lékařské a přírodní. Označte, ze kterého zdroje pochází největší část ozáření.

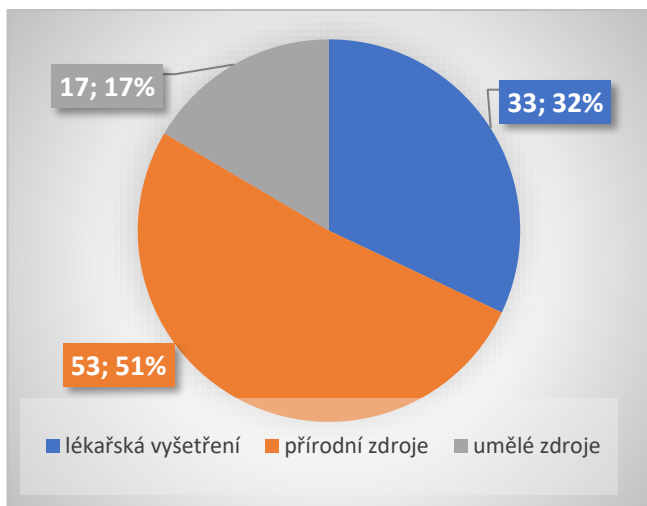
Z tabulky č. 13, grafu č. 33 a 34 lze vyčíst odpovědi studentů gymnázií a středních odborných škol na otázku, z jakých zdrojů pochází největší část ozáření. Podle aktuálních studií je dokázáno, že v rozvinutých státech dávky z medicínských zdrojů překročily dávky ze zdrojů přírodních. Ozáření z přírodních zdrojů je však stále největším zdrojem ionizujícího záření pro většinu lidské populace na Zemi.

Z gymnázií na tuto otázku správně odpověděla více než polovina respondentů (51 %, 53 respondentů), kteří označili přírodní zdroje. Dalších 32 % (33) respondentů odpovědělo, že největší zdroj ozáření pochází z lékařských zdrojů a 17 % označilo jako odpověď umělé zdroje. Ze středních odborných škol označilo správnou odpověď 39 % respondentů, tedy 96 správných odpovědí. O procento více bylo respondentů ze středních odborných škol s nesprávnou odpovědí, že největší dávka ozáření pochází z lékařských zdrojů, což znamená 98 nesprávných odpovědí. Odpověď umělé zdroje označilo 21 % (51) respondentů. Nejvíce správných odpovědí ze středních odborných škol na tuto otázku přišlo z průmyslových stavebních škol (41 respondentů z 54). Naopak nejvíce nesprávných odpovědí přišlo ze zdravotních škol (38 ze 146). Ze zdravotních škol téměř polovina respondentů označilo odpověď, že největší část ozáření pochází z lékařských vyšetření.

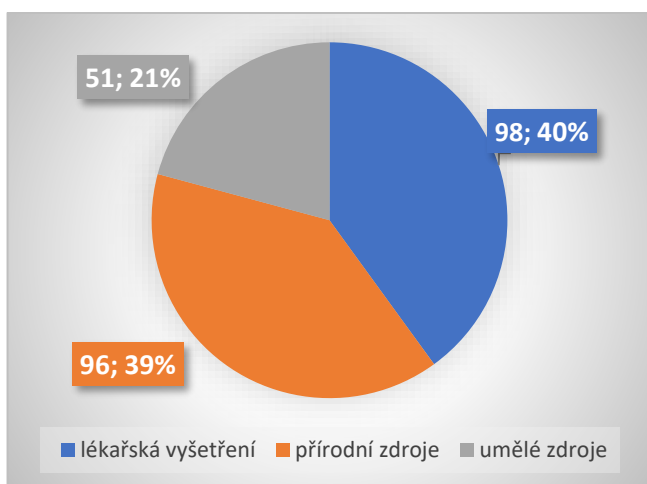
Z celkového počtu 348 respondentů označilo správnou odpověď 149 respondentů.

Tabulka 13 Z jakých uvedených zdrojů pochází největší část ozáření podle respondentů

	Z umělých zdrojů	Z přírodních zdrojů	Z lékařských vyšetření	Celkem
Průmyslová škola stavební	9	41	14	64
Odborná škola ekologická	3	17	13	33
Zdravotnická škola	39	38	71	148
Gymnázium	17	53	33	103
Celkem	68	149	131	348



Obrázek 33 Z jakých zdrojů pochází největší část ozáření podle studentů gymnázií



Obrázek 34 Z jakých zdrojů pochází největší část ozáření podle studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.14. Z jakého přírodního zdroje podle vás pochází největší část ozáření pro obyvatele?

Z tabulky č.14, grafu č. 35 a 36 lze vyčíst odpovědi studentů gymnázií a středních odborných škol na otázku, z jakých přírodních zdrojů pochází největší část ozáření pro obyvatele.

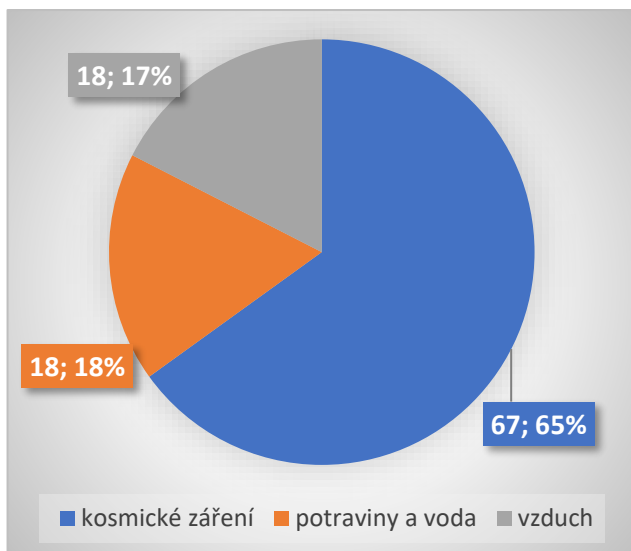
Z gymnázií na tuto otázku správně odpovědělo 18 studentů ze 103 (17 %), kteří označili, že největší část ozáření pochází ze vzduchu. 67 (65 %) respondentů z gymnázií nesprávně odpovědělo, že největší část přírodního ozáření pochází z kosmického záření a dalších 18 studentů označilo jako největší zdroj přírodního ozáření pochází z potravin a vody.

Ze středních odborných škol správnou odpověď označilo 52 studentů z celkového počtu 245, tedy (21 %). Dalších 135 studentů (55 %) označilo nesprávnou odpověď kosmické záření a zbylých 24 % studentů středních odborných škol označilo jako odpověď potravin a voda.

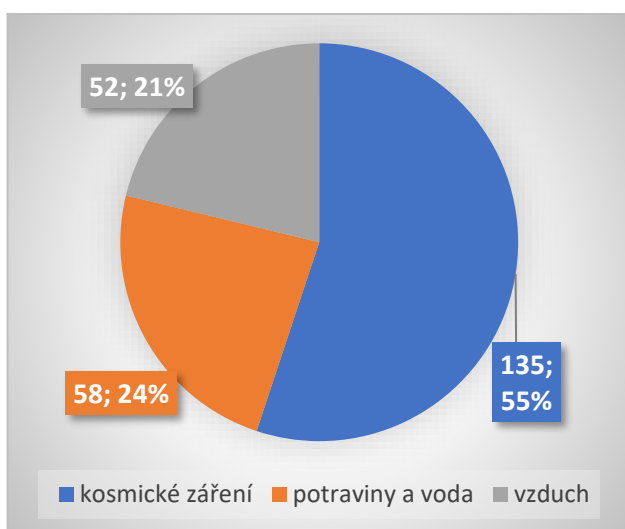
Z celkového počtu 348 respondentů ze všech škol označilo 70 respondentů správnou odpověď.

Tabulka 14 Z jakých přírodních zdrojů pochází největší část ozáření pro obyvatele

	Z kosmického záření	Z potravin a vody	Ze vzduchu	Celkem
Průmyslová škola stavební	35	18	11	64
Odborná škola ekologická	23	2	8	33
Zdravotnická škola	77	38	33	148
Gymnázium	67	18	18	103
Celkem	202	76	70	348



Obrázek 35 Z jakých přírodních zdrojů pochází největší část ozáření podle studentů z gymnázií



Obrázek 36 Z jakých přírodních zdrojů pochází největší část ozáření pro obyvatele podle studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.15. Do jaké vzdálenosti následky havárie jaderné Elektrárny Černobyl ohrožují obyvatele Evropy?

Tabulka 15, graf 37 a 38 znázorňuje odpovědi studentů gymnázií a středních odborných škol na otázku, do jaké míry ohrožuje ionizující záření unikající po havárii jaderné elektrárny Černobyl obyvatele Evropy.

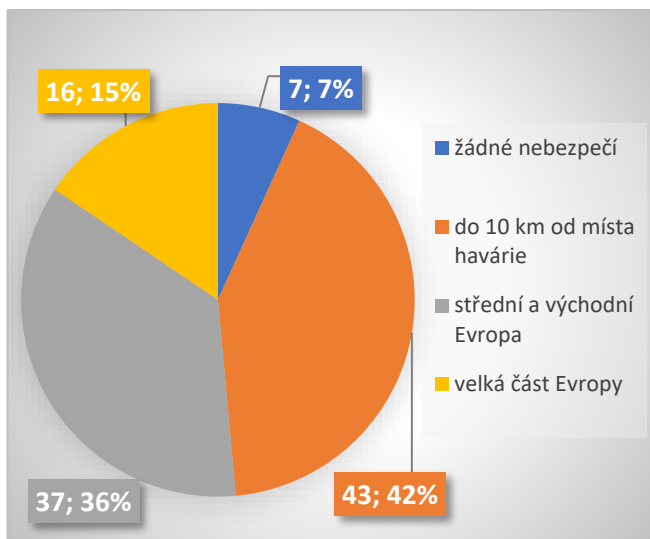
Z gymnázií na tuto otázku správně odpovědělo 43 studentů (42 %). Druhou nejčastěji označovanou odpovědí je, že ionizující záření z havárie jaderné elektrárny stále ohrožuje obyvatele střední a východní Evropy (37 respondentů, 36 %). Dalších 16 respondentů (15 %) označilo odpověď, že ionizující záření stále ohrožuje velkou část Evropy.

Ze středních odborných škol na tuto otázku správně odpovědělo 102 studentů (42 %). Další často označovanou odpovědí (74 respondentů, 30%) bylo, že ionizující záření z havárie jaderné elektrárny stále ohrožuje obyvatele střední a východní Evropy. 46 (19 %) respondentů označilo odpověď, že ionizující záření stále ohrožuje velkou část Evropy. 23 respondentů z této skupiny si myslí, že jaderné palivo po havárii Černobylské jaderné elektrárny je vyhořelé a nepředstavuje vůbec žádné nebezpečí.

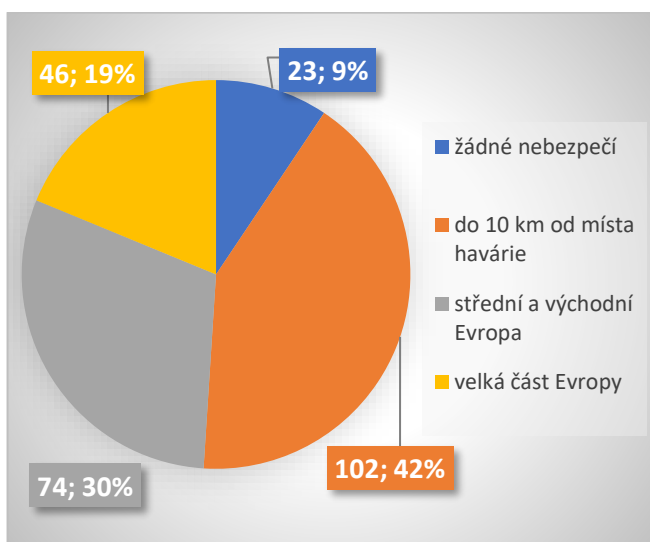
Z celkového počtu 348 respondentů označilo správnou odpověď 145.

Tabulka 15 Do jaké vzdálenosti následky jaderné havárie Černobyl ohrožují obyvatele Evropy

	Záření pocházející ze spadu stále ohrožuje obyvatele velké části Evropy	Záření pocházející ze spadu stále ohrožuje obyvatele střední a východní Evropy	Spad může být nebezpečný maximálně do deseti kilometrů od místa havárie	Palivo v Černobylské jaderné elektrárně už je vyhořelé, v okolí havárie již nehrozí žádné nebezpečí	Celkem
Průmyslová škola stavební	10	14	35	5	64
Odborná škola ekologická	6	9	17	1	33
Zdravotnická škola	30	51	50	17	148
Gymnázium	16	37	43	7	103
Celkem	62	111	145	30	348



Obrázek 37 Do jaké vzdálenosti následky jaderné havárie Černobyl ohrožují obyvatele Evropy podle studentů gymnázií



Obrázek 38 Do jaké vzdálenosti následky jaderné havárie Černobyl ohrožují obyvatele Evropy podle studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.16. Co je to radon?

Z tabulky č. 16, grafu č. 39 a 40 lze vyčíst odpovědi studentů gymnázií a středních odborných škol na otázku, co je radon.

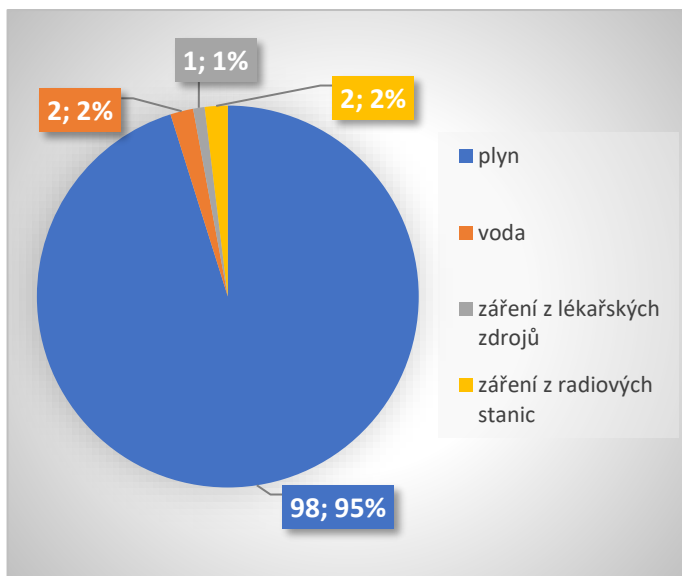
98 respondentů z gymnázií (95 %) správně označilo, že radon je plyn. Zbylých 5 % označilo nesprávné odpovědi, jako záření vysílané z radiových stanic a voda z výpustí jaderných elektráren.

Ze středních odborných škol správnou odpověď označilo 219 respondentů (89 %). Dalších 17 respondentů (7 %) uvedlo, že radon je záření z radiových stanic. 9 respondentů uvedlo, že radon je záření z lékařských zdrojů.

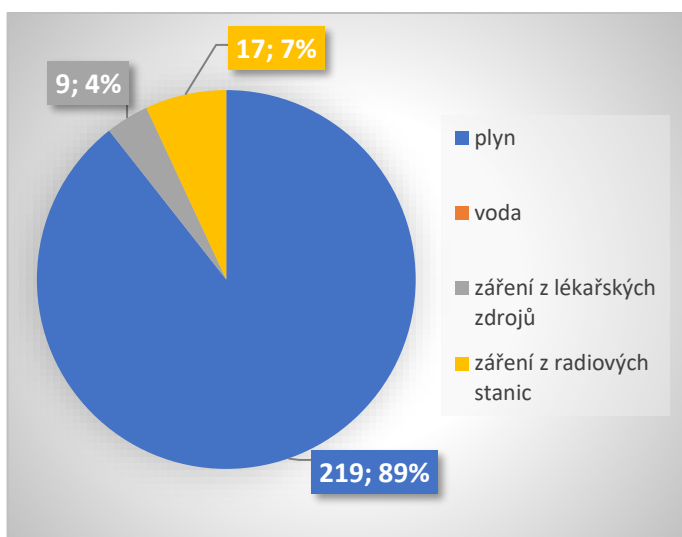
Ze 348 respondentů uvedlo správnou odpověď na otázku, co je radon, 317 studentů středních škol a 31 studentů uvedlo nesprávnou odpověď.

Tabulka 16 Co je radon podle studentů středních škol

	Záření, vysílané z radiových stanic	Záření z lékařských zdrojů při radiologických vyšetřeních	Přírodní radioaktivní plyn	Voda z výpustí jaderných elektráren	Celkem
Průmyslová škola stavební	3	1	60	0	64
Odborná škola ekologická	2	1	30	0	33
Zdravotnická škola	12	7	129	0	148
Gymnázium	2	1	98	2	103
Celkem	19	10	317	2	348



Obrázek 39 Co je radon podle studentů gymnázií



Obrázek 40 Co je radon podle studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.17. Vyberte, která z následujících reakcí není spojena s vystavením organismu ionizujícímu záření

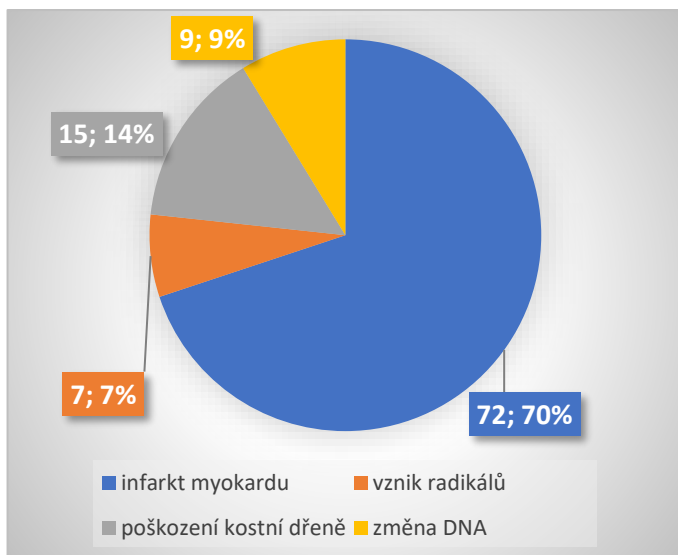
V tabulce č.17, grafů 41 a 42 jsou uvedeny odpovědi studentů gymnázií a středních odborných škol na otázku, která reakce organismu není přímo spojena s expozicí organismu jeho účinkům. 72 respondentů z gymnázií (70 %) správně odpovědělo, že přímá reakce organismu není infarkt myokardu. Dalších 15 respondentů (14 %) nesprávně odpovědělo, že expozice organismu ionizujícímu záření není spojena s poškozením kostní dřeně. 9 respondentů (9 %) označilo nesprávnou odpověď, změna DNA.

Studenti středních odborných škol na tuto otázku správně odpověděli ve 139 případech (57 % správných odpovědí). 40 respondentů (16 %) nesprávně odpovědělo, že expozice organismu ionizujícímu záření není spojena s poškozením kostní dřeně, dalších 37 respondentů (15 %) označilo odpověď změna DNA a 29 (12 %) uvedlo, že s expozicí ionizujícího záření nesouvisí vznik volných radikálů.

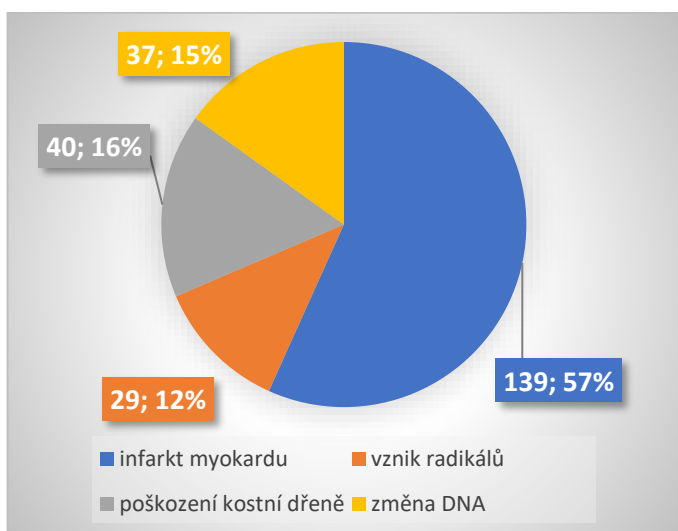
Ze všech 348 respondentů označilo správnou odpověď 211 respondentů.

Tabulka 17 Která reakce organismu není spojena s jeho expozicí ionizujícímu záření

	Infarkt myokardu	Změna DNA buněk	Nežádoucí reakce s molekulami vody, vznik radikálů	Poškození kostní dřeně	Celkem
Průmyslová škola stavební	26	10	8	20	64
Odborná škola ekologická	19	2	7	5	33
Zdravotnická škola	94	25	14	15	148
Gymnázium	72	9	7	15	103
Celkem	211	46	36	55	348



Obrázek 41 Která reakce organismu není spojena s jeho expozicí ionizujícímu záření podle studentů gymnázií



Obrázek 42 Která reakce organismu není spojena s jeho expozicí podle studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.18. *Jaký typ rakoviny je spojován s dlouhodobým vystavením účinků ionizujícího záření z přírodních zdrojů v České republice?*

Z tabulky č. 18, grafu č. 43 a 44 lze vyčíst odpovědi respondentů z gymnázií a středních odborných škol na otázku, který typ rakoviny je spojován s dlouhodobou expozicí organismu účinkům ionizujícího záření z přírodních zdrojů. Správnou odpovědí na tuto otázku je radon vyskytující se ve vzduchu uvnitř budov v lokalitách s vysokým radonovým pozadím.

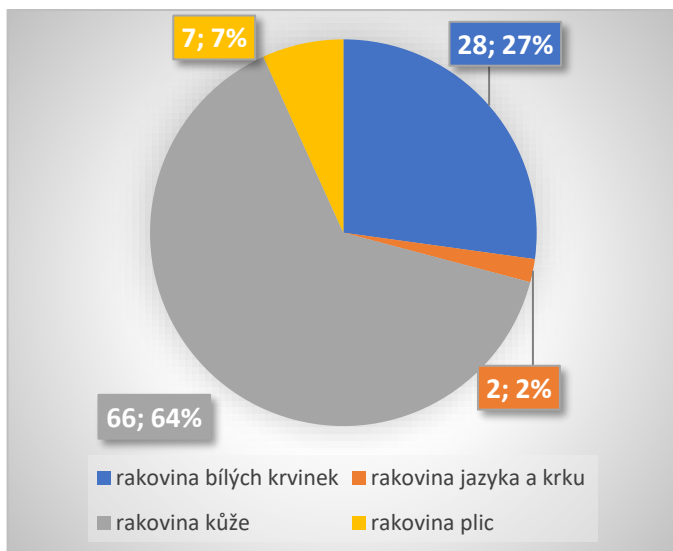
Mezi studenty gymnázií tuto odpověď správně zodpovědělo 7 studentů ze 103 (7 %). Většina respondentů z oslovených gymnázií nesprávně označila, že v souvislosti s dlouhodobým vystavením organismu ionizujícímu záření z přírodních zdrojů je hlášena větší incidence rakoviny kůže (66 respondentů, 64 %). Druhou nejčastěji označovanou odpovědí od studentů gymnázií je rakovina bílých krvinek (28 respondentů, 27 %).

Studenti středních odborných škol označili správnou odpověď ve 26 případech (10 %). 147 respondentů (60 %) z těchto škol uvedlo odpověď rakovina kůže a 63 respondentů (26 %) uvedlo odpověď rakovina bílých krvinek (leukemie).

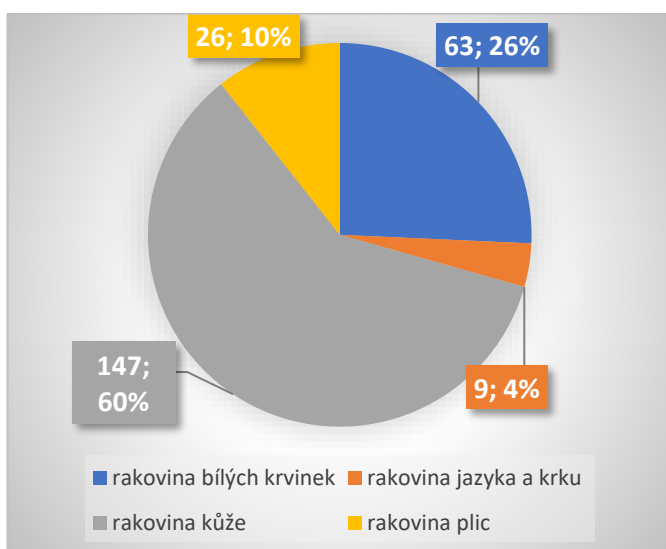
Ze všech 348 respondentů uvedlo správnou odpověď 33 respondentů.

Tabulka 18 Který typ rakoviny je spojován dlouhodobým vystavením organismu jeho účinkům podle studentů

	Rakovina bílých krvinek (leukemie)	Rakovina jazyka a krku	rakovina plic	rakovina kůže	Celkem
Průmyslová škola stavební	15	5	10	34	64
Odborná škola ekologická	8	0	2	23	33
Zdravotnická škola	40	4	14	90	148
Gymnázium	28	2	7	66	103
Celkem	91	11	33	213	348



Obrázek 43 Typ rakoviny spojený s dlouhodobou expozicí ionizujícímu záření z přírodních zdrojů podle studentů gymnázií



Obrázek 44 Typ rakoviny spojený s dlouhodobou expozicí ionizujícímu záření z přírodních zdrojů podle studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

4.1.19. Vyberte, která z následujících možností nespadá do principů radiační ochrany u radiačních pracovníků

V tabulce č. 19, grafech č. 45 a 46 jsou uvedeny odpovědi studentů gymnázií a středních odborných škol na otázku, co nepatří do principů radiační ochrany u radiačních pracovníků.

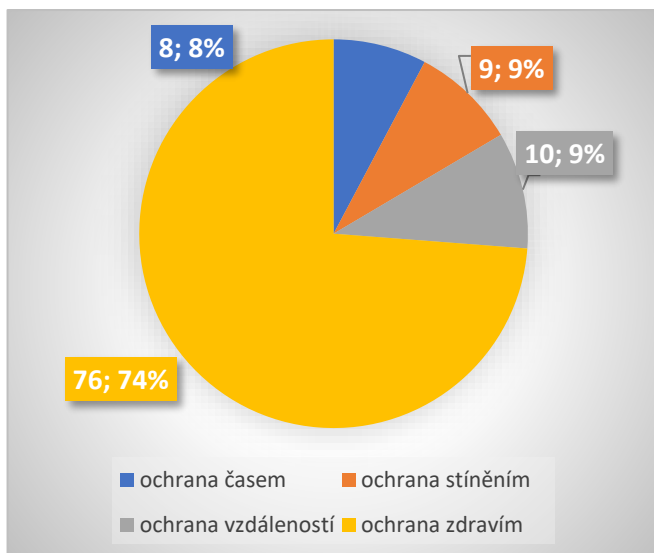
Do principů radiační ochrany nepatří ochrana zdravím, což správně odpovědělo 76 studentů gymnázií (74 %) správných odpovědí. Dalších 8 studentů uvedlo, že do principů radiační ochrany nespadá ochrana časem, 9 studentů označilo odpověď ochrana stíněním (9%) a 10 studentů označilo ochranu vzdáleností (9).

Ze středních odborných škol označilo správnou odpověď 157 respondentů (64 %). 34 respondentů (14 %) označilo, že do principů radiační ochrany nespadá ochrana stíněním, 32 respondentů nesprávně označilo odpověď ochrana časem a zbylých 22 respondentů (9 %) označilo jako odpověď na otázku, která z následujících možností nespadá do principů radiační ochrany u radiačních pracovníků ochrana vzdáleností.

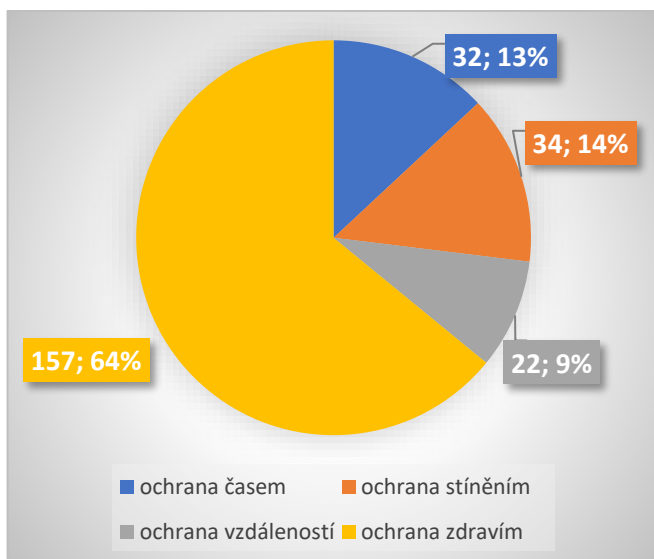
Z celkového počtu 348 respondentů označilo správnou odpověď 233 respondentů.

Tabulka 19 Která z následujících možností nespadá do principů radiační ochrany

	Ochrana časem - co největší redukce času stráveného poblíž radioaktivního materiálu	Ochrana zdravím - co nejsilnější imunitní systém subjektu ochrany při plánované expozici	Ochrana stíněním - použití překážky mezi zdrojem záření a subjektem ochrany	Ochrana vzdáleností - co největší vzdálenost mezi zdrojem záření a subjektem ochrany	Celkem
Průmyslová škola stavební	10	35	13	6	64
Odborná škola ekologická	2	25	1	5	33
Zdravotnická škola	20	97	20	11	148
Gymnázium	8	76	9	10	103
Celkem	40	233	43	32	348



Obrázek 45 Která z uvedených možností nespadá do principů radiační ochrany podle studentů gymnázií



Obrázek 46 Která z uvedených možností nespadá do principů radiační ochrany podle studentů středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

5. Diskuze

Ionizující záření je fyzikální faktor s širokým potenciálem pro lidské využití. Jeho vlastnosti jsou využívány v různých odvětvích. Velké uplatnění našlo ionizující záření například v energetice, průmyslu a lékařství. Navzdory jeho širokému využití může představovat velkou hrozbu pro lidské zdraví. Při vystavení organismu tomuto vysokoenergetickému záření nastává celá řada biochemických změn v buňkách, které vedou k jejich poškození a ke změně DNA (nositel genetické informace). Pokud k této změně dojde, mluvíme o takzvané mutaci, která se může projevit v podobě závažného onemocnění, jako jsou vrozené vady potomků nebo nádorová onemocnění exponovaných. K mutacím buněk může dojít již při malých dávkách záření, ale pravděpodobnost jejich vzniku stoupá s dávkou.

Největší dávky ozáření pro obyvatele pochází z radonu a lékařských zdrojů, především radiodiagnostiky. Radon, respektive jeho rozpadové produkty, jsou druhou nejčastější příčinou rakoviny plic, hned po kouření. Navíc díky zvýšenému radonovému pozadí se Česká republika řadí k zemím s největší koncentrací radonu v obydlích. Ozáření z lékařských zdrojů má v posledních dekádách zvyšující se tendenci, především v průmyslově rozvinutých zemích. Při některých lékařských vyšetřeních jsou těla pacientů ozářena nemalými dávkami ionizujícího záření, jehož negativní účinky se mohou projevit až v budoucích letech či dekádách. Ionizující záření z přírodních ani lékařských zdrojů se sice neřadí mezi nejnebezpečnější faktory ovlivňující lidské zdraví, ale za určitých okolností může způsobit vážné onemocnění. Je proto důležité, aby studenti středních škol, především se zaměřením na zdravotnictví a stavitelství, byli dostatečně informováni nejen o zdrojích a účincích ionizujícího záření, ale i o expozičních limitech, kterým člověk může být vystaven z přírodních nebo lékařských zdrojů.

První cíl práce, tedy strukturovaný rozhovor s vyučujícími fyziky na středních školách, proběhl přes telefonní hovor, ve dvou případech vyplněním dotazníku. Bohužel kvůli nepříznivé epidemické situaci nemohl proběhnout přímo z očí do očí, kdy by vyučující mohli komunikovat více uvolněně. Komunikace přes telefon probíhala ve většině případů stručně, bez toho, aby se vyučující nad položenými otázkami hlouběji zamysleli. Očekávání, že středoškolští učitelé nemají pro výuku o ionizujícím záření dostatečné množství podkladů, se podle rozhovoru nepotvrdily. Podle většiny vyučujících stačí pro tvorbu podkladů středoškolské učebnice, doplněné informacemi z internetových stránek. Podle několika vyučujících však může podklad, vytvořený na základě dotazníkového šetření, poskytnout cenné informace a po jeho vyhotovení prosili o zaslání. Strukturovaný rozhovor s vyučujícími dále poskytl cenné

informace o případné struktuře a skladbě otázek v dotazníkovém šetření a díky rozhovoru bylo možné na mentalitu mladých studentů středních škol pohlížet z větší perspektivy.

Druhým cílem diplomové práce je ověřit znalosti studentů středních škol ohledně tématu ionizujícího záření. Z tabulek uvedených ve výsledcích práce lze vyčíst skutečnosti týkající se nejen odpovědí na položené otázky, ale i charakteristiku respondentů. Za zmínku stojí, že z 348 respondentů na otázku, zda je zajímavá problematika ionizujícího záření, odpovědělo 72 % respondentů ano, ale tuto problematiku sami aktivně nevyhledávají. Z otázky č. 8 můžeme pozorovat, že z celkového počtu 348 respondentů 261 respondentů vidělo dokument nebo dokumentární sérii o havárii jaderné elektrárny. Tolik odpovědí na otázku potvrzuje zvědavost mladých lidí k tématu ionizujícího záření, i když spíše z hlediska jeho nebezpečnosti.

Dalším zjištěním je, že u otázky č. 6 „Probírali jste téma ionizujícího záření ve výuce fyziky?“ odpovědělo 90 respondentů odpověď ne, ale u otázky 7 „Kolik hodin ve vaší výuce bylo věnováno tématu ionizujícího záření?“ pouze 37 respondentů odpovědělo 0 hodin. To je přisuzováno skutečnosti, že zbylých 53 respondentů se o ionizujícím záření učilo pravděpodobně v jiných vyučovacích předmětech.

První dvě odborné otázky (9 a 10), „Co je radioaktivita“ a „Jaké záření nejvíce prostupuje materiálem nebo lidskou tkání“, bylo správně zodpovězeno 73 a 70 procenty respondentů. Na otázku, „Co je radioaktivita“, dokázalo podle Klusákové (2012) správně odpovědět i velké množství studentů základních škol. Následující otázka „Které záření má největší schopnost ionizace a je nejnebezpečnější z hlediska vnitřní kontaminace?“ byla zodpovězena správně pouze 29 % respondentů. Většina respondentů označila možnost gama záření. Na otázku „Který chemický prvek se používá na odstínění ionizujícího záření?“ správně odpovědělo 75 % respondentů, což téměř koresponduje s výsledky Berné (2017), která položila stejnou otázku. U otázky 13 „Ze kterých zdrojů pochází největší část ozáření?“ odpověděla správně z přírodních zdrojů největší skupina, čítající 45 %. Menší skupina čítající 38 % dotázaných odpověděla lékařské zdroje. Na skutečnost, že si mnoho lidí myslí, že největší část ozáření pochází z lékařských zdrojů, přišla ve své práci již Vaňková (2017). Ovšem je to částečně pravda, protože v rozvinutých zemích, se dávky ozáření z lékařských zdrojů vyrovnávají, nebo dokonce přesahují dávky pocházející ze zdrojů přírodních. Obecně uváděnou informací v České republice je, že největší část ozáření stále pochází z přírodních zdrojů. Dalším zajímavým zjištěním je fakt, že 20 % dotázaných označilo odpověď, že největší část ozáření pochází z radioaktivního spadu z havárií jaderných elektráren a provozu jaderných elektráren.

Na otázku č. 14 „Z jakého přírodního zdroje pochází největší část ozáření?“ správnou odpověď označilo jen 19 % respondentů, tedy odpověď ze vzduchu, tj. z radonu. Naopak nejvíce označovanou odpovědí bylo kosmické záření. Podíl těchto odpovědí nekorresponduje s výsledky Berné (2017), která zjistila, že většina respondentů má v povědomí spíše radon nacházející se ve vzduchu. Na otázku č. 15 „Do jaké vzdálenosti ionizující záření z jaderné elektrárny Černobyl ohrožuje obyvatele Evropy?“ správně odpovědělo 42 % dotázaných. Na otázku č. 16 „Co je to radon?“ správně odpovědělo 92 % respondentů. Na tuto otázku se ptala žáků základních škol i Klusáková (2012), také s dobrým výsledkem odpovědí studentů. Otázka č. 17 „Která z reakcí těla není přímo spojena s vystavením organismu velké dávce ionizujícího záření?“ byla správně zodpovězena v 64 % odpovědí. Otázka č. 18 zněla – „Jaký typ rakoviny je nejčastěji spojován s dlouhodobým působením škodlivých dávek ionizujícího záření z přírodních zdrojů?“ Správná odpověď, tedy rakovina plic, byla označena jen v 9 % odpovědí. Správná odpověď u poslední otázky týkající se principů radiační ochrany byla označena v 69% případech. Na principy radiační ochrany (otázka 19) se ptala i Berná (2017), také s většinovým podílem správných odpovědí.

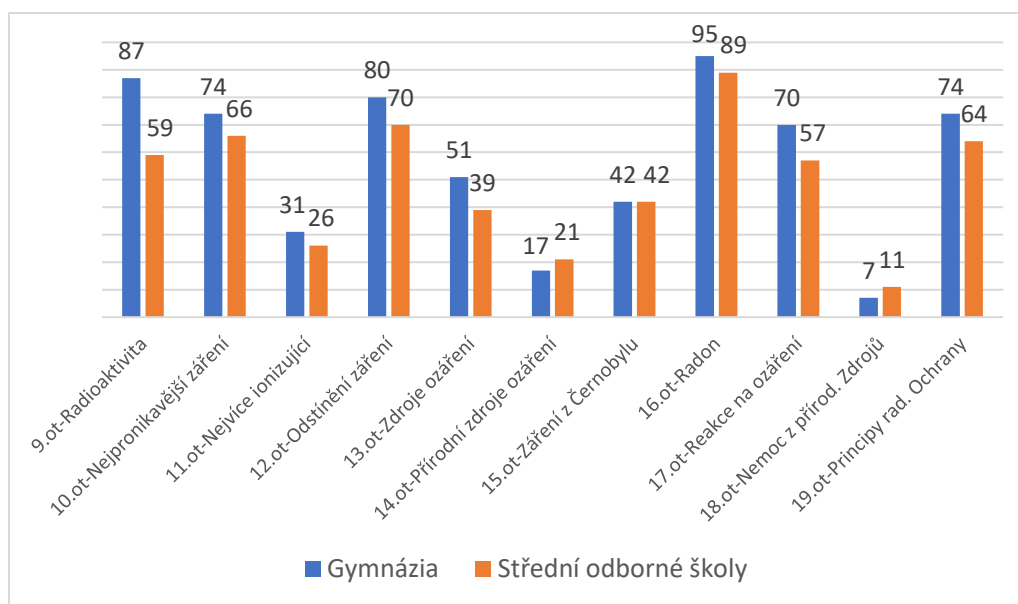
Průměr správných odpovědí z celkového počtu jedenácti otázek činil 53,3 %, což je překvapivě malé číslo. U pěti otázek z jedenácti se nacházel menšinový podíl správných odpovědí, tedy méně než 50 %. Velmi dobře, tedy nad 90 %, byla zodpovězena pouze otázka „Co je to radon?“ Na tuto otázku správně odpovědělo 92 % respondentů. Správnost odpovědí však nemusí souviset s výukou fyziky, protože radon je známý chemický prvek, o kterém se mluví při výuce chemie. Druhá nejčastěji správně zodpovídaná otázka „Který chemický prvek se používá na odstínění pronikavého ionizujícího záření?“ byla správně zodpovězena 75 % respondentů. Odpověď na tuto otázku je ovšem všeobecně známá. Podle dosaženého výsledku lze usoudit, že znalosti studentů zkoumaných středních škol ohledně tématu ionizujícího záření jsou spíše povrchní a studentům chybí ucelené informace z komplexní výuky o ionizujícím záření. Toto tvrzení pouze podle výsledků studentů však nemusí být zcela pravdivé. Podle statistiky získané ze stránky Survio, kde byl dotazník vyhotoven, odeslán a následně i vyhodnocen, lze vyvodit i jiný závěr, než nedostatečná informovanost studentů. Otázky v dotazníku byly vytvářeny tak, aby nezávisely pouze na vědomostech respondentů, ale aby otestovaly i jejich logické myšlení. Některé otázky tedy bylo možné správně odpovědět i po hlubším zamyšlení. Zde je možné zařadit statistiku ze stránky Survio, která vypovídá o čase, který studenti středních škol strávili nad vyplňováním dotazníku. Nejvíce respondentů (46 %) strávilo nad otázkami 5-10 minut, což je adekvátní čas na zodpovězení správných odpovědí. Druhý největší počet respondentů (38 %) podle statistiky vyplňováním dotazníku strávilo od 1 do 5 minut, což je nedostačující čas na

hlubší zamyšlení se nad 11 odbornými otázkami. Z této statistiky je možné vyvodit závěr, že 53% úspěšnost vyplnění dotazníku je ovlivněna nejen znalostmi studentů, ale i nedostatečnou pozorností při jeho vyplňování.

Dalším cílem diplomové práce bylo porovnat znalosti o ionizujícím záření mezi studenty středních odborných škol a gymnázií. Zde byla položena výzkumná otázka, zda jsou studenti středních odborných škol vzhledem ke svému zaměření lépe informačně vybaveni o tématu ionizujícího záření než studenti obecných gymnázií, kteří nemají žádné odborné zaměření.

Graf č. 37 zobrazuje procentuální správnost odpovědí studentů gymnázií a středních odborných škol na jednotlivé odborné otázky. Z tohoto grafu lze vyčíst, že studenti zkoumaných středních odborných škol označovali, až na dvě otázky (otázky číslo 14 přírodní zdroje ozáření a 18 rakovina z přírodních zdrojů záření) více nesprávných odpovědí, než studenti gymnázií. Co se týče celkového procentuálního porovnání, studenti středních odborných škol na otázky správně odpovídali v 50 % případů, zatímco studenti gymnázií na stejné otázky odpovídali s 57% úspěšností. Tyto výsledky vyvrací původní předpoklad, že studenti středních odborných škol jsou vzhledem ke svému zaměření lépe vybaveni znalostmi o ionizujícím záření, než studenti obecných gymnázií bez odborného zaměření.

Překvapivě vyšší procentuální úspěšnost odpovědí studentů gymnázií nemusí souviset s kvalitou nebo rozsahem výuky o ionizujícím záření, protože více než jedna třetina studentů gymnázií uvedla, že téma ionizujícího záření nebylo vůbec probíráno při jejich výuce fyziky. Procentuálně vyšší počet správných odpovědí studentů gymnázií tedy může více souviset s lepším logickým uvažováním, než kterým disponují studenti středních odborných škol.



Obrázek 47 Porovnání správných odpovědí studentů gymnázií a středních odborných škol

Zdroje: Vlastní zpracování

Pro větší perspektivu byla provedena analýza odpovědí ze středních odborných škol. Z této analýzy vyplynulo, že procentuálně největší počet správných odpovědí přišlo ze střední odborné školy ekologické, ve které respondenti odpovídali správně v 53 % případů. Studenti středních průmyslových stavebních škol odpovídali správně v 51 % případů a nejméně správných odpovědí přicházelo ze zdravotních škol, kde bylo v průměru 47 % správných odpovědí na jednotlivé otázky.

Hlavním cílem této práce je sepsání volně dostupných informací o ionizujícím záření do uceleného textu, který bude sloužit jako podklad nebo podpora pro výuku středoškolských učitelů fyziky ohledně tohoto tématu. Dále bude materiál přístupný pro laickou veřejnost a bude sloužit například studentům pro tvorbu seminárních prací.

6. Závěr

Jedním z cílů práce bylo zhodnotit přístup k informacím o ionizujícím záření středoškolskými učiteli pomocí strukturovaného rozhovoru. K provedení strukturovaného rozhovoru svolilo osm učitelů fyziky na oslovených středních školách. Tento rozhovor byl hlavním směrodatným faktorem pro tvorbu dotazníkových otázek a poskytl informace o dostupnosti informací tématu ionizujícího záření na internetových stránkách. Rozhovor poskytl zajímavé informace, z nichž nejpodstatnější je, že původní predikce, tedy absence kvalitního internetového zdroje informací, je mylná. Většina oslovených středoškolských učitelů informace čerpá z učebnic a internet používají jen k doplnění některých informací. Internet je navíc podle nich dobrým zdrojem informací o tématu ionizujícího záření.

Zhodnocení stavu znalostí tohoto tématu proběhlo dotazníkovým šetřením, kterého se účastnilo celkem 348 studentů ze čtyř typů středních škol. Jednalo se o gymnázia (103 vyplněných dotazníků), dále střední zdravotní školy (148 vyplněných dotazníků), střední průmyslové školy stavební (64 dotazníků) a jedna ekologická škola (33 vyplněných dotazníků). Dotazník čítal celkem 19 otázek, z toho 8 otázek bylo zaměřeno na obecné otázky určující charakter respondentů a jejich vztah k tématu ionizujícího záření. Z obecných otázek bylo zjištěno, že z celkového počtu 348 respondentů se v 66 % jednalo o ženy. Dalším zjištěným faktem je, že 70 % respondentů dosahovalo věku 18 a 19 let. Zájem o toto téma projevil 71 % respondentů a zajímavou skutečností je, že 77 % oslovených respondentů vidělo dokument nebo dokumentární sérii o havárii jaderné elektrárny.

Dalším z cílů práce bylo zjistit, do jaké míry jsou žáci středních škol vybaveni znalostmi o ionizujícím záření. 11 otázek ve vytvořeném dotazníku bylo věnováno odbornosti související s tímto fyzikálním faktorem. Výstupní hodnotou z vyplněných dotazníků jsou celá čísla, a z nich odvozená procenta. Prosté hodnoty, grafy a tabulky z nich vytvořené se nacházejí ve výsledkové části práce. Konečnou, rozhodující hodnotou je celkové procento správných odpovědí respondentů. V práci bylo zjištěno, že studenti na odborné otázky odpovídali průměrně s 53% úspěšností.

Dalším cílem práce bylo porovnat znalosti studentů tří vybraných středních odborných škol a studentů gymnázií. Byla stanovena výzkumná otázka, zda jsou žáci středních odborných škol vzhledem ke svému odbornému zaměření lépe informováni ohledně tématu ionizujícího záření než studenti obecných gymnázií bez odborného zaměření. Tato hypotéza byla výzkumným šetřením vyvrácena, neboť studenti gymnázií dosáhli u většiny odborných otázek lepších výsledků, než studenti středních odborných škol. Z 11 odborných otázek byl proveden průměr správnosti odpovědí, který potvrzuje nepravdivost stanovené výzkumné otázky. Při něm bylo zjištěno, že studenti gymnázií odpovídali s 57% přesností na jednotlivé odborné otázky, zatímco studenti středních odborných škol na tyto otázky odpovídali jen s 50% přesností.

Hlavním cílem práce bylo sepsání volně přístupného materiálu o ionizujícím záření, který může sloužit jako podklad pro výuku středoškolským učitelům fyziky, radiologie, popřípadě biologie. Tento volně přístupný materiál může sloužit i studentům, kteří mají zájem o téma ionizujícího záření, nebo jej například využijí pro zpracování seminárních prací. Celý tento edukační materiál je volně přístupný na webových stránkách ústavu radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva Jihočeské univerzity. Celý text tohoto podkladu se nachází v příloze číslo 4.

7. Seznam literatury

1. BEDNAŘÍKOVÁ, H, 2006. *Stavba atomu: Investice do rozvoje vzdělávání* [online]. Kyjov: Střední škola automobilní Kyjov [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: http://www.sossoukyjov.cz/data/file/Chemie/VY_32_INOVACE_2c%20CHSOU/VY_32_INOVACE_2006.pdf
2. BERNÁ, L., 2017. *Radiační zátěž ve zdravotnictví*. Pardubice. Bakalářská práce. Fakulta zdravotnických studií Univerzity Pardubice.
3. ARPANSA, 2021. Beta particles. *Arpansa.gov.at* [online]. [cit. 2020-12-19]. Dostupné z: <https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/ionising-radiation/beta-particles>
4. BÍLÍK, A., 2006. *Rozpadový zákon, rozpadová konstanta, poločas rozpadu* [online]. Praha: Gymnázium Na Vítězné pláni [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:EqLH-csbMBUJ:www.gvp.cz/~vondrackova/VEREJNE/Chemie/Radioaktivita/H-08%2520-%2520Rozpadov%25C3%25BD%2520z%25C3%25A1kon.ppt+&cd=6&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>
5. BŘEŠŤAN, R., 2011. Pozůstatky černobylské katastrofy: Radioaktivita je stále v nás. In: *Ekonom.cz* [online]. 20. 4. 2011 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://ekonom.cz/c1-51632260-pozustatky-cernobylske-katastrofy-radioaktivita-je-stale-v-nas>
6. COTHERN, C. R., SMITH, J. E., eds., 1987. *Environmental Radon* [online]. Boston, MA: Springer US [cit. 2021-01-18]. ISBN 978-1-4899-0475-1. Dostupné z: [doi:10.1007/978-1-4899-0473-7](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0473-7)
7. DARTNELL, L. R., 2011. Ionizing Radiation and Life. *Astrobiology* [online]. 11(6), 551-582 [cit. 2020-12-19]. ISSN 1531-1074. Dostupné z: <https://doi.org/10.1089/ast.2010.0528>

8. DAVÍDKOVÁ, M., 2018. *Biologické účinky nízkých dávek ionizujícího záření*. [online]. Praha: Ústav jaderné fyziky AV ČR [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: https://indico.cern.ch/event/609505/contributions/2517612/attachments/1448176/2231955/Biologicke_ucinky_IZ.pdf
9. SÚJB, 2020. *Domy postavené ze stavebního materiálu se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů: Staré zátěže – stavební materiál* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/Letak-Domy-typu-START-1.pdf>
10. EDWARDS, A. A. a D. C. LLOYD, 1998. Risks from ionising radiation: deterministic effects. *Journal of Radiological Protection* [online]. 18(3), 175-183 [cit. 2020-12-23]. ISSN 0952-4746. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/0952-4746/18/3/004>
11. EICHLER, M., 2020. Neionizující záření: zdroje neionizujícího záření. In: *Guard7.cz* [online]. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: <https://www.guard7.cz/neionizujici-zareni>
12. ELUC, 2020. Elektromagnetické záření: Definice elektromagnetického záření. *Eluc.kr-olomucky.cz* [online]. [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2518>
13. GOLISOVÁ, J., KRAFT, O., 2010. Management péče o zaměstnance ve zdravotnických pracovištích s ionizujícím zářením. *Cor et Vasa* [online]. 52(9), 564–567 [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: <http://www.e-coretvasa.cz/pdfs/cor/2010/09/16.pdf>
14. GUPTA, S., SHYAM SHARMA, R., SINGH, R., 2020. Non-ionizing radiation as possible carcinogen. *International Journal of Environmental Health Research* [online]. [cit. 2020-11-14]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1806212>
15. HÁJEK, Z., MACEK, M., KULOVANÝ, E., 2000. *Základy prenatální diagnostiky*. 1. vyd. Praha: Grada. 423 s. ISBN 80-7169-391-x.

16. HORÁKOVÁ, M., 2007. *Nejvýznamnější radionuklidy při havárii jaderné elektrárny, zkušenosti z Černobyli*. České Budějovice. Diplomová práce. ZSF JU.
17. FORO NUCLEAR, 2021. How does a nuclear reaction take place. *Foronuclear.org* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.foronuclear.org/en/nuclear-power/questions-and-answers/on-nuclear-power/how-does-a-nuclear-reaction-take-place/>
18. HOWELL, E., 2018. What Are Cosmic Rays? In: *Space.com* [online]. 11. 5. 2018 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.space.com/32644-cosmic-rays.html>
19. Elektromagnetické spektrum, 2020. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum
20. CHVÁTALOVÁ, B., BROUNKOVÁ, D., 2018. *Pravidla radiační ochrany: příručka k e-learning kurzu* [online]. Praha: ČEZ [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/skoleni/kp/pravidla_ro-prirucka_e-kurzu.pdf
21. Ionizace: Popis procesu, 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ionizace>
22. ENCYCLOPEADIA BRITANNICA, 2018. Ionization: chemistry and physics. In: *Britannica.com* [online]. 31. 5. 2018 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/ionization>
23. JOHN MONASH SCIENCE SCHOOL, 2020. Ionizing and Non-Ionizing: radiation and the body. *Jmss.vic.edu.au* [online]. [cit. 2020-12-19]. Dostupné z: <https://sites.google.com/a/jmss.vic.edu.au/how-radiation-is-used-to-maintain-human-health/radiation-and-the-body/ionizing-vs-non-ionizing>
24. WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016. Ionizing radiation, health effects and protective measures. In: *Who.int* [online]. 29. 4. 2016 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z:

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>

25. UNEP, 2016. IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ ÚČINKY a ZDROJE [online]. Praha: Program OSN pro ochranu životního prostředí [cit. 2021-02-01]. ISBN 978-92-807-3600-7. Dostupné z: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CE3qHqpONGEJ:https://www.kraj-jihocesky.cz/ku_file/152481/0+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz

26. ZŠ BRATRŘÍ FRICŮ ONDŘEJOV, 2019. *Jaderná reakce: řetězová reakce* [online]. Ondřejov: ZŠ Bratří Fričů Ondřejov [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: http://www.zsondrejov.cz/Vyuka/F-9H/Jaderna_04.pdf

27. KLUSÁKOVÁ, L., 2012. *Srovnání znalostí žáků základních škol na modelovém tématu: Radon v horninovém prostředí*. Brno. Diplomová práce. PF MU.

28. KOTAS, J., 2017. Radioaktivita ve vodách a nový Atomový zákon. In: *Voda.tzb-info.cz* [online]. 30. 10. 2017 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/16488-radioaktivita-ve-vodach-a-novy-atomovy-zakon>

29. KRÁLOVÁ, M., 2020. Záření gama. In: *Edu.techmania.cz* [online]. 14. 4. 2020 [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/prirozena-radioaktivita/zareni-gama>

30. KRÁLOVÁ, M., 2021. Rozpadové řady. In: *Edu.techmania.cz* [online]. 11. 1. 2021 [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/prirozena-radioaktivita/rozpadove-rady>

31. KRÁLOVÁ, M., 2020. Rozpadový zákon. In: *Edu.techmania.cz* [online]. 13. 3. 2020 [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/prirozena-radioaktivita/rozpadovy-zakon>

32. KRÁLOVÁ, M., 2020. Zdroje radioaktivního záření. In: *Edu.techmania.cz* [online]. 7. 6. 2020 [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/detekce-ionizujiciho-zareni/zdroje-radioaktivniho-zareni>

33. KUSALA, J., 2020. Jaderné reakce. In: *Cez.cz* [online]. 14. 5. 2020 [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k31.htm>
34. L'ANNUNZIATA, M. F., 2007. Alpha Radiation. *Radioactivity* [online]. 71-84 [cit. 2020-12-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-044452715-8.50004-9>
35. STÁTNÍ ÚSTAV RADIČNÍ OCHRANY, 2021. Lékařské ozáření. *Suro.cz* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/lekarske>
36. LINDA, T., 2006. *ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ POZITIVNÍ A NEGATIVNÍ PŮSOBENÍ NA ZDRAVÍ, MOŽNOSTI OCHRANY*. Praha. Diplomová práce. 3. LF UK.
37. LIN, E. C., 2010. Radiation Risk From Medical Imaging. *Mayo Clinic Proceedings* [online]. 85(12), 1142-1146 [cit. 2020-12-31]. ISSN 00256196. Dostupné z: <https://doi.org/10.4065/mcp.2010.0260>
38. MALÁTOVÁ, I., 2017. Ionizující záření. In: *Bozpprofi.cz* [online]. 29. 3. 2017 [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://www.bozpprofi.cz/33/ionizujici-zareni-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EmKIJeLtbKh6UiZwSaonKLz2ZspOsA8wwA/>
39. MAZANCOVÁ, M., 2019. Radon a ochrana před ním. In: *Ceskestavby.cz* [online]. 5. 6. 2019 [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/radon-a-ochrana-pred-nim-27034.html>
40. MORNSTEIN, V., 2018. *Biologické účinky ionizujícího záření* [online]. Brno: LF MU [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://www.med.muni.cz/biofyz/files/ucebnice/Biol_ucinky_zar.pdf
41. MURPHY, A. et al., 2020. Deterministic effects. In: *Radiopaedia.org* [online]. 2. 12. 2020 [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: <https://radiopaedia.org/articles/deterministic-effects>
42. FN MOTOL, 2020. Obecné informace o radioaktivitě a radiační ochraně: Lékařské ozáření. *Fnmotol.cz* [online]. [cit. 2020-12-31]. Dostupné z:

<http://www.fnmotol.cz/kliniky-a-oddeleni/cast-pro-dospele/klinika-nuklearni-mediciny-a-endokrinologie-uk-2-l/oddeleni-radiologicke-fyziky/obecne-informace-o-radioaktivite-a-radiacni-ochran/>

43. PATIL, M., 2020. *Radioactivity–Kinetics and Units* [online]. [cit. 2021-01-21]. Dostupné:<http://studymaterial.unipune.ac.in:8080/jspui/bitstream/123456789/7220/1/Radioactivity%20-%20Kinetics%20and%20units%20%20Patil%20M.pdf>

44. POJAR, P., 2016. Proč se bát radonu a gama záření. In: *Ceskestavby.cz* [online]. 11. 1. 2016 [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/proc-se-bat-radonu-a-gama-zareni-24318.html>

45. INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION, 2020. Principles for Non-Ionizing Radiation Protection. *Health Physics* [online]. 118(5), 477-482 [cit. 2020-11-14]. ISSN 0017-9078. Dostupné z: [doi:10.1097/HP.0000000000001252](https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001252)

46. ČERNOBYL, 2012. Radiální dávky: Černobylská havárie. In: *Chernobylzone.cz* [online]. 21. 11. 2012 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://chernobylzone.cz/radiacni-davky/>

47. RADIOACTIVITY.EU.COM, 2021. Radioactive Half-life: The half-life determines how quickly a radioisotope decays. *Radioactivity.eu.com* [online]. [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Radioactive_Half_life.htm

48. ENI, 2013. Radioactivity and man: How is radioactivity measured? *Eniscuola.net* [online]. [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: http://www.eniscuola.net/wp-content/uploads/2013/11/migrazione/assets/7015/pdf_nuclear_4.pdf

49. ARPANSA, 2021. Radioactivity: What causes atoms to be radioactive?. *Arpansa.gov.au* [online]. [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: <https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/ionising-radiation/radioactivity>

50. REICHL, J., VŠETIČKA, M., 2006. Vazebná energie jádra. In: *Fyzika.jreichl.com* [online]. 12. 10. 2006 [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/799-vazebna-energie-jadra>
51. REICHL, J., VŠETIČKA, M., 2008. Rozpadové řady. In: *Fyzika.jreichl.com* [online]. 24. 9. 2008 [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/809-rozpadove-rady>
52. REICHL, J., VŠETIČKA, M., 2008. Umělá radioaktivita. In: *Fyzika.jreichl.com* [online]. 24. 9. 2008 [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/810-umela-radioaktivita>
53. VÝZKUMNÝ ÚSTAV BEZPEČNOSTI PRÁCE, 2021. Rizikové faktory: Ionizující záření. *Zsbozp.vubp.cz* [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/rizikove-faktory/136-fyzikalni-faktory/ionizace-ovzdusi/228-ionizujici-zareni>
54. ŘÍHA, J. et al., 2013. Možnosti využití nedestruktivních analýz na bázi RTG záření v archeologii. *Antropowebzin* [online]. 3, 111–119 [cit. 2020-12-21]. ISSN 1801–8807. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/6797/1/Riha.pdf>
55. SAMET, J. M., 1989. Radon and Lung Cancer. *JNCI Journal of the National Cancer Institute* [online]. 81(10), 745-758 [cit. 2021-01-18]. ISSN 0027-8874. Dostupné z: [doi:10.1093/jnci/81.10.745](https://doi.org/10.1093/jnci/81.10.745)
56. SÚJB, 2020. Stručný přehled biologických účinků záření. *Sujb.cz* [online]. [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickyh-ucinku-zareni/>
57. SÚKUPOVÁ, L., 2014. Stochastické účinky ozáření. In: *Sukupova.cz* [online]. 28. 7. 2014 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/stochasticke-ucinky-ozareni/>
58. SYTAŘOVÁ, I., 2006. Výročí Černobylu. In: *Muni.cz* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.physics.muni.cz/~blazkova/clanky/cernobyl.htm>

59. TZORTZIS, M. et al., 2003. Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used natural tiling rocks (granites). *Journal of Environmental Radioactivity* [online]. 70(3), 223-235 [cit. 2020-12-25]. ISSN 0265931X. Dostupné z: doi:10.1016/S0265-931X(03)00106-1
60. ULLMANN, V., 2018. Ionizující záření: Ionizace a excitace. In: *Astronuklfyzika.cz* [online]. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm>
61. STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY, 2020. Usměrnování lékařského ozáření: *Suro.cz* [online]. [cit. 2020-12-31]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/usmernovani-lekarskeho-ozareni>
62. VAŇKOVÁ, J., 2017. *Analýza současných poznatků o vlivu malých radiačních dávek na lidský organismus*. Kladno. Diplomová práce. FBI ČVUT V PRAZE.
63. ČEZ, 2020. Vznik rentgenového záření. *Cez.cz* [online]. [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k21.htm#z>
64. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2015. What is Radiation? The Electromagnetic Spectrum. *Cdc.gov* [online]. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/spectrum.html>
65. ACHRE REPORT, 2020. What Is Radioactivity? *Ehss.energy.gov* [online]. [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: https://ehss.energy.gov/ohre/roadmap/achre/intro_9_2.html
66. *Základy radiační ochrany: doplňkové texty pro posluchače kombinované formy studia studijního programu „Ochrana obyvatelstva“*, 2007. [online]. ZSF JU. [cit. 2020-11-17]. Dostupné také z: https://www.zsf.jcu.cz/cs/ustavy/ustav-radiologie-toxikologie-a-ochrany-obyvatelstva/informace-pro-studenty/ucebni-texty/ochrana-obyvatelstva-se-zamerenim-na-cbrne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/zaklady-radiacni-ochrany/at_download/file

67. ŽEJDLÍKOVÁ, Z., 2020. *Atom* [online]. Chrast: ZŠ Chrast [cit. 2021-01-20].
Dostupné z: <http://zejdlikova.skola-chrast.net/fyzika-7/atom>

2.

8. Seznam obrázků

Obrázek 1	Struktura atomu	12
Obrázek 2	Linie stability jader	14
Obrázek 3	Poločas rozpadu radionuklidu	16
Obrázek 4	Elektromagnetické spektrum a vlnová délka	20
Obrázek 5	Spektrum elektromagnetického záření	23
Obrázek 6	Radioaktivní spad cesia po výbuchu jaderné elektrárny Černobyl	34
Obrázek 7	Podíl ozáření (v mSv) průměrného obyvatele ČR v roce 1986.....	35
Obrázek 8	Radiační dávky při lékařských výkonech a porovnání s několika rizikovými faktory	37
Obrázek 9	Průměrná efektivní dávka obyvatel USA z roku 2007.....	38
Obrázek 10	Mapa radonového indexu podloží.....	40
Obrázek 11	Označte, kterou střední školu studujete	48
Obrázek 12	Věk respondentů z gymnázií.....	50
Obrázek 13	Věk respondentů ze středních odborných škol.....	50
Obrázek 14	Ročník studia respondentů z gymnázií	52
Obrázek 15	Ročník studia respondentů ze středních odborných škol	52
Obrázek 16	Pohlaví respondentů z gymnázií	54
Obrázek 17	Pohlaví respondentů ze středních odborných škol	54
Obrázek 18	Zájem o téma ionizujícího záření u studentů gymnázií.....	56
Obrázek 19	Zájem studentů o téma ionizujícího záření u studentů středních odborných škol	56
Obrázek 20	Téma ionizujícího záření při výuce fyziky u studentů gymnázií	58
Obrázek 21	Téma ionizujícího záření při výuce fyziky u studentů středních odborných škol	58
Obrázek 22	Počet vyučovacích hodin věnovaných tématu u studentů gymnázií.....	60
Obrázek 23	Počet vyučovacích hodin věnovaných tématu u studentů středních odborných škol	60
Obrázek 24	Popularita dokumentů o ionizujícím záření u všech respondentů středních škol	61
Obrázek 25	Odpovědi studentů gymnázií na otázku, co je to radioaktivita	63
Obrázek 26	Odpovědi studentů středních odborných škol na otázku, co je to radioaktivita	63
Obrázek 27	Odpovědi studentů gymnázií na otázku, které záření je nejpronikavější.....	65

Obrázek 28 Odpovědi studentů středních odborných škol na otázku, které záření je nejpronikavější	65
Obrázek 29 Které záření má největší schopnost ionizace podle studentů gymnázií	67
Obrázek 30 Které záření má největší schopnost ionizace podle studentů středních odborných škol	67
Obrázek 31 Který chemický prvek se používá na odstínění IZ podle studentů gymnázií	69
Obrázek 32 Který chemický prvek se používá na odstínění IZ podle studentů středních odborných škol	69
Obrázek 33 Z jakých zdrojů pochází největší část ozáření podle studentů gymnázií	71
Obrázek 34 Z jakých zdrojů pochází největší část ozáření podle studentů středních odborných škol	71
Obrázek 35 Z jakých přírodních zdrojů pochází největší část ozáření podle studentů z gymnázií	73
Obrázek 36 Z jakých přírodních zdrojů pochází největší část ozáření pro obyvatele podle studentů středních odborných škol	73
Obrázek 37 Do jaké vzdálenosti následky jaderné havárie Černobyl ohrožují obyvatele Evropy podle studentů gymnázií	75
Obrázek 38 Do jaké vzdálenosti následky jaderné havárie Černobyl ohrožují obyvatele Evropy podle studentů středních odborných škol	75
Obrázek 39 Co je radon podle studentů gymnázií	77
Obrázek 40 Co je radon podle studentů středních odborných škol	77
Obrázek 41 Která reakce organismu není spojena s jeho expozicí ionizujícímu záření podle studentů gymnázií	79
Obrázek 42 Která reakce organismu není spojena s jeho expozicí podle studentů středních odborných škol	79
Obrázek 43 Typ rakoviny spojený s dlouhodobou expozicí ionizujícímu záření z přírodních zdrojů podle studentů gymnázií	81
Obrázek 44 Typ rakoviny spojený s dlouhodobou expozicí ionizujícímu záření z přírodních zdrojů podle studentů středních odborných škol	81
Obrázek 45 Která z uvedených možností nespadá do principů radiační ochrany podle studentů gymnázií	83
Obrázek 46 Která z uvedených možností nespadá do principů radiační ochrany podle studentů středních odborných škol	83

Obrázek 47 Porovnání procentualně správných odpovědí studentů gymnázií a středních odborných škol	88
---	----

9. Seznam tabulek

Tabulka 1 Označte, kterou střední školu studujete	48
Tabulka 2 Věk respondentů	49
Tabulka 3 Ročník studia respondentů	51
Tabulka 4 Pohlaví respondentů	53
Tabulka 5 Zájem respondentů o téma ionizujícího záření	55
Tabulka 6 Téma ionizujícího záření při výuce fyziky	57
Tabulka 7 Počet vyučovacích hodin věnovaných tématu ionizujícího záření	59
Tabulka 8 Popularita dokumentů o ionizujícím záření	61
Tabulka 9 Odpovědi respondentů na otázku, co je to radioaktivita	62
Tabulka 10 Nejpronikavější typ záření podle respondentů	64
Tabulka 11 Který typ záření má největší schopnost ionizace podle respondentů	66
Tabulka 12 Který chemický prvek se používá na odstínění ionizujícího záření podle respondentů	68
Tabulka 13 Z jakých uvedených zdrojů pochází největší část ozáření podle respondentů	70
Tabulka 14 Z jakých přírodních zdrojů pochází největší část ozáření pro obyvatele	72
Tabulka 15 Do jaké vzdálenosti následky jaderné havárie Černobyl ohrožují obyvatele Evropy	74
Tabulka 16 Co je radon podle studentů středních škol	76
Tabulka 17 Která reakce organismu není spojena s jeho expozicí ionizujícímu záření ...	78
Tabulka 18 Který typ rakoviny je spojován dlouhodobým vystavením organismu jeho účinkům podle studentů	80
Tabulka 19 Která z následujících možností nespadá do principů radiační ochrany	82

10. Seznam příloh

Příloha 1: Otázky pro vyučující, odpovědi

Příloha 2: Prosba studentům středních škol o vyplnění dotazníku

Příloha 3: Plné znění otázek v dotazníku, možnosti odpovědí

Příloha 4: Edukační materiál pro učitele středních škol

11. Použité zkratky

IZ = ionizující záření

Sv = milisievert (jednotka ekvivalentní dávky ionizujícího záření)

Bq = becquerel (jednotka aktivity radionuklidu)

Gy = gray (jednotka absorbované dávky záření)

UV = ultrafialové záření

CT = výpočetní tomografie

RTG = rentgen

12. Přílohy

Příloha 1: Otázky pro vyučující, odpovědi

Odpovědi vyučujících jsou rozděleny do dvou sekcí, podle způsobu poskytnutí informací na odpovědi poskytnuté telefonním hovorem a přes dotazník. Dotazník byl zaslán přes internetovou službu Survio, kde odpovědi byly předem nastaveny, vyučujícím stačilo odpovědi zakliknout. Telefonické odpovědi jsou zde zapsány tak, jak byly zaznamenány při rozhovoru.

1. Vyučujete na gymnáziu, nebo střední odborné škole s maturitou?

Telefonický hovor

Střední škola – 4x

Gymnázium – 2x

Dotazník

Střední škola – 1x

Gymnázium – 1x

2. Jaké informační zdroje používáte při přípravě podkladů výuky o ionizujícím záření?

Telefonní hovor

- Učebnice, Wikipedia
- Učebnice, naučná videa na YouTube, internetové stránky
- Vysokoškolská skripta, kolegové vyučující stejný předmět, učebnice, internet
- Učebnice, internet
- Skripta z vysokých škol, internet, naučná videa
- Učebnice, internet

Dotazník

- Učebnice, internetové stránky, naučná videa, odborné časopisy
- Učebnice, internetové stránky, naučná videa

Jsou školní učebnice dostačující při tvorbě podkladu výuky o ionizujícím záření?

Telefonní hovor

- Používá učebnice, ale informace doplňuje i z jiných zdrojů
- Informace jsou dostačující z učebnic, ale pouští žákům naučná videa
- Učebnice stačí, ale informace doplňuje i z internetu
- Informace jsou dostačující z učebnic
- Informace z učebnic stačí, ale nenachází se v nich všechny důležité informace

- f) Pro větší rozhled používá internet

Dotazník

- a) Učebnice jsou dostačující, ale informace doplňuji i z jiných zdrojů
b) Učebnice jsou dostačující, ale informace doplňuji i z jiných zdrojů

Je náročné vyhledávat na internetu ověřené webové stránky o ionizujícím záření?

Telefonní hovor

- a) Záleží na hloubce probíraného tématu, používá i neověřené zdroje (wiki)
b) Používá i neověřené zdroje, výukové portály (vyhledávání zabere 5 minut)
c) Používá ověřené zdroje, už ví, které stránky použít
d) Vyhledává především obrázky na Googlu, informace moc ne
e) Používá i neověřené zdroje, vyhledávání je jednoduché
f) Používá wikipedii a naučná videa

Dotazník

- a) Vyhledávání je jednoduché, nezabere více než 10 minut
b) Vyhledávání je jednoduché, nezabere více než 10 minut

Co si většinou vaši žáci jako první vybaví při vašem výkladu o ionizujícím záření?

Telefonní hovor

- a) Z médií nejvíce slyší o jaderných haváriích a zkouškách jaderných bomb – výročí výbuchu Černobylu a Fukušimy, takže jaderná havárie a použití jaderných bomb
b) Jadernou elektrárnu
c) Především havárie jaderných elektráren
d) Radon a havárie jaderných elektráren
e) Nehody a používání jaderných bomb
f) Neví, spíše věci jako je jaderná havárie

Dotazník

- a) Jadernou havárii
b) Jadernou elektrárnu

Běžný člověk na planetě přijímá 3mSv efektivní dávky záření ročně. Z jakých zdrojů si podle vás vaši žáci myslí, že přijímají největší část záření?

Telefonní hovor

- a) Asi spadá z jaderných elektráren a zkušek jaderných zbraní, že spadá stále cirkuluje
- b) Z havárií jaderných elektráren, z odpadu z jaderných elektráren
- c) Nevím
- d) Spadá z havárie jaderné elektrárny
- e) Ze spadu z nehod jaderných elektráren
- f) Neví

Dotazník

- a) Z přírodních zdrojů (gama záření, kosmické záření, radon z podloží)
- b) Z přírodních zdrojů (gama záření, kosmické záření, radon z podloží)

Příloha 2: Prosba studentům středních škol o vyplnění dotazníku

✈ Radiace a ionizující záření - dotazník



Vážení žáci

Jmenuji se Marcel Vaněček a obracím se na Vás s prosbou o deset minut Vašeho času. Jsem student Jihočeské univerzity a píši diplomovou práci o ionizujícím záření respektive radiaci. Součástí této práce je testování znalostí studentů středních škol ohledně tohoto fascinujícího i nebezpečného fyzikálního faktoru, který nás všechny obklopuje. Pokud jste ochotni vyplnit tento test, klikněte prosím na následující odkaz, zde: <https://www.surveio.com/survey/d/C5A7W7B2X1O3H9K2O>
Test je plně anonymní, obsahuje celkem devatenáct otázek, z toho deset se týká odbornosti na toto téma.

Za případnou spolupráci jsem Vám zavázán.

Marcel Vaněček, 2.CNP, JČU

Příloha 3: Plné znění otázek v dotazníku, možnosti odpovědí

1. Označte, kterou střední školu studujete
 - Průmyslová škola stavební
 - Odborná škola ekologická
 - Zdravotnická škola
 - Gymnázium

2. Označte políčko vašeho věku
 - 16
 - 17
 - 18
 - 19
 - 20
 - 21

3. Uveďte ročník studia
 - 2. ročník
 - 3. ročník
 - 4. ročník

4. Označte, jaké jste pohlaví
 - Muž
 - Žena

5. Jak moc vás zajímá problematika ionizujícího záření, respektive záření z radioaktivních zdrojů?
 - Nezajímá mně vůbec
 - Tato problematika mi přijde zajímavá, ale nevyhledávám ji
 - Zajímají mně pouze dokumenty s touto problematikou
 - Zajímám se o tuto problematiku aktivně – pročítám si odborné časopisy a internetové stránky, vyhledávám si videa na YouTube

6. Probírali jste téma ionizujícího záření, respektive radiace ve výuce fyziky?
- Ano
 - Ne
7. Kolik hodin ve vaší výuce (fyziky, biologie, radiologie) bylo věnováno tématu ionizujícího záření, respektive radioaktivitě?
- 1-2 hodiny
 - 2-4 hodiny
 - 4-6 hodin
 - 7 hodin a více
 - 0 hodin/nevím
8. Viděl/a jste někdy dokument týkající se ionizujícího, respektive radiačního záření, popřípadě kterého typu?
- Doplňkový popis: *Vyberte jednu nebo více odpovědí*
- Neviděl/a jsem žádný
 - Ano, o použití jaderné zbraně
 - Ano, o havárii jaderné elektrárny
 - Ano, o funkci jaderné elektrárny
 - Ano, o účincích ionizujícího záření na tělo člověka
9. Co je podle vás radioaktivita?
- Mechanické zařízení sloužící pro výrobu elektrické energie
 - Chemická reakce dvou a více prvků, při které je vyzařována energie
 - Vysílání neviditelného záření díky nestabilitě jádra
 - Biologický děj, při kterém bakterie vyzařují energii
10. Který typ záření nejvíce prostupuje materiálem nebo lidskou tkání?
- Doplňkový popis: *Který typ záření má největší dolet*
- Alfa
 - Beta
 - Gama
 - Delta

11. Které záření z radioaktivních zdrojů má největší schopnost ionizace?

Doplňkový popis: *Z hlediska vnitřní kontaminace má nejničivější účinky na tkáň*

- Alfa
- Beta
- Gama
- Delta

12. Který chemický prvek se používá na odstínění (zachycení) pronikavého ionizujícího záření z radioaktivních zdrojů?

Doplňkový popis: *Používá se v ochranných prostředcích například v lékařství*

- Železo
- Olovo
- Vodík
- Uhlík

13. Každý rok je člověk vystaven určité dávce ionizujícího záření pocházejícího z různých zdrojů. Základní dělení těchto zdrojů je na umělé, lékařské a přírodní.

Doplňkový popis: *Označte, ze kterého zdroje pochází větší dávka ionizujícího záření pro obyvatele za rok*

- Z umělých zdrojů (radioaktivní spad z jaderných havárií, záření spadu ze zkoušek jaderných hlavic, záření pocházející z provozu jaderných elektráren)
- Z přírodních zdrojů (kosmické záření, potraviny a voda, záření z radionuklidů v půdě)
- Z lékařských vyšetření (rentgen, CT vyšetření, nukleární medicína)

14. Z jakého přírodního zdroje podle vás pochází největší část ozáření pro obyvatele?

Doplňkový popis: *Z dlouhodobého hlediska*

- Z kosmického záření
- Z potravin a vody
- Ze vzduchu

15. Do jaké vzdálenosti následky havárie jaderné elektrárny Černobyl ohrožují obyvatele Evropy?

- Záření pocházející ze spadu stále ohrožuje obyvatele velké části Evropy
- Záření pocházející ze spadu stále ohrožuje obyvatele střední a východní Evropy
- Spad může být nebezpečný maximálně do deseti kilometrů od místa havárie
- Palivo v Černobylské jaderné elektrárně je vyhořelé, v okolí havárie již nehrozí žádné nebezpečí

16. Co je to radon?

- Záření, vysílené z radiových stanic
- Záření z lékařských zdrojů při radiologických vyšetřeních
- Přírodní radioaktivní plyn
- Voda z výpustí jaderných elektráren

17. Vyberte, která z následujících reakcí není spojena s vystavením organismu velké dávce ionizujícího záření

Doplňkový popis: *Záření pocházejícího z radioaktivních zdrojů*

- Infarkt myokardu
- Změna DNA buněk
- Nežádoucí reakce s molekulami vody, vznik radikálů
- Poškození kostní dřeně

18. Jaký typ rakoviny je podle vás nejčastěji spojován s dlouhodobým působením škodlivých dávek ionizujícího (radioaktivního) záření z přírodních zdrojů v České republice?

- Rakovina bílých krvinek (leukemie)
- Rakovina jazyka a krku
- Rakovina plic
- Rakovina kůže

19. Vyberte, která z následujících možností nespadá do principů radiační ochrany u radiačních pracovníků

Doplňkový popis: *V praxi se užívají tři typy radiační ochrany*

- Ochrana časem – co největší redukce času stráveného poblíž radioaktivního materiálu
- Ochrana zdravím – co nejsilnější imunitní systém subjektu ochrany při plánované expozici
- Ochrana stíněním – použití překážky mezi zdrojem záření a subjektem ochrany
- Ochrana vzdáleností – co největší vzdálenost mezi zdrojem záření a subjektem ochrany

Příloha 4: Edukační materiál pro učitele středních škol

Ionizující záření

Vznik ionizujícího záření

Atom

Z chemického hlediska je atom základním stavebním prvkem, nedělitelným žádnou chemickou látkou. Z pohledu fyziky je ale atom tvořen ještě menšími částmi, takzvanými částicemi. Existují tři základní druhy částic. Jsou jimi protony a neutrony tvořící atomové jádro a elektrony tvořící jeho obal. Množství a podíl jednotlivých částic v atomu rozhoduje o vlastnostech prvku. Protony mají kladný náboj, neutrony jsou bez elektrického náboje a elektrony jsou nabitě záporně. Počet všech částic v atomu by měl být určitým způsobem vyrovnaný, aby tvořil stabilní atom.

Radioaktivita

Stabilita jádra se odvíjí od jeho vazebné energie. Vazebná energie je energie, kterou je potřeba dodat pro „rozbití“ jádra na jednotlivé částice. Čím vyšší je vazebná energie, tím je jádro stabilnější. Vazebná energie jádra se odvíjí od poměru protonů vůči neutronům. U lehčích jader je poměr protonů a neutronů přibližně vyrovnaný, a jádro je tak stabilní. U těžších jader je ale vyšší poměr neutronů vůči protonům. To je přirozeně dáno tím, že neutrony vyrovnávají elektrostatické síly vyskytující se mezi protony, které se vzájemně odpuzují. Některé atomy mají ale jádro příliš těžké a odpudivé síly protonů způsobí, že jádro přestává být energeticky stabilní, a stává se tak radioaktivním. Radioaktivní atom se v takovém případě snaží dosáhnout stability emitováním (vyloučením) přebytečné energie v podobě jedné nebo dvou částic.

Přírodní prvky s malým počtem částic v jádře jsou zpravidla radiologicky stabilní. Nestabilní bývají prvky s těžkými jádry, tedy s velkými počty protonů a neutronů. Nejtěžší známý stabilní prvek je olovo (Pb^{82}), neboli olovo nesoucí 83 protonů. Tento prvek je ještě stabilní, takže se nemusí „zbavovat“ přebytečné energie. Nestabilní přírodní prvek je například dobře známý uran s těžkým jádrem, nesoucím 92 protonů. Takto těžkému prvku proto, aby dosáhl stabilního stavu, nestačí jedna přeměna, protože vzniklé jádro po emisi jedné částice je stále nestabilní. Jeden radionuklid se tedy na stabilní nuklid může přeměňovat postupně, takzvanou přeměnovou řadou, též označovanou jako rozpadová řada. Například u zmíněného uranu proběhne 14 přeměn,

kteře trvají miliardy let, než radioizotop pŕejde do stabilního stavu. Během této pŕeměny se radioizotop mění v jiné prvky a končí stabilním izotopem olova, nesoucím 82 protonů. Jsou známy celkem 4 rozpadové řady (uran-radiová, uran-aktiniová, thoriová a neptuniová), které jsou nazývány podle izotopu s nejdelším poločasem rozpadu. Radionuklidy se postupně pŕeměňují pomocí alfa a beta rozpadu, pŕi kterém se atomy zbavují pŕebytečné energie v podobě částic.

Poločas rozpadu

Poločas rozpadu je definován jako doba potřebná k dosažení poloviny jader pŕítomných ve vzorku. Lépe řečeno je to doba, za kterou se rozpadne polovina výchozího množství radioaktivního izotopu. Tyto poločasy mohou trvat od zlomků sekund po miliardy let.

Fyzikální účinky ionizujícího záření

Ionizace

Je proces, při kterém se elektricky neutrální atomy přeměňují na elektricky nabitě atomy (ionty). Ionizace je způsob, kterým záření, jako jsou nabitě částice, fotony gama záření nebo rentgenové paprsky přenášejí svoji energii na hmotu. Při ionizaci dochází ke vzniku záporně nebo kladně nabitých iontů. Ke vzniku aniontů, tedy záporně nabitých iontů, dochází po dodání elektronu do elektronového obalu atomu. Vznik kladných iontů je naopak podmíněn odtržením jednoho nebo více elektronů z elektronového obalu. K tomu je potřeba elektronu dodat dostatečné množství vnější energie. Je velmi důležité, že ne každá forma záření nese dostatečnou energii pro ionizaci. Z elektromagnetických typů záření způsobuje ionizaci pouze záření s kratší vlnovou délkou, než je 100 nm.

Excitace

Jednoduše řečeno jde o „vybuzení“ atomu. Dochází k němu tak, že paprsek energie (např. fotonu) předá svoji energii elektronu v atomovém obalu. Tato energie nestačí k ionizaci atomu, ale stačí, aby se elektron z nižší energetické hladiny atomu přenesl na vyšší energetickou hladinu. Excitovaný (vybuzený) stav atomu není stálý. Po excitaci přichází deexcitace, tedy přenesení elektronu zpět na jeho původní energetickou hladinu. Spolu s přenesením elektronu dojde k vyzáření zbytkového množství energie ve formě energie (fotonu). Tato energie dále excituje další atomy.

Účinky ionizujícího záření

Účinky ionizujícího záření rozdělujeme podle doby, za kterou se projeví. Základní dělení je na dlouhodobé (stochastické) a krátkodobé (deterministické). Nejprve je ale dobré vědět, jakým způsobem ionizující záření poškozuje buňky ve tkáních a orgánech.

Ionizace tkáně

Ionizující záření účinkuje v těch nejmenších částech těla, v molekulách DNA. Na tyto molekuly ionizující záření může účinkovat přímo, takzvanou přímou ionizací. Druhou možností je nepřímá ionizace, kdy záření reaguje s molekulami vody ve tkáni a vznikají takzvané radikály. V obou případech dochází k poškození molekul DNA, u kterých může

dojít k několika reakcím. Nejvýznamnější reakcí jsou zlomy ve šroubovici DNA. Tyto zlomy se projevují tak, že buňka se nadále není schopná dělit a následně sama odumírá (deterministické účinky). V některých případech je buňka schopná další reprodukce, i když s pozměněnými vlastnostmi. Buňky s pozměněnými vlastnostmi jsou nebezpečné pro organismus, neboť mohou vést k nádorovému bujení (stochastické účinky).

Stochastické účinky ionizujícího záření

Pro stochastické účinky ionizujícího záření je charakteristická bezprahová závislost na dávce. Jinými slovy stochastické účinky záření se mohou projevit už při malých dávkách záření a neexistuje pro ně bezpečná dávka. Pravděpodobnost výskytu nemocí ze stochastických účinků záření ale lineárně roste s dávkou záření. Mezi stochastické účinky patří především zhoubné nádory a dědičné změny potomstva. Narušení šroubovice DNA může vést k mutacím v tkáňových buňkách, které se objeví jako rakovinný růst. Genetické změny vznikají v důsledku poškození DNA i v reprodukčních buňkách a tam vedou k mutacím, které se přenášejí na budoucí generace lidí nebo organismů vystavených účinkům ionizujícího záření. Všechna postradiačně indikovaná poškození mají určitou dobu latence. Pro indukci většiny nádorů je doba latence v řádu desítek let, přičemž nejkratší doba latence je u leukémie, která se objevuje zpravidla mezi pátým až patnáctým rokem po expozici.

Deterministické účinky ionizujícího záření

Deterministické účinky záření jsou způsobeny selháním množení buněk po jejich ozáření. Mezi hlavní příznaky patří snížení hladiny krevních buněk, rozpad výstelky trávicího traktu a popáleniny kůže. To vše může být fatální během několika týdnů až měsíce od expozice. To, že buňky odumírají, je přirozený proces a jejich funkce je zastoupena ostatními buňkami v příslušném orgánu. Problém však nastává v případě, kdy odumře tolik buněk, že orgán nemůže nahradit jejich funkci v přiměřené době a důležité orgány nedokáží plně vykonávat svou funkci. To se přesně stává v případě ionizujícího záření, které nejvíce postihuje rychle se dělící buňky.

Deterministické účinky mají na rozdíl od účinků stochastických prahovou dávku, pod kterou se účinek neobjeví. Mezi nemoci souvisejícími s deterministickými účinky záření patří akutní nemoc z ozáření, radiační dermatitida, radiační šedý zákal, poruchy plodnosti u žen i mužů a poškození plodu.

Základní jednotky v radiologii

Aktivita

Základní jednotkou radioaktivity je Becquerel (Bq), který se používá pro vyjádření aktivity radionuklidu. Aktivita je počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Hodnota aktivity je závislá na původním počtu jader v radionuklidu a čase, uplynulém od jeho vzniku. Čím více jader radioaktivní vzorek obsahuje, tím více se jich za jednotku času rozpadne. Zkrátka čím více jader, tím vyšší aktivita. Naopak s přibývajícím časem klesá počet jader schopných přeměny. Čím déle se tedy radionuklid přeměňuje, tím více klesá jeho aktivita.

Dávka

Další důležitou jednotkou v radiologii je dávka, v jejíž souvislosti mluvíme o energii absorbované látkou nebo tkání v místě expozice. Základní jednotkou je Grey (1 Gy = 1 J/kg). Jednotka Grey nevyjadřuje účinky na živé organismy, protože tyto účinky jsou závislé na několika faktorech, jako hustota indukovaných ionizací a schopnost tkáně opravovat molekuly DNA.

Ekvivalentní dávka

Jednotkou ekvivalentní dávky je Sievert (Sv) a jedná se o dávku energie, která byla absorbována hmotou. U této dávky je zohledněn ionizační potenciál jednotlivých druhů záření, tedy takzvaný radiační váhový faktor. Čím je radiační váhový faktor vyšší, tím více je dané záření schopné ionizovat postiženou hmotu (tkáň).

Radiační váhový faktor jednotlivých druhů záření:

Gama záření, elektronové záření (beta záření): 1

Neutronové, protonové záření: 10

Záření alfa: 20

Množství ekvivalentní dávky záření se vypočítá jako absorbovaná dávka ve tkáni, násobená radiačním váhovým faktorem. Čím větší je radiační váhový faktor záření, tím je toto záření nebezpečnější.

Efektivní dávka

Kromě ekvivalentní dávky je důležitá i dávka efektivní, která vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska vzniku stochastických účinků. Nejvíce radiosenzitivní orgány náchylné na stochastické účinky záření jsou gonády. Dalšími radiosenzitivními orgány jsou plíce, červená kostní dřeň, žaludek a střevo. Naopak k nejodolnějším orgánům patří kůže a povrchy kostí. Efektivní dávka vychází z dávky ekvivalentní. Efektivní dávka tedy počítá s rozdílnou schopností záření ionizovat atomy a rozdílnou radiosenzitivitou orgánů. Tato znalost se využívá především v lékařství, při stanovení a hodnocení dávek pacientů při lékařském ozáření.

Rozdělení jednotlivých druhů ionizujícího záření

Alfa záření

Je nejtěžší záření. Je tvořeno dvěma protony a dvěma neutrony. Zdroji tohoto záření jsou zejména uran, radium nebo radon. Alfa záření je z ostatních druhů záření nejméně pronikavé, a to z toho důvodu, že má nejsilnější ionizační účinky (ztrácí energii na krátkých drahách). Tyto jeho vlastnosti znamenají, že z hlediska vnějšího ozáření nehrozí z tohoto druhu záření velké nebezpečí (protože je absorbováno ve vnějších vrstvách kůže, které neobsahují živé buňky), ale je extrémně nebezpečné z hlediska vnitřní kontaminace (pro dýchací a alimentární cesty vstupu), kde způsobuje rozsáhlou ionizaci tkáně.

Beta záření

Beta částice jsou vysokoenergetické kladně nebo záporně nabitě elektrony vylučované během beta rozpadu. Tento beta rozpad se normálně vyskytuje u jader s vysokým nepoměrem počtu neutronů vůči protonům. Neutrony se kvůli stabilitě jádra mění v protony, přičemž je tato přeměna provázena emisí elektronu. Uvolněné částice elektronu jsou velice lehké a i díky tomu po excitaci dosahují extrémní rychlosti, dosahující rychlosti světla. Na rozdíl od alfa záření má několikanásobně menší potenciál ionizace materiálu nebo tkáně, ale je pronikavější, takže větší intenzita beta záření může způsobit popáleniny podobné popáleninám ze slunce.

Gama záření

Není částicové záření. Jedná se o elektromagnetické záření bez elektrického náboje. Vzniká všude tam, kde se uvolňuje obrovské množství energie (sluneční erupce, výbuchy supernov...). Primárně však doprovází alfa a beta záření. Ve vakuu se šíří stejnou rychlostí jako světlo. Ze všech ostatních záření je gama nejpronikavější a je možné je zastavit pouze velice hustým materiálem, jako je olovo. Protože není elektricky nabitě, a není tak přitahováno elektricky nabitými částicemi, prochází hluboko do organismu, kde reaguje se všemi exponovanými orgány, a může tak způsobit genové mutace a nádorové bujení.

Dalšími druhy ionizujícího záření jsou neutronové záření a rentgenové záření. Jejich zdroje jsou především umělého charakteru, proto nejsou zařazeny mezi alfa, beta a gama záření.

Zdroje ionizujícího záření

Ionizující záření je přirozenou součástí našeho života. Všichni živočichové na Zemi jsou evolučně uzpůsobeni tak, aby jejich zdraví úspěšně odolávalo přirozeným dávkám tohoto fyzikálního faktoru, který k nám přichází z vesmíru, ze Země, z vody a potravin a dokonce i z nás samotných. Zdroje ionizujícího záření se dělí na dva základní typy a to jsou přírodní a umělé zdroje. V České republice je průměrný občan ozáren 2,5–3 mSv efektivní dávkou ročně, z čehož až 75 % pochází z přírodních zdrojů. Ze zdrojů umělých pochází zbytek dávky. Do umělých zdrojů řadíme provoz jaderných elektráren, havárie jaderných elektráren, využití ionizujícího záření v průmyslu a zemědělství, ale zdaleka největší ozáření pochází z lékařských zdrojů.

Přírodní zdroje ionizujícího záření

Kosmické záření

Země je konstantně bombardována z vesmíru vysokoenergetickými částicemi a jádry atomů, přičemž většina těchto částic pochází ze Slunce. Dávka, kterou průměrný občan Země obdrží z kosmického záření je 0,3 mSv ročně. Nebýt magnetického pole Země, které odstiňuje toto záření, byla by naše planeta díky obrovským dávkám záření neobyvatelná. Se stoupající nadmořskou výškou je toto záření intenzivnější, proto lidé žijící ve vysokých nadmořských výškách a piloti dopravních letadel obdrží několikanásobně vyšší dávky z tohoto zdroje záření než obyvatelé žijící na úrovni moře.

Záření ze stavebních materiálů budov

Některé horniny a minerály obsahují stopy přirozeně radioaktivních prvků, jako je přirozeně se vyskytující uran nebo thorium. Budovy postavené z kamene mohou také vykazovat známky emise gama záření, stejně jako beton a cihly. Záleží, v jakých lokalitách byly suroviny na výrobu stavebních materiálů těženy. Pokud v lokalitách se zvýšeným radiačním pozadím, tak budou vykazovat známky radioaktivity. Dnes už jsou ale všechny stavební materiály kontrolovány Státním úřadem radiační ochrany, a proto dávky ionizujícího záření z těchto zdrojů jsou minimální. Nicméně průměrné efektivní dávky z takových materiálů a z půdy se v České republice pohybují kolem 0,4 mSv ročně.

Potraviny a voda

Velké množství potravin, které běžně konzumujeme, je mírně radioaktivní. Především jde ale o rostlinnou stravu. Rostliny přijímají při růstu mírně radioaktivní

minerály z půdy a ukládají je do své tkáně. Po jejich pozření se dostávají do organismu lidí. Poněkud vyšší radioaktivitu obsahují potraviny jako káva, banány, čaj nebo brazilské ořechy. Dávky ionizujícího záření přijímané z potravin jsou ale naprosto zanedbatelné a k újmě na zdraví díky ionizujícímu záření by mohlo dojít až po pozření několika stovek kilogramů těchto potravin.

Do vody se radioaktivní látky dostávají po rozpuštění radioaktivních minerálů nebo plynů v podzemních vodách. Nebezpečí ozáření z těchto zdrojů je eliminováno v úpravkách pitných vod.

Průměrné efektivní dávky z ingesce jsou v ČR kolem 0,29 mSv ročně.

Radon

Radon je přirozeně se vyskytující radioaktivní plyn bez barvy a zápachu. Tento plyn je uvolňován během rozpadu uranu. Radon má poměrně rychlý poločas rozpadu a jeho dceřiné produkty emitují částice alfa, které mají destruktivní vliv na tkáně dýchacího traktu. Do staveb se dostává vztlínáním ze země a kontaminuje vnitřní vzduch. Ve stavbě se následně hromadí, váže se na malé částice prachu a následně se dostává do plic obyvatel stavby, a tím zvyšuje možnost vzniku rakoviny plic. Česká republika se rozprostírá na starých horských masivech s nadprůměrnou koncentrací uranu v půdě, díky čemuž se řadíme k zemím s nejvyšší koncentrací radonu na světě. Průměrný občan České republiky obdrží přibližnou efektivní dávku 1,5 mSv ročně, což tvoří polovinu z celé dávky ročního ozáření.

Množství radonu unikajícího ze země se na pozemku určeném pro stavbu musí měřit odbornou firmou. Při zjištění vyšší koncentrace, než je povolené množství, musí být u těchto staveb provedeno dokonalejší izolování základů, popřípadě musí být vybudováno podsklepení pod budovou.

Umělé zdroje ionizujícího záření

Vlastnosti ionizujícího záření jsou široce využívány lidmi, a to v různých odvětvích. Nejčastěji se s ním můžeme setkat v energetice, zemědělství nebo lékařství. Člověk se dokonce sám dobrovolně vystavuje jeho účinkům, a to z důvodu diagnostiky nebo léčby nemocí. Na lékařské ozáření je třeba brát větší zřetel, neboť dávky ionizujícího záření z tohoto zdroje ve vyspělých zemích silně narůstají.

Ozáření z lékařských zdrojů

Na lékařské ozáření neplatí limity, musí se při něm ale uplatňovat principy radiační ochrany a to je zdůvodnění a optimalizace. Vždy tedy musí být uváženy klady a zápory vyšetření, zvláště s uvážením minulých vyšetření za použití radiologických zdrojů.

V České republice se v současnosti používá okolo 4 500 zdrojů ionizujícího záření na lékařské účely. Z těchto zdrojů připadá na každou osobu trvale žijící na našem území přibližně 1 mSv efektivní dávky ročně. Hodnotu tohoto průměru ale silně zvyšují staří nebo nemocní lidé, podrobovaní častým a na ozáření náročným vyšetřením nebo léčbou. Obyčejné rentgenové vyšetření kostí končetin ozáří pacienta zanedbatelným množstvím ionizujícího záření o dávce maximálně 0,3 mSv. Na druhou stranu vyšetření CT (výpočetní tomografie) sloužící k přesnému zobrazení vnitřních orgánů poskytne tělu od 7 mSv do 15 mSv efektivní dávky. Jedno vyšetření tímto přístrojem představuje nízké riziko z hlediska potenciálního výskytu stochastických účinků, ale s vícenásobným opakováním těchto vyšetření riziko výskytu nebezpečně roste. Je proto vždy důležité uvážit tato vyšetření ošetřujícími lékaři. Používání metody CT ve světě, ale i v naší republice roste. V některých průmyslově vyspělých státech jako je USA, jsou průměrné dávky z radiologických vyšetření již kolem 3 mSv, tzn. větší než průměrné dávky z přírodních zdrojů. Možná v ČR zatím nejsme na této úrovni, ale rychle se blížíme.

Záření z jaderných havárií

Dne 26. dubna 1986 došlo k havárii jaderné elektrárny Černobyl, při níž uniklo mnoho nebezpečných látek ohrožujících člověka a životní prostředí. Jednalo se především o únik nebezpečného cesia s poločasem rozpadu 30 let. Radioaktivní mrak uniklý z havárie sice zasáhl státy střední, severní a východní Evropy, ale efektivní dávky na území České republiky byly tak nízké, že ani desítky let po havárii nedošlo k žádnému statistickému růstu výskytu nádorů.

V roce výbuchu Černobylu v roce 1986 byla na území České republiky prováděna rozsáhlá měření dávkou ozáření obyvatelstva, kde bylo naměřeno, že průměrný občan

ČR obdržel efektivní dávku 0,26 mSv jako následek této jaderné havárie, tj. v tomto roce byla úroveň radiační expozice z prostředí zvýšená o 10 % oproti dosavadní. Některé, především lesní organismy, nesou důkazy o výbuchu jaderné elektrárny, neboť do dnešního dne je u nich možné naměřit velice malé, ale stále zvýšené množství radioaktivního cesia pocházejícího právě z tohoto zdroje. Zvláště houby a kančí maso mohou obsahovat radioaktivitu.

