UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Studijní obor: NSOCEP (5103T075)

Studijní program: Epidemiologie (N5135)

VLADIMÍR SUCHÁNEK

Ionizující záření a jeho vliv na kvalitu životního prostředí člověka: Radon jako rizikový faktor pro lidské zdraví v ČR

Ionizing radiation and its influence on the quality of human environment: Radon as a risk factor for health in the Czech Republic

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. JANA SPILKOVÁ, Ph.D.

Praha, 2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 30. 6. 2017

Podpis:

ABSTRAKT

Teoretická část práce je rozčleněna do čtyř kapitol, které se věnují problematice radonu a jeho vlivu na organismus člověka. První kapitola shrnuje základní problematiku člověka a životního prostředí, vzájemné působení a dělení životního prostředí na základě jeho funkce (využití pro život).

Druhá kapitola se zaměřuje na radioaktivitu prostředí, konkrétně na ionizující záření, jeho vznik a dělení, a také jeho vliv na zdraví člověka. Navazující je kapitola o radonu, kde je popisován jeho vznik, zdroje, jeho šíření v prostředí, měření, protiradová ochrana, historie radonové problematiky a radonový program České republiky.

Poslední kapitola teoretické části je věnována karcinomu plic jeho vzniku, dělení, diagnostice, léčbě a spojitost s výskytem radonu na základě přehledu vybraných epidemiologických studií.

Praktická část diplomové práce zahrnuje popis zdrojových dat a metodiku zpracování datových souborů objemové aktivity radonu (OAR), počet zemřelých dle příčiny a střední stav obyvatel.

Kapitola výsledků obsahuje mapové výstupy OAR, míry úmrtnosti na karcinom plic pro muže, ženy a souhrnně pro obě pohlaví. Další části výstupů jsou výsledky korelační analýzy závislosti objemové aktivity radonu na míře úmrtnosti na karcinom plic pro muže, ženy a souhrnně.

Závěr práce je věnován diskuzi nad výsledky již zmíněných vztahů a samotné interpretaci.

Klíčová slova: radon, radonové riziko, karcinom plic, životní prostředí člověka, zdraví, ionizující záření.

ABSTRACT

The theoretical part of the thesis is divided into four chapters dealing with the problems of radon and its influence on the human organism. The first chapter summarizes the basic issues of human environment, interaction and division of the environment based on its function (use for life).

The second chapter focuses on the radioactivity of environment, specifically on ionizing radiation, its formation and division, as well as its effect on human health. The next chapter is about radon, its formation, sources of radon, its distribution in the environment, measurements, protection against radon, the history of problems with radon and the *Radon Programme* of the Czech Republic.

The last chapter of the theoretical part is dedicated to lung carcinoma, its origin, distribution, diagnosis, treatment and relationship with the incidence of radon based on surveys of selected epidemiological studies.

The practical part of the thesis includes description of source data and methodology of processing data sets of radon equilibrium equivalent concentration (EEC), number of deaths by causes and population status.

Chapter of results includes map outputs of radon EEC, mortality rates of carcinoma lung for men, women, and both sexes. Other parts of the outputs are the results of the correlation analysis of the dependence on the activity of radon on the mortality rate on carcinoma lung for men, women and both.

The conclusion of the thesis is dealing with the discussion of results and the interpretations.

Keywords: radon, radon risk, lung cancer, human environment, health, ionizing radiation.

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěl poděkovat školitelce doc. RNDr. Janě Spilkové, Ph.D. (PřF UK, Katedra sociální geografie a region. rozvoje) za věnovaný čas, vstřícnost a odbornou a odbornou konzultaci problematiky práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Ivaně Fojtíkové (SÚRO) za poskytnutá data – měření radonu a pracovníkům Českého statistického úřadů za rady při vyhledávání vhodných populačních statistik.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za trpělivost a klidné prostředí, které mi bylo poskytnuto. Speciální poděkování patří především mé mamince Ladislavě Suchánkové, bez jejíž podpory bych těžké práci dokončil. Závěrečné poděkování bych rád věnoval synovcům Máťovi a Vášovi a neteřím Štěpánce a Amálce za neutuchající optimismus a rozbourání stereotypu, které při psaní diplomové práce nastává.

OBSAH

1] ÚVOD **8**

1. 1. CÍL PRÁCE 9

1. 2. STRUKTURA PRÁCE 9

2] ČLOVĚK A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ **10**

2. 1. DRUHY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČLOVĚKA 10

2. 2. VLIV PROSTŘEDÍ NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA 11

2. 3. KVALITA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ 16

3] RADIOAKTIVITA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ **18**

3. 1. ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ 18

3. 2. DRUHY IONIZOVANÉHO ZÁŘENÍ 19

3. 3. VLIV IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA 20

4] RADON **24**

4. 1. ZDROJE RADONU 24

4. 2. ZPŮSOBY TRANSPORTU RADONU 27

4. 3. MĚŘENÍ RADONU 28

4. 4. PROTIRADONOVÁ OPATŘENÍ 31

4. 5. HISTORIE RADONOVÉ PROBLEMATIKY ČR 32

4. 6. RADONOVÝ PROGRAM – AKČNÍ PLÁN (2010–2019) 33

5] VLIV RADONOVÉHO ZÁŘENÍ NA KARCINOM PLIC **36**

5. 1. KARCINOM PLIC 36

5. 2. RADON A KARCINOM PLIC 41

5. 3. STUDIE ZAMŘENÉ NA DALŠÍ EFEKTY RADONU NA ZDRAVÍ 48

6] METODIKA **51**

6. 1. ZDROJOVÁ DATA 51

6. 2. ZPRACOÁNÍ DAT A VÝSTUPY 53

7] VÝSLEDKY **56**

7. 1. MAPOVÉ VÝSTUPY 59

7. 2. KORELAČNÍ ANALÝZA 67

8] DISKUZE **73**

9] ZÁVĚR **76**

10] ZDROJE **77**

11] PŘÍLOHY **82**

POUŽITÉ ZKRATKY

BEIR: Committee on the Biological Effects of lonizing Radiation (studie Evropské jaderné společnosti).

CNS: Centrální nervová soustava.

ČSÚ: Český statistický úřad.

DNA: Dvouřetězcová nukleová kyselina.

ERR: Excess relative risk (přídavné realtivní riziko).

IARC: International Agency for Research on Cancer (Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny).

ICD: International Classification Disease.

IS: Imunitní systém.

LINKOS: Česká onkologická společnost České lékařské společnosti Jana Evangelisty Purkyně.

MKN: Mezinárodní klasifikace nemoci.

Mp_c: Míra úmrtnosti na karcinom plic (obě pohlaví).

Mp_m: Míra úmrtnosti na karcinom plic u muži.

Mp_z: Míra úmrtnosti na karcinom plic u ženy.

NRC: National Research Council.

OAR: Objemová aktivita radonu.

RR: Relativní riziko.

RTG: Rentgenové záření.

SÚJB: Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

SÚRO: Státní úřad radiační ochrany.

SZÚ: Státní zdravotnický ústav.

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.

WHO: World Health Organization (Světová zdravotnická organizace).

WLM: Working level month.

1] ÚVOD

Člověk je součástí životního prostředí již od svého vzniku. Dlouhou dobu neměl na životní prostředí zásadní vliv. To se ovšem změnilo s příchodem neolitické revoluce, kdy člověk začíná poprvé přetvářet podobu životního prostředí. Tempo změny krajiny a prostředí rostlo s rychlostí technologických vymožeností člověka. Výrazným milníkem je v tomto ohledu průmyslová revoluce, která zapříčinila výrazné znečištění životního prostředí (Klein et Bencko, 1997).

Během 20. století si lidé začínají uvědomovat, že nemohou pouze bezmyšlenkovitě využívat přírodní zdroje, a tak ničit nebo znečišťovat prostředí kolem sebe. Postupně tyto myšlenky vedly člověka ke změně přístupu a dnes se snaží tyto problémy životního prostředí řešit, protože právě negativní změny se podepisují na zdraví člověka, ať už se jedná o znečištění prostředí přirozenými nebo umělými zdroji (Klein et Bencko, 1996).

Tato diplomová práce se zaměřuje právě na určitou část problému znečišťování životního prostředí, kterým je ionizující záření. Člověk je vystavován záření z mnoha zdrojů (lékařství, exploze jaderných elektráren, kosmické záření aj.), tím nejvíce nebezpečným pro naše zdraví je únik radioaktivního plynu – radonu (Matolín, 2015).

Problematika radonu je ve vědecké sféře více zkoumána zhruba od 50. let 20. století, tehdy se poprvé začíná hovořit o negativních účincích radonu na lidský organismus. V Evropě mezi prvními zeměmi provádějící studie na kohortách horníků bylo Československo, Švédsko, Německo nebo Francie (Radon Bulletin, 2002).

Geologické podloží České republiky vykazuje poměrně vysoké dávky radonového záření, které může být jednou z příčin pro vznik karcinomu plic nebo jiných obtíží, některé studie uvádí například vznik leukémie u dětí (Řeřicha et al., 2006).

Epidemiologickými studiemi bylo prokázáno, že vzrůstající koncentrace radonu v domě vede k zvýšení rizika onemocnění karcinomem plic (Darby et. al, 2005; Darby et al, 2006). Na základě studie Darby a kol. (2005, 2006) bylo stanoveno relativního rizika 0,16 při objemové aktivitě radonu 100 $Bq.m^{-3}$ (odpovídá zvýšení rizika karcinomu plic o 16 %). Dle dostupných dat Českého statistického úřadu (ČSÚ) za posledních 15let umírá na karcinom plic v České republice průměrně 5500 osob ročně, z čehož téměř ¾ tvoří muži. Průměrné koncentrace vnitřního radonu (radonu v budově) v České republice se pohybují okolo hodnot 120 $Bq.m^{-3}$. Dle statistických odhadů umírá na karcinom plic v důsledku inhalace radonu a jeho dceřiných produktů zhruba 900 lidí

ročně. Na druhou stranu mohou být negativní účinky radonu v nízkých dávkách sporné. Jednoznačným argumentem jsou například léčebné radonové lázně v Jáchymově.

1. 1. Cíl práce

Cílem práce je obecně shrnout problematiku radonového záření a jeho vliv na vznik karcinomu plic. Tento cíl zahrnuje i obecnou charakteristiku některých oblastí životního prostředí a záření. V práci jsou si kladené cílové otázky, *zda existuje asociace mezi mírou úmrtnosti na karcinom plic a objemovou aktivitou radonu v budovách?* Smyslem této diplomové práce je tedy i objektivně shrnout, zda lze tyto dvě proměnné obecně korelovat, případně zda je nutné pro podobnou analýzu spoléhat spíše na osvědčené metody. Řada prací je totiž založena na kohortách horníků a výpočtu relativního rizika. Obecným problémem těchto studií je zkreslení a nerelevantní srovnání dat s běžným obyvatelstvem. Dílčím cílem je také vizualizovat data do grafů, tabulek a map pro případné další využití ve výzkumu.

1. 2. Struktura práce

Diplomová práce je strukturovaná s ohledem k multidisciplinárnímu pojetí tématiky vlivu radonového záření na kvalitu životního prostředí člověka. Je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je tvořena čtyřmi kapitolami, které jsou věnované problematice životního prostředí člověka, radioaktivitě, radonu a karcinomu plic v důsledku ozáření radonem.

Praktická část je věnovaná především prezentaci mapových výstupů, korelační analýze a diskuzi nad problematikou vlastního tématu, spornosti a závěrečnému shrnutí.

2] ČLOVĚK A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Každý organismus od svého vzniku je závislý na prostředí, ve kterém žije. Člověk se v tomto ohledu zásadně neliší, přesto existuje jeden základní rozdíl, který člověka staví do úplně jiné role. Člověk jako jediný organismus přímo ovlivňuje životní prostředí. Podobně jako jiné organismy, má i člověk specifické druhy prostředí, které se mohou navzájem od sebe lišit a různě kategorizovat.

2. 1. Druhy životního prostředí člověka

Každý člověk se vyskytuje v mnoha prostředích, která na něj působí různým způsobem. Životní prostředí nemusí nutně znamenat pobyt na určitém místě venku nebo uvnitř, ale může jít také o prostředí související s jeho každodenním životem, proto se prostředí často může rozdělovat na přírodní a umělé, případně na fyzikální a sociální nebo na základě jejich významu. V této práci se zmiňuji pouze o druzích životního prostředí člověka, která přímo souvisí s problematikou tématu, tedy na dělení dle „funkce“ (významu pro život) na prostředí rekreační, pracovní a obytné (Kvasničková, Mikulová et Plachejdová, 1998). Právě pracovní, a hlavně obytné prostředí úzce souvisí s problematikou radonového záření a možným vznikem onkologických onemocnění.

Rekreační prostředí: souvisí s volným časem, jak a kde ho trávíme. Slouží jako vytržení z každodenního života, které může mít vliv na zdraví a spokojenost člověka. Může jít jak o procházku v přírodě, tak třeba návštěvu galerie nebo relaxaci u vody.

Pracovní prostředí: vyplývá ze samotné práce, kterou vykonáváme, také z pracovního zázemí a sociálními vazeb na pracovišti. Pracovní prostředí dělíme dle sektoru, ve kterém pracujeme (primér, sekundér a terciér). V souvislosti s pracovním prostředí se také občas hovoří o tzv. pohodě prostředí – všechny vlivy prostředí, které vyvolávají různě příjemné či nepříjemní pocity u člověka. Pohodu prostředí představuje teplota, čistota vzduchu (jak dobře se dýchá, zda je přítomen nějaký zápach), zraková pohoda (osvětlení, barevnost pracovního prostředí aj.), akustika (hluk a jiné zvuky) atd. (Šafránková, 2005). Svým způsobem sem spadá nebezpečnost prostředí, ať už v podobě nějaké havárie (výbuch ropného tankeru, ozáření v důsledku exploze jaderné elektrárny) nebo únik plynu (špatné těsnění v budovách – únik radonu).

Obytné prostředí: dělíme na vnitřní a vnější. Vnitřním prostředí se odvíjí od umístění, charakteru obydlí a na možnostech, zájmech či schopnostech obyvatel. Na vnitřní prostředí jsou často kladeny základní požadavky, jako je teplota, osvětlení, hlučnost, odvětrávání či úroveň čistoty (Šafránková, 2005).

Naopak vnější obytné prostředí je závislé především na velikosti a charakteru města/vesnice – sídla, tedy na jeho uspořádání, přírodním prostředí a zájmu obyvatel o udržitelnost.

Ve městech jsou obecně problémy větší než na vesnicích. Město jako takové je svým způsobem „závislý ekosystém“, který bez pomoci člověka zanikne. Klíčovým faktorem pro udržení tohoto „ekosystému“ je urbanizace – rozšiřování městského způsobu života. Právě hustota zastavění často poukazuje na to, jak kvalitní je životní úroveň v daném sídle. Oslunění, čistota vzduchu a provětrávání, jsou často ukazatelem kvality životního prostředí v městských sídlech (Baumova et Hamerský, 2001). V tomto kontextu se často hovoří o vlivu tepelného ostrova (zvyšování teploty vlivem zástavby) nebo tzv. městské bríze (Beranová, 2002), což je specifické noční proudění vzduchu v okolí a uvnitř větších měst. Jistým vylepšením situace jsou zelené zóny, které mohou přispět ke zlepšení kvality ovzduší (vázání CO_2, produkce kyslíku, zachytávání prachu, smogu nebo částic těžkých kovů, inhalace radonu, absorpce hluku atd.).

Z hlediska empirického výzkumu této diplomové práce je pochopitelně důležitější vnitřní obytné prostředí, protože právě v tomto ohledu je únik radonu do obytných prostor mnohem nebezpečnější, než přímo ve veřejných budovách nebo obecně v městských sídlech.

2. 2. Vliv prostředí na zdraví člověka

Na člověka, podobně jako na jiné organismy, působí jednotlivé vlivy, buď specificky na konkrétní orgán v těle (př. inhalace prachu do plic) nebo nespecificky, kdy je ovlivňován organismus komplexně. Důležité jsou pro tuto problematiku tři faktory (Kvasničková, Mikulová et Plachejdová, 1998):

- **Celkový stav organismu:** zdravotní stav, věk, genetické predispozice, schopnost přizpůsobit se.
- **Doba působení vlivu**: ve spánku, při práci, po krátkou dobu nebo naopak dlouhodobě, střídavě x trvale.
- **Charakter vlivu**: dlouhodobé hromadění v organismu (př.: radioaktivní záření, karcinogenní látky), po omezenou dobu (např. hluk) atd.

Jednotlivé vlivy nejčastěji rozlišujeme dle jejich podstaty na chemické, fyzikální, biologické a společenské (případně jejich různé kombinace).

2. 2. 1. Vliv chemických látek

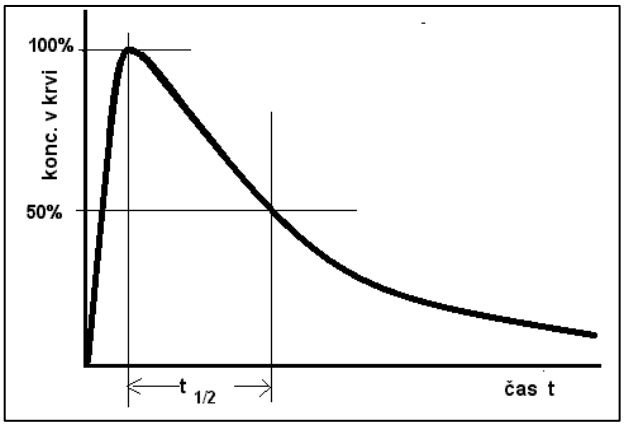
Vyjádření toxicity látky je velmi těžké, jelikož každá látka může být v nepřiměřeném množství pro lidský organismus nebezpečná. Za toxickou látku generálně označujeme takovou, která je

při dávkách několika miligramů či gramů pro lidské tělo silně toxická, dochází k ireverzibilním změnám v lidském těle nebo ke smrti. Nutno podotknout, že toxická látka se projevuje různými faktory, a to na úrovni jedince (Horák, Linhart et Klusoň, 2004).

V souvislosti s jedovatými látkami se často hovoří o tzv. letální dávce – dávka, která je již pro organismus smrtelná. Určuje se obvykle laboratorně na zvířatech. Hodnoty letální dávky se pak obvykle udávají v mg/kg živé hmotnosti. V praxi je bohužel těžké posoudit, co je pro jeden organismus ještě toxické, a naopak co pro druhý již není. To také souvisí s účinky záření radonu, u kterých je velmi obtížné stanovit limitní hranici, ať už pro letální dávku nebo pro množství látky, která již způsobuje zdravotní komplikace (Vrzal, 2014).

Chemická látka může do těla vstoupit několika cestami. Nejčastěji trávicím ústrojím (ústy), při dýchání (velmi časté při inhalaci radonu), skrze kůži a oči. Z těla se tyto látky vylučují různou rychlostí, v závislosti na velikosti dávky, kterou organismus příjme. Obecně platí, že největší dávky organismus dostává krátce po vystavení expozici [Obr. č. 1] (Vrzal, 2014). Některé látky lidské tělo vyloučit nedokáže téměř vůbec, proto se v něm hromadí (Modrá, 2014).

Dávka ovšem nemusí být vždy určující faktor a může hrát roli i doba expozice, protože i řada látek při nižších koncentracích s dlouhou dobou expozice může vyvolat onemocnění (akutní i chronická) nebo chronickou otravu (Staňková, Kurka, 2014).



[Obr. č. 1]: Rychlost vylučování toxické látky z organismu v čase. (Zdroj: upraveno dle Prokeš, 2005).

Největším zdravotním rizikem je ovšem alkohol, kouření a drogy. Právě kouření má dle Světové zdravotnické organizace na svědomí 90 % případů karcinomu plic, 75 % případů chronické bronchitidy a 25 % srdečních onemocnění. Přes 2 milionů lidí na Zemi každoročně umírá právě na následky způsobené kouřením (WHO,2010c). Z tohoto důvodu se také řada látek měří a určují se limity pro lidský organismus.

Na základě reakce organismu na jednotlivé expozice určujeme hygienickou přípustnost (Kvasničková, Mikulová et Plachejdová, 1998):

- **Neměřitelná**: nemá vliv na lidský organismus nebo je zanedbatelný.
- **Fyziologická** (bez škodlivých důsledků): látka vyvolává mírné alergické reakce, které v krátké době odezní.
- **Dočasná škodlivá**: dochází k bolestech a vzniku onemocnění, organismus je dočasně poškozen, bez léčby může dojít k trvalým následkům.
- **Trvalá škodlivá**: organismus je ireverzibilně poškozen.

Charakteristiku nebezpečnosti nejznámějších chemických látek popisuje [Tab. č. 1], kde jsou jednotlivé chemické látky abecedně seřazeny a ke každé z nich je přiřazen zdroj a samotný účinek, respektive působení chemické látky na lidský organismus.

Chemická látka	Zdroj	Účinky
Azbest	Stavební hmoty, brzdová obložení, protipožární stěny	Karcinogenní
Benzen	Součást bezolovnatého benzínu, rozpouštědlo barev, tenzidy	Znečištění ovzduší, vody, půdy; karcinogenní
CFC	Hnací a chladící plyny, rozpouštědla, zpěňovadla	Ničení ozónové vrstvy
Dusičnany	Hnojiva	Znečištění vody, snižují přenos O_2 hemoglobinem
Formaldehyd	Dřevotřísky, desinfekční a konzervační látky	Dráždění, působení na CNS a IS, potenciální karcinogen
Olovo	Olovnatý benzín, barvy, baterie	Znečištění ovzduší a půdy, mentální retardace, poškození CNS, snížení tvorby hemoglobinu
PCB	izolátor v transformátorech, barvy, hydraulická kapalina	Znečištění vody, půdy, poškození živých organismů; karcinogenní
Radon	Přirozená radioaktivita	Znečištění ovzduší; karcinogenní
Rtuť	Výroba chemikálií, barev, baterií, zářivek, emise elektrárnami	Znečištění ovzduší, vody a půdy, akumulace v organismech, poškození CNS
Oxid siřičitý	Spalování – elektrárny, průmysl, lokální topeniště	Znečištění ovzduší, vody, půdy (kyselý déšť), koroze materiálů, poškození dýchacích cest
Oxid uhelnatý	Spalovací motory – doprava	Nevratná vazba na hemoglobin
Oxidy dusíku	Spalování – doprava	Tvorba smogu, dráždění očí, IS
Toluen	Ředidla	Mutagenní
Vinylchlorid	Výroba PVC, uvolňování z PVC	Znečištění ovzduší; karcinogenní

[Tab. č. 1]: Přehled chemických látek, jejich zdroj a účinek na lidský organismus (Zdroj: Dle dostupných informaci SZÚ).

2. 2. 2. Fyzikální vlivy

Kromě chemických látek na lidský organismus působí také fyzikální vlivy. Mezi ně patří například hluk, světlo, teplota, vibrace a různé druhy záření. Hluk je rizikový především ve městech a u

frekventovaných silnic a dálnic. Dále hluk mohou způsobovat větrné elektrárny, které jsou dávány do spojitosti se spánkovými a psychickými poruchami (Havránek et al., 1990).

Podobným problémem je osvětlení, které může být nedostačující, ať už z nedostatku oken v budově, tak i vlivem zastínění vegetací či zástavbou. Zdroj světla může být přirozený v podobě slunečního záření nebo z umělého osvětlení. Nedostatek slunečního záření má vliv na pohodu člověka, obsah vitaminu D v lidském těle (Murray, 2002), špatné osvětlení při různých činnostech (př.: čtení atd.).

Dalším fyzikálním vlivem je teplota. Výkyvy teplot v budovách a venku mohou způsobit častá nachlazení a jiné respirační problémy, ať už v zimním nebo letním období, kdy vycházíme a vcházíme do budov vytápěných nebo klimatizovaných. Obecně klimatizovaná místa mohou být zdroje nákazy virových onemocnění, usnadňují také šíření nejrůznějších epidemií (SZÚ, 2014).

Vibrace mohou být podobně rušivé jako třeba hluk, často jsou způsobeny z nadměrné dopravy (dálnice, letiště) nebo činnosti člověka (stavební práce) (SZÚ, 2014).

Posledním fyzikálním vlivem je záření, které má různé dopady na kvalitu životního prostředí člověka nebo přímo na zdravý vývoj plodu/dítěte (WHO, 2010).

Podobně jako v předcházející podkapitole uvádím přehledovou tabulku [Tab. č. 2] s abecedním přehledem vybraných fyzikálních vlivů, zdroj a účinek na lidský organismus.

Fyzikální vliv	Zdroj	Účinky
Vibrace	Stroje, doprava	Ztráta rovnováhy, kinetóza, obtíže při soustředění
Infrazvuk	Větrné elektrárny	Psychické poruchy
Kosmické záření	Vesmír	Karcinogenní, mutagenní
Krátkovlnné UV záření	Slunce	Karcinogenní, poškození, rohovky, inhibice fotosyntézy
Sluneční vítr	Slunce	Narušování činnosti citlivých přístrojů, ohrožení kosmonautů, vliv na leteckou dopravu
Ultrazvuk	Pohyblivé část strojů	Mechanické poškození buněk
Záření α	Přirozená nebo umělá radioaktivita	Karcinogenní, mutagenní, leukémie
Záření β	Přirozená nebo umělá radioaktivita	Karcinogenní, mutagenní, leukémie, poškození krvetvorby, CNS, ztráta plodnosti, zákal oční čočky, poškození kůže
Záření γ	Přirozená nebo umělá radioaktivita	Karcinogenní, mutagenní, leukémie, poškození krvetvorby, CNS, neplodnost, oční zákal, poškození kůže
Záření X	Lékařství – rentgen	Karcinogenní, mutagenní

[Tab. č. 2]: Vybrané fyzikální vlivy, jejich zdroj a účinek na lidský organismus (Zdroj: Dle dostupných informaci – SZÚ).

2. 2. 3. Biologické vlivy

Biologickými vlivy mohou být všechny živé organismy na planetě, které nějakým způsobem působí na člověka. Nejčastěji se jedná o bakterie a viry způsobující různá onemocnění, případně transport těchto bakterií, virů nebo obecně parazitů (červi, hmyz, prvoci aj) skrze přenašeče. Dále také riziko onemocnění od domácích nebo chovných zvířat, případně využití mutagenních virů a bakterií jako biologických zbraní atd. Podobně mohou mít na vliv na zdraví člověka i rostliny. V rozvojových zemích jsou právě často infekční onemocnění příčinou úmrtí, více než kardiovaskulární onemocnění nebo novotvary (Volf, Horák, 2007). Za biologické vlivy lze označit i genetické mutace, vrozené vady, dispozice ke vzniku nemocí atd.

2. 2. 4. Sociální vlivy

Sociální vlivy se odvíjí od sociálně-ekonomické úrovně společnosti, které mají výrazný vliv na zdravotní stav obyvatelstva. Nízká životní úroveň a zaostalost zvyšují riziko onemocnění a zkracují délku života.

Mezi základní sociální vlivy patří životní styl (životní úroveň, sociální faktory, nezaměstnanost, druh práce, stres, vzdělání, stravování, pohybová aktivity, alkohol, kouření, hygiena, sexuální chování atd.), péče o zdraví a obecně zdravotnictví (rozvoj medicíny a lékařské techniky, zdravotní politika, dostupnost zdravotní péče, zdravotnický systém, úroveň zdravotnictví, organizace financování a řízení zdravotnictví). V souvislosti se sociálními vlivy se často mluví o tzv. determinantech zdraví. Ty můžeme definovat jako osobní, společenské a ekonomické faktory a faktory životního prostředí, které jsou vzájemně se ovlivňujícími proměnnými, a zároveň významně ovlivňují a určují zdravotní stav jedince, skupiny lidí nebo společnosti (Nutbeam, 1998).

Hlavní determinanty rozdílů ve zdraví:

- Biologická různorodost.
- Vlastní rozhodování.
- Přechodná zdravotní výhoda jedné skupiny před jinou vznikající tím, že někdo si dříve osvojí zdravý styl život (pokud ostatní mají obdobné možnosti).
- Zdraví poškozující chování (stupeň volby životního stylu je vážně omezen).
- Vystavení nezdravým, stresovým životním a pracovním podmínkám.
- Nedostatečný přístup k základním zdravotním a dalším veřejným službám.
- Sociální pozice nemocných lidí se oslabuje a jejich životní úroveň výrazně klesá.

Zdravotní stav se v sociálních vědách zjišťuje a hodnotí šetřením u obyvatelstva nebo sběrem statistických dat. Sbírají se absolutní hodnoty, jež nám udávají počet obyvatel, nemocí úmrtí atd. za jednotku času na daném území. Tato data jsou následně používána pro výpočet relativních hodnot, které jsou následně standardizovány. V praxi se jedná o ukazatele demografické, o ukazatele úmrtnosti a ukazatele nemocnosti (SZÚ, 2014).

2. 3. Kvalita životního prostředí

Působení životního prostředí na zdraví člověka se těžko v mnoha ohledech popisuje a obecně kvantifikuje, proto je nutná jistá opatrnost, respektive forma prevence, která může mít různé podoby. V posledních letech se nejvíce hovoří o dopadech na lidské zdraví v souvislosti se znečištěním ovzduší, pitné vody a nedostatečnou hygienou, stejně tak zdravotní problémy v souvislosti s chemickými látky, ať už v potravě, vodě nebo v ovzduší. Kromě těchto problémů mají na člověka vliv i globální změny klimatu či problémy s ozónovou vrstvou (EEA, 2008).

V následující části této kapitoly se nevěnuji všem kvalitativním znakům prostředí, ale pouze ovzduší v budovách, jehož kvalita je právě ovlivněna možným výskytem radon, což úzce souvisí s tématem diplomové práce.

2. 3. 1 Kvalita ovzduší v budovách

Mnohdy se mluví o kvalitě ovzduší a většinou je tím míněna kvalita vzduchu venku, nicméně právě kvalita ovzduší v budovách (obecně v interiérech) je pro zdraví člověka minimálně stejně důležitá. Mnohdy se mluví o znečištění dopravou, průmyslovou činností, a tak se obytné prostory mohou na první pohled jevit jako bezpečnější a zdravější místa pro život, přitom ve skutečnosti tomu může být naopak (Jones, 1999). V uzavřených prostorách se nebezpečné látky koncentrují mnohem více, protože nedochází k pravidelné ventilace a látky se tak nemohou uvolňovat do ovzduší venku (EEA, 2013). Dnes jsou ovšem již rizika ze znečištění ovzduší v obytných prostorách mnohem více sledované. Kvalita ovzduší v budovách je dána následujícími faktory:

- Stavební materiál.
- Užívání čistících prostředků.
- Účel prostoru (ložnice, kuchyň, půda atd.) a způsob jeho využívání.
- Ventilace (odvětrávání místnosti).

Nedostatečná kvalita ovzduší v budovách je škodlivá především pro rizikové skupiny, kterými jsou děti, senioři a osoby s kardiovaskulárním nebo chronickým respiračním onemocněním (nejčastěji astmatem). Mezi nejvíce nebezpečné látky v uzavřených prostorách nepatří jen

tabákový kouř, ale také radon, plyny a jiné drobné částice vzniklé spalováním uhlí nebo dřeva, chemické látky a azbest. Kromě těchto látek můžeme v obytný prostorách narazit i na oxid uhelnatý, oxid dusičitý, suspendované částice a nestálé organické sloučeniny, které se vyskytují ve vnějším ovzduší (EEA, 2013).

Erik Lebret z nizozemského Národního ústavu pro veřejné zdraví a životní prostředí zastává názor, že většina látek z vnějšího ovzduší se dostává do obytných prostor i přes uzavřené dveře či okna (EEA, 2013). Sám pokládá za důležité zdroje znečištěn i vaření, spalování uhlí či dřeva, zapálené svíčky a vonné tyčinky, vosky a leštidla povrchů, stavební materiály (př.: formaldehyd v překližce), a také radon v půdě a stavebních materiálech.

3] RADIOAKTIVITA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Jak již bylo v předchozí kapitole naznačeno, tak i nejrůznější druhy záření mohou být problémem pro lidské zdraví. Ionizující záření vzniká přirozených či umělým rozpadem mnoha radioaktivních prvků jako je uran 238, thorium 232, rubidium 87, draslík 40 nebo jiné další původně kosmogenní radionuklidy (Bochicchio, Mclaughlin, Piermattel, 1995). Jedná se o tok hmotných částic (případně fotonů) elektromagnetického záření. Toto záření pak interaguje s atomy prostředí a narušuje jejich stavbu atomového jádra. Záření prochází látkou, a tak postupně ztrácí svou energii, ionizuje okolí. V atomu dochází k vytlačení elektronu z atomového obalu, tím se změní jeho náboj a elektron putuje dál a ionizuje prostředí (Matolín, 2015).

Přírodní zdroj	Podíl v %	Umělý zdroj	Podíl v %
Radon	(48,2%)	Lékařská diagnostika	(11,1%)
Interní zdroje v lidském těle	(8,5%)	Jaderný spád	(0,2%)
Externí ozáření – horniny a stav. materiály	(17,1%)	Jaderná energetika	(0,3%)
Kosmické záření	(14,5%)	Profesní ozáření	(0,1%)
Celkem	**88,3 %**	**Celkem**	**11,7 %**

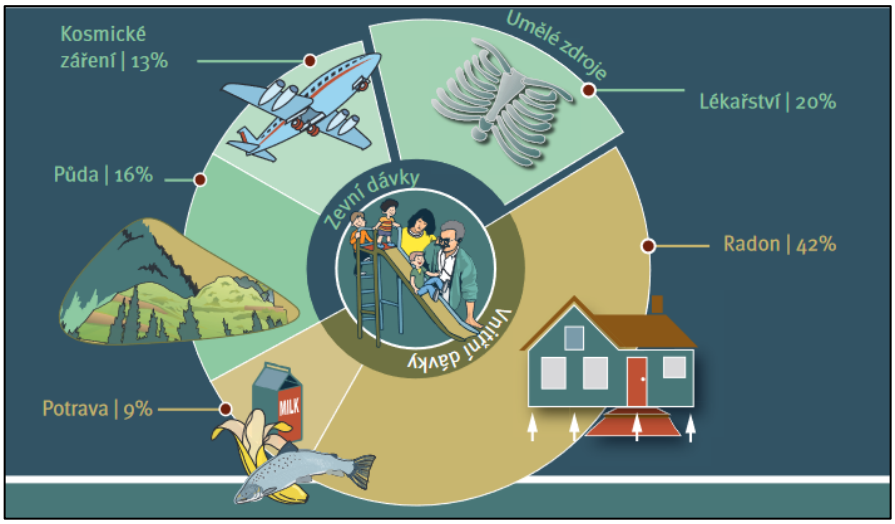
[Tab. č. 3]: Odhadované podíly globální průměrné roční dávky absorbovaného záření (Zdroj: Upraveno dle UNSCEAR, 1993).

3. 1. Zdroje ionizujícího záření

Ionizující záření může vznikat **přirozeně** nebo **uměle**. K přírodním zdrojům radioaktivity řadíme kosmické záření a přírodní radioaktivitu hornin, vody a vzduchu, k umělým naopak diagnostická zařízení v medicíně, odpad jaderných elektráren atd. Průměrná hodnota (efektivní dávka) ozáření z přirozených zdrojů je 2,4 mSv/rok. V České republice je tato hodnota stanovena na 3 mSv, v Německo 4,8 mSv a Itálii zhruba kolem 5 mSv. Existují ovšem oblasti, kde je riziko ozáření mnohem vyšší. Příkladem je oblast kolem města Ramsar v Iráku (zhruba 260 mSv), případně pověstné brazilské pláže Guarapari bohaté na monazitové písky. Negativní vlivy ovšem nebyly prokázány. Tyto vyšší hodnoty jsou dány často geologií dané oblasti (UNEP, 2016).

S ozářením se můžeme setkat i u potravin, kde nesledujeme uran nebo thorium, ale přírodní radioaktivní izotop draslíku. Odhadovaná dávka se pohybuje v průměru okolo 0,17 mSv.

Radionuklidy rozdělujeme na kosmogenní, primordiální (^{40}K, ^{87}Rb, $^{238\text{ a }235}$U, ^{232}Th) a radionuklidy, které vznikly v důsledku rozpadu primordiálních radionuklidů, do kterých patři i radon ^{222}Ra (Matolín, 2015). Ten je z hlediska ozáření a vzniku onemocnění u člověka a obecně organismů nejzásadnější. Tvoří největší podíl z přirozeného ozáření (UNSCEAR, 1988).



[Obr. č. 2]: Celosvětové rozdělení radiační expozice. (Zdroj: UNEP, 2016).

3. 2. Druhy ionizovaného záření

Existují čtyři základní typy ionizujícího záření, které se liší intenzitou a typem částic (Matolín, 2015) [Obr. č. 3]:

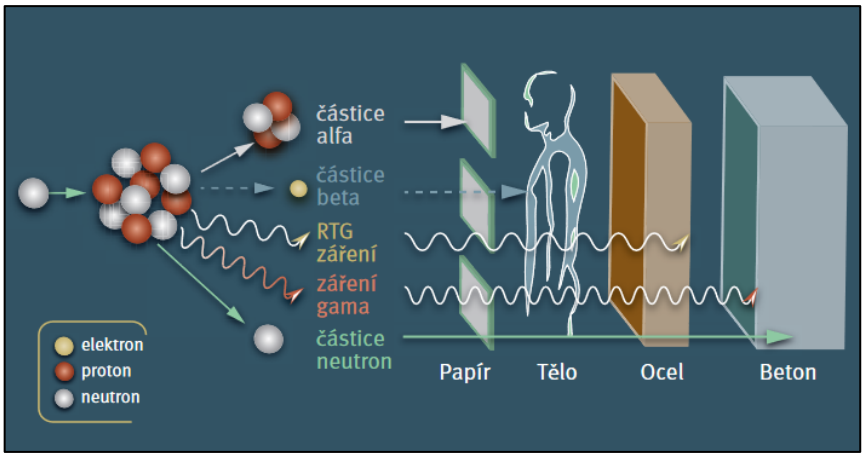
Záření alfa: záření má silné ionizující účinky. Jedná se o proud letících heliových jader. Náboj záření je kladný a lze se vůči němu poměrně snadno chránit. Nebezpečné je v případě vdechnutí, poněvadž přes kůži se nedostane. Alfa částice zastaví papír.

Záření beta: částice emitované z jader prvků při přeměnách neutronu a protonu. Jedná se o elektrony nebo pozitrony (kladně nabité elektrony). Beta záření proniká více a k jeho zastavení postačí 1 mm silný kov (př.: plát hliníku). Ionizační účinky jsou mnohem menší než u alfa částic.

Zářená gama: elektromagnetické záření o vysoko frekvenci tvořené fotony, které má minimální ionizující účinky, naopak pronikavost je silnější než u alfa nebo beta záření. Bariéra v podobě 1 metrů silného betonu nebo 10 cm olovo záření zastaví.

Neutronové záření: proud elektricky neutrálních částic, pronikavost různá.

Někdy se vyčleňují i specifické skupiny záření jako je RTG záření nebo radioaktivní přeměna beta částic, případně jiné uměle připravené nuklidy, které se rozkládají spontánním štěpením.



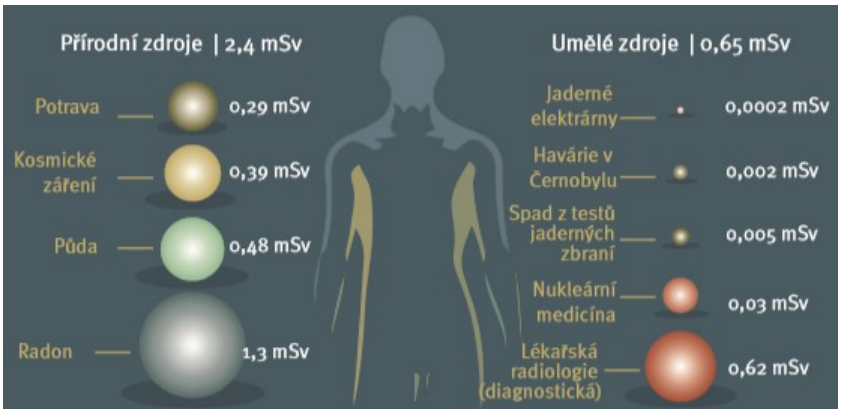
[Obr. č. 3]: Pronikavost různých typů záření (UNEP, 2016).

3. 3. Vliv ionizujícího záření na zdraví člověka

Ionizující záření je ve větších koncentracích pro lidský organismus škodlivé, dochází k nevratným změnám v buňkách a modifikuje vlákna DNA. V případě překročení limitní dávky, dochází k trvalému poškození orgánů a případné smrti z ozáření (Davis, 2008c).

Účinky záření jsou v čase nestejné. Je velmi těžké odhadnout, zda jsou zdravotní účinky radiační expozice **rychlé** (někdy se uvádí jako časné) nebo **pomalé** (někdy se užívá i pojem pozdní). Časné zdravotní projevy se diagnostikují obvykle u jedinců, naopak u pozdních účinků, kterým může být kupříkladu rakovina, se dochází skrze epidemiologické studie. V tomto ohledu jsou monitorované projevy u dětí, plodů a následná možnost dědičnosti účinků radiačního záření.

V tomto kontextu rozlišujeme dvě základní a velmi podobné jednotky. První je veličina známá jako **absorbovaná dávka**, která se značí **Gy** (gray) a vyjadřuje množství zářivé energie pohlcené v jednom kilogramu tkáně. Nevýhoda této veličiny je, že úplně jasně nereflektuje význam záření, poněvadž platí, že dávka alfa záření vyvolá větší poškození než stejná dávka od beta či gama částic, proto je nutné absorbovanou dávku u různých typů záření vážit s ohledem k možným poškozením, proto se často vážená dávka upravuje a nazývá se jako **ekvivalentní dávka**, která se měří v **sievertech** (Sv). V této práci jsou jednotky užívány s ohledem k použitým zdrojům.



[Obr. č. 4]: Průměrné expozice obyvatel podle zdrojů záření (Zdroj: UNEP, 2016).

3. 3. 1. Rychlé zdravotní účinky záření

Jsou vyvolány poškozením buněk nebo přímo jejich smrtí. Nejčastější jsou popáleniny kůže, ztráta vlasů a ochlupení na těle, zhoršení plodnosti nebo až neplodnost. Účinky jsou dány většinou jednorázovou vysokou dávkou záření. Projevy se odvíjí od intenzity záření, kdy kritická je letální dávka, která může být pro jedince odlišná (L'Annunziata, 2000). Jednorázové dávky nad 50 Gy poškodí nervovou soustavu takovým způsobem, že postižený do několika dnů umírá. Už při dávkách nižších než 8 Gy se objevují příznaky nemoci zvané jako **akutní radiační syndrom**. Ten se projevuje jako pocit nevolnosti, zvracení, střevní obtíže, dehydratace, únava, apatie, horečky, pocení, bolest hlavy a nízký krevní tlak. Ozářený může během prvních dvou týdnů zemřít na selhání žaludku nebo střev (Nias, 1998c). Dávky nižší mohou vést k poškození trávicího ústrojí nebo poškození kostní dřeně. U akutních dávek 1 Gy se může objevit zvracení. Dávky nižší než 1 Gy mohou poškodit kostní dřeň a zvýšit riziku leukémie (UNEP, 2016).

Paradoxně se poškození buněk využívá v lékařství při léčbě nádorových onemocnění, kde jsou pomocí radioterapie likvidovány maligní buňky. Množství a aplikace záření se odvíjí od typu nádoru, jeho rozšíření či samotné závažnosti. Obvykle se hodnoty pohybují mezi 20-80 Gy (Klener, 2000). Dávka je aplikována v delším časovém horizontu, v tu dobu pacient podstupuje nižší dílčí dávky, maximálně do 2 Gy. V případě, že by hodnoty záření byly vyšší, nemusela by se již poškozená tkáň regenerovat (UNEP, 2016).

3. 3. 2. Pomalé zdravotní účinky záření

Pomalé nebo pozdní zdravotní účinky se projevují po dlouhé expozici. Nejčastějším důsledkem dlouhodobé expozice z radiačního ozáření jsou například leukémie nebo nádorová onemocnění. Se zvyšující se dávkou, se zvyšuje četnost počtu případů onemocnění.

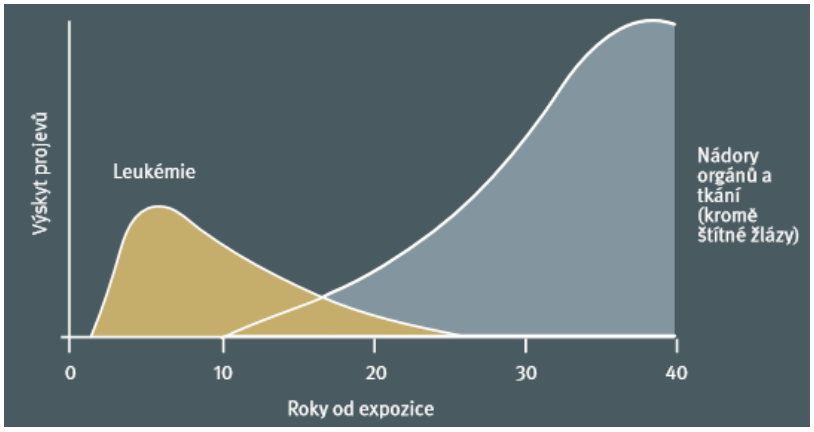
V tomto ohledu jsou významné epidemiologické studie, které v čase sledují vybranou generaci nebo kohortu (UNEP, 2016).

3. 3. 2. 1. Rakovina

Na rakovinu globálně umírá zhruba 20 % lidí a je druhou nejčastější příčinou úmrtí za kardiovaskulárními nemocemi, pokud se zaměříme na vyspělé země. U mužů se nejčastěji objevuje rakovina plic, prostaty, střev, žaludku a jater. Ženy postihují nejčastěji rakovina prsu nebo děložního čípku (UNEP, 2016).

Vznik nádoru je komplikovaný a má několik fází vývoje. Na počátku dojde k zmutování jediné buňky a tím se celý proces odstartuje. V těle každého zdravého organismu se nádorové buňky běžně tvoří, nicméně není jich dostatek, jsou svým způsobem latentní do chvíle, než se začnou nekontrolovatelně dělit natolik, že způsobí růst nádoru a jeho případnou migraci do jiných orgánů (Kunz, 1990).

Příkladem je leukémie, rakovina štítné žlázy a kostní nádory, které se projevují už i po několika letech, kdy byl subjekt vystaven radiačnímu záření. U ostatních typů rakovin je časová prodleva obvykle delší (Mohner et al, 2006).



[Obr. č. 5]: Doba od radiační expozice do doby zjištění rakoviny (Zdroj: UNEP, 2016).

Ohledně této problematiky UNSCEAR vytvořil detailní přehledy týkající se výskytu nádorů v populaci, jež je vystavena záření. Na základě statistických odhadů bylo zjištěno, že zvýšené riziko úmrtí na rakovinu v důsledku záření je v případě dávek nad 100 mSv, což odpovídá zhruba 3–5 případů na 100 ozářených osob dávkou 1 Sv (UNEP, 2016).

3. 3. 2. 2. Jiné zdravotní účinky

Dalším rizikem kromě rakovin jsou samotná kardiovaskulární onemocnění. Vysoké dávky záření v oblasti srdce nebo blízkých tepen mohou způsobit poškození, ucpání nebo infarkt myokardu (Klener, 2000). Údajným spouštěčem kardiovaskulárních onemocnění mohou být radioterapie, ale zatím žádná studie přímo neprokázala účinky. Dnešní lékařské přístroje a léčebné techniky jsou velmi přísně kontrolovány, zda nedochází k nadbytečnému ozáření osob (Kunz, 1990).

Po výbuchu jaderné elektrárny v Černobylu (1986) vědecký výbor OSN zjistil, že pracovníci bezpečnosti v elektrárně měli zvýšený výskyt očního zákalu, což mohlo být způsobeno právě vyšší dávkou z ozáření. Podobně byly u pracovníků zjištěny poškozené lymfocyty nebo dokonce jejich snížený počet – častý indikátor akutní formy ozáření (UNEP, 2016).

3. 3. 2. 3. Účinky u děti

Samotné ozáření může mít vliv i na vývoj plodu během těhotenství. Účinky u dětí můžeme rozdělit na (Darby et al, 2005):

Dědičné účinky: záření může způsobit modifikaci DNA, která je následně předávána jako genetická informace dalším generacím. Žádné prokazatelné studie, které by jasně určily, co je způsobeno zářením a co ne, neexistují, proto je občas velmi těžké určit, zda v případném postižení plodu hrála roli modifikovaná DNA vlivem radiačního záření.

Poměrně velká část poškozených zárodků a plodů nepřežívá. Až polovina interrupcí je provedena v důsledku genetických modifikací DNA plodu. Narozené postižené děti umírají do pátého roku života. Genetické abnormality mohou být v chromosomech nebo jako samotné genové mutace. UNSCEAR uvádí, že genetické riziko se pohybuje mezi 0,3 – 0,5 % na 1 Gy.

Účinky u nenarozených dětí: během jejich vývoje v děloze dochází ke kontaminaci ozářením z potravy nebo nápojů, případně přímým ozářením zvenku. Zpravidla platí, že zevní ozáření nemá až takové fatální následky, protože plod je chráněn tělem matky. Na druhou stranu je i plod k nižším dávkám ozáření senzitivní a může způsobit změny ve vývoji, malformace či další zdravotní problémy, které se u matky neprojevují, jelikož pro ni není dávka dostatečně vysoká.

Náchylnost plodu k ozáření se během těhotenství mění. Nejvíce je záření nebezpečné v období mezi druhým až osmým týdnem těhotenství, kdy může dojít k vytvoření nejrůznějších malformací nebo ke smrti plodu. Nejvíce citlivé jsou části jako je mozek, kosti nebo oko. Po osmém týdnu těhotenství je velmi často postižena CNS. Dokládají to i studie u žen, které žily nebo byly vystaveny ozáření po atomovém bombardování (UNEP, 2016).

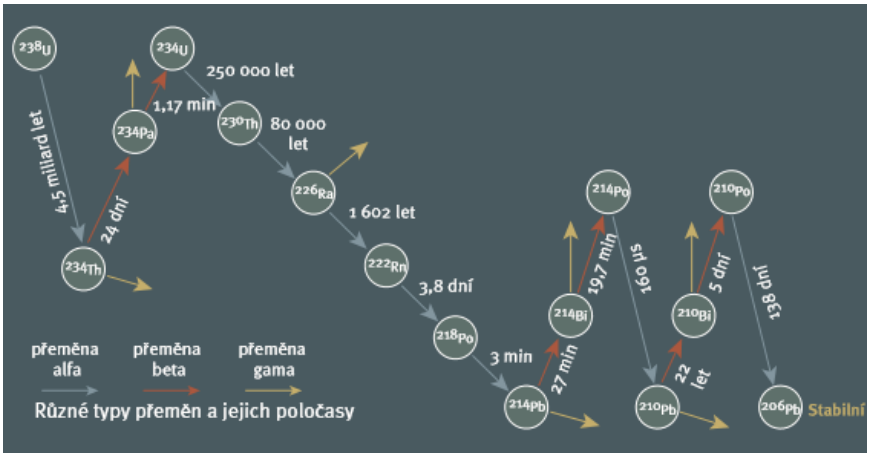
Ozářený orgán	Za ¼ roku (mSv)	Pracovníci v oboru (mSv/rok)	Ostatní (mSv/rok)
Celé tělo	30	50	5
Kostní dřeně			
Pohlavní orgány			
Kůže	150	300	30
Štítná žláza			
Končetiny	400	750	75
Ostatní orgány	80	150	15

[Tab. č. 4]: Nejvyšší přípustné dávky záření (Zdroj: upraveno dle Kvasničková, Mikulová et Plachejdová, 1998).

4] RADON

Radon (Rn) je přírodní radioaktivní plyn, bezbarvý, bez zápachu, bez chuti, těžší než vzduch, ve vodě se velmi špatně rozpouští. Vzniká při rozpadu uranu (^{238}U), který je součástí zemské kůry (Hála, 1998). Radon následně opouští horniny skrze póry jako plynná látka. K přeměně uranu na radon nedochází hned, důležitý je poločas rozpadu.

[Obr. č. 6] ukazuje nejen rozpadovou řadu uranu, ale také typ přeměny, respektive záření vznikající při přeměně a poločas rozpadu (Bochicchio et al 1995, UNSCEAR 2000).



[Obr. č. 6]: Uran-radiová rozpadová řada (Zdroj: UNEP, 2016).

V souvislosti s radonem se často uvádí i jeho izotopy: **^{222}Rn – radon, ^{219}Rn – aktinon a ^{220}Rn – thoron.** Z hlediska radonového záření má význam pouze první zmiňovaný izotop, protože aktinon i thoron mají velmi krátké poločasy rozpadu (aktinon má poločas rozpadu 3,92s a thoron 55,3s), proto jsou jejich migrační cesty obvykle krátké a jejich význam je malý. V budovách se proto sleduje především radon Rn^{222}. Platí ovšem, že všechny tři izotopy jsou radioaktivní a emitují záření alfa (Matolín, 2015). S tím se pojí problematika **radonového rizika** – soubor opatření, prevence, měření a vyhodnocení nebezpečnosti radonu (v budovách i mimo ně) (WHO, c2010).

4. 1. Zdroje radonu

Radon jakožto člen uran-rádiové rozpadové řady se může do budov, posléze i do ovzduší, dostat ze tří základních zdrojů:

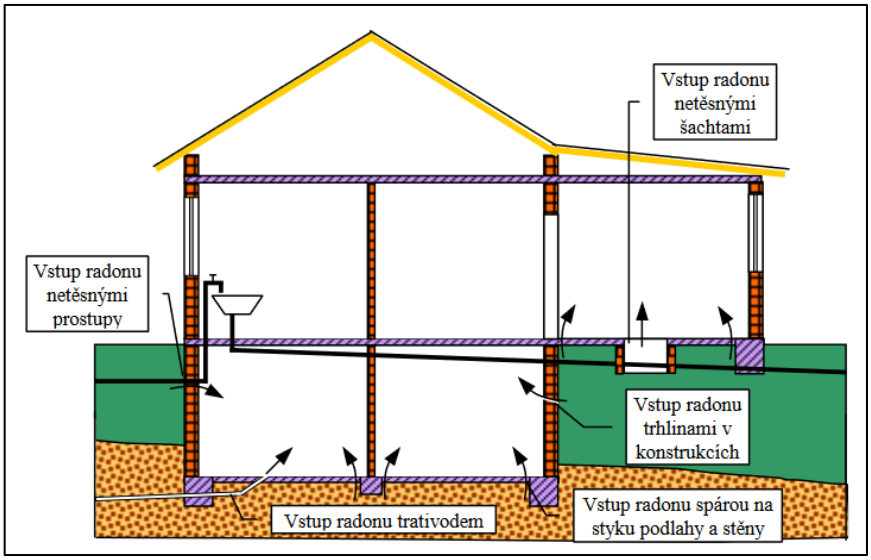
- Geologického podloží.
- Stavební materiál.
- Pitná voda.

Někdy se v kontextu zdrojů uvádí i radon z venkovního ovzduší nebo ze zemního plynu.

4. 1. 1. Radon a geologické podloží

Geologické podloží je často určujícím zdrojem radonu, a tak se často doporučují nejrůznější opatření v podobě izolací, aby se snížilo radonové riziko. Samozřejmě i v tomto případě je nutné postupovat detailně, jelikož jsou důležité i další faktory (plynopropustnost hornin).

V horninách je obecně uran obsažen v koncentracích okolo 1 - 3ppm (v půdě přibližně stejný). Při radioaktivním rozpadu dochází k hromadění dceřiných produktů v geologickém podloží, na základě čehož můžeme predikovat obsah radioaktivních izotopů (Makelainen et al, 2001). Půdní plyn obohacený o radon se dostává do domu různými prasklinami a trhlinami, tlakem je vytlačován k povrchu do ovzduší nebo do základů domu [Obr. č. 7]. Koncentrace radonu v půdním vzduchu se pohybuje mezi 10 000 $Bq.m^{-3}$ - 100 000 $Bq.m^{-3}$. Do domu se dostane méně než 1 % (WHO, c2010). Zbylá část radonu přichází do domu z vnějšího prostředí, kde je obecně koncentrace radonu již nižší (Barnet, 1994).



[Obr. č. 7]: Nejčastější vstupní cesty radonu do domu. (Zdroj: Jiránek, 2006).

Radon nalezneme ve vyšších koncentracích spíše v horninách metamorfovaných magmatických. Naopak v horninách sedimentárních nalezneme nižší koncentrace, i když mohou být lokálně obohaceny o vysoké koncentrace uranu (Barnet, 1992). Podloží České republiky je z větší části právě tvořeno horninami magmatickými nebo metamorfovanými, přestože zde máme i poměrně rozsáhlé platformní pánve s rozsáhlým sledem usazenin. Proto je nutné dbát zvýšené opatrnosti týkající se pronikání radonu z hornin (Jiránek, 2006).

Obecně platí, že jemnozrnné horniny jsou bohatší na přeměněný radon, který se uvolňuje do vrstevních ploch a trhlinami migruje k povrchu. Pokud je půda propustná, radon se k povrchu dostává snáze (Matolín, 2015).

Právě na základě hornin lze odhadnout míru rizika radonu v půdě i bez měření, stačí jen správně určit horninový typ (Barnet, 2004). Ovšem, je nutno splnit standardní geologické podmínky, musí jít o homogenní vývoj v dané horninovém typu, bez příměsí a s minimem tektonických narušení. Na základě toho jsou vybírány jednotlivé lokality pro stanovení map radonového rizika [Př. 1]. Přehled horninových typů a radonové riziko dokládá [Tab. č. 5] (Barnet, 1991).

Horninový typ	Převažující kategorie radonového rizika		
	nízká	střední	vysoká
Silurské sedimenty			
Durbachity a syenity			
Granodiority			
Granity			
Ordovické sedimenty			
Permské sedimenty			
Karbonské sedimenty			
Pararuly			
Ortoruly			
Proterozoické metasedimenty			
Aluvium			
Neogenní sedimenty			
Devonské sedimenty			
Říční terasy			
Paleogenní sedimenty			
Křídové sedimenty			

[Tab. č. 5]: Převažující kategorie radonového indexu v hlavních horninových typů na území České republiky (Zdroj: upraveno dle Barnet, 1991).

4. 1. 2. Radon ve stavebních materiálech

Stavební materiály bývají obvykle bohatší spíše na radium než na radon, ale i ten ve stavebních materiálech můžeme najít. Pokud bychom srovnávali půdní radon, respektive radon z geologického podloží se stavebními materiály, tak ty většinou nepřispívají ke zvýšení hladiny radonu v domech, výjimkou jsou historické stavby právě na území České republiky, kde máme doklady například z Rynholce o radioaktivních škvárobetonech. (SÚRO, 2017).

Vysoké hodnoty radonu mohu vykazovat materiály vyrobené z kamenitých břidlic, případně stavební materiály vyráběné ze sopečného tuhu nebo z průmyslového odpadu (Keller et al., 2001).

4. 1. 3. Radon v pitné vodě

Podobně se k nám může radon dostat i skrze vodu. Povrchová voda obsahují radon minimálně, naopak podzemní voda je na uran podstatně bohatší. Hladina koncentrace radonu se odvíjí od toho, jak je s vodou zacházeno. Veřejné vodovody nebo obecně studny neodstraní krátkým

transportem veškerý radon. Tento radon se dostává z vody do obydlí, a to nejčastěji skrze praní, vaření či jiné každodenní účely, kdy obvykle vyžadujeme vlažnou nebo horkou vodu (NRC, 1988).

Ve vodě se vyskytuje mnoho radionuklidů, které jsou úzce vázané na geologické podloží. Průměrná koncentrace radonu v pitné vodě z podzemních zdrojů se pohybuje okolo 14 Bq/l. Nejvyšší hodnoty radionuklidů ve vodě u nás byly naměřeny v jáchymovských lázeňských vodách – 10 000 Bq/l (SÚRO, 2017).

4. 1. 4. Radon v ovzduší

Zdrojem radonu v ovzduší je především půda. Hodnoty radonu v ovzduší nejsou obvykle příliš velké (zhruba 0,1 $Bq.m^{-3}$), podobně tomu je tak v oceánech a mořích, kde koncentrace může být ještě nižší, tudíž lze předpokládat, že přímořské země nebudou mít koncentrace radonu v ovzduší takové jako jsou ve vnitrozemí (Chevillard et al. 2002). Koncentrace radonu ve vzduchu je dána charakteristikou půdy, topologií a meteorologickými podmínkami. V některých situacích jako jsou teplotní inverze nebo smogové situace byla pozorována nepatrná zvýšení obsahu radonu ve vzduchu. Rizikové jsou především oblasti, kde probíhá nebo probíhala těžba uranu. Jako průměrné hodnoty koncentrace radonu se uvádí 5–20 $Bq.m^{-3}$ (UNSCEAR, 2008).

4. 1. 5. Zemní plyn jako zdroj radonu

V podmínkách České republiky nemá zemní plyn prakticky žádný efekt na vyšší hodnoty radonu v půdě nebo ovzduší, jelikož tu žádné vyšší zásoby zemního plyny nejsou a netěží se. Ve výjimečných případech může docházet k úniku radonu při spalování zemního plynu v budovách (Komárek et al., 1997).

4. 2. Způsoby transportu radonu

Radon jakožto plynná látka přechází z prostředí s vyšší hustotou do prostředí s nižší hustou (z půdy do ovzduší). Způsobů transportu radonu je několik (Barnet, 1992):

Difúze: tepelný pohyb na základě přechodu z místa z vyšší koncentrace do místa s nižší koncentrací.

Konvekce: způsobeno změnou tlakových a teplotních gradientů v horninovém prostředí (cirkulace podzemních vod, konvekční proudění tepla atd.). Rychlost transportu radonu konvekcí je mnohem vyšší než u zmíněné difúze.

Propustnost podloží: zvýšená propustnost může být sama o sobě způsobem transportu radonu k povrchu. Písky a štěrky všeobecně usnadňují migraci, naopak jíly zadržují.

Tektonické poruchy: různé zlomy a přesmyky v geologickém podloží mohou způsobit náhlý lokální únik radonu do ovzduší nebo budov.

Meteorologické vlivy: změny teplot atmosféry nebo samotné ohřívání půdy může vést k vyššímu úniku radonu z podloží (v závislosti na roční době). V letních měsících dochází obvykle k poklesu naměřených hodnot půdního radonu, je to dáno především nízkou vlhkostí půdy a odvětráváním, naopak vyšší hodnoty máme v zimním období (promrzávání půdy – uzavírání pórů, kdy se radon dostává do větších hloubek).

Další důležité faktory pro transport: nasycenost horninového podloží, mineralizace podzemních vod, vertikální profil hornin atd.

4. 3. Měření radonu

Měření radonu probíhá pod záštitou Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, které uděluje povolení oprávněným firmám. Aktuální seznam firem oprávněných vykonávat měření je k nalezení na internetových stránkách http://www.sujb.cz. Provádí se následující měření (v závislosti na požadavcích vlastníků/firem):

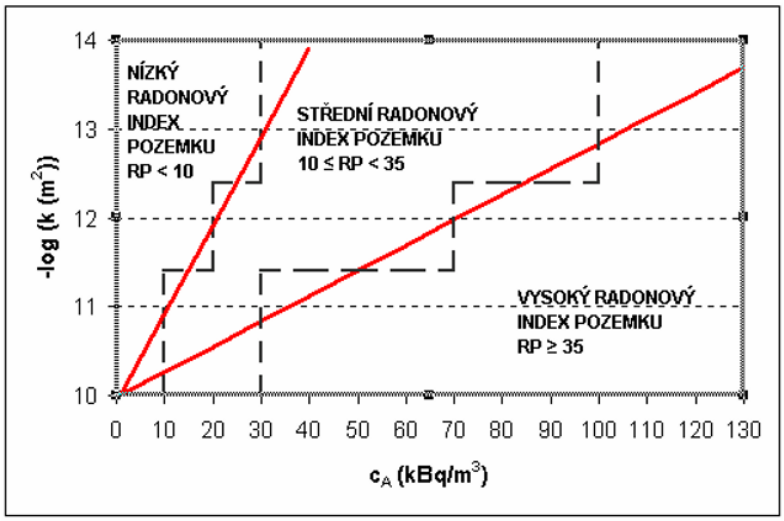
- Radonové riziko pozemku (častěji dnes spíše jako radonový index pozemku)
- Obsah přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech.
- Obsah přírodních radionuklidů ve vodě.
- Obsah radonu v ovzduší budovy.
- Podrobná analýza zdrojů a migrace radonu.

4. 3. 1. Radonový index pozemku

Radonový index se provádí vždy přímo na pozemku dle metodiky SÚJB. Postup určení radonového indexu probíhá ve dvou krocích (odběr půdního vzduchu - tzv. **metoda ztraceného hrotu**, stanovení plynopropustnosti).

Na základě naměřených výsledků objemové aktivity radonu a plynopropustnosti zemi lze stanovit radonový index pozemku. Samotná hodnocení mohou být obohacena i o další parametry týkající se strukturní a regionální geologie okolí, nicméně ta již nejsou povinná.

Radonový index pozemku se určuje podle tzv. **modelu radonového potenciálu pozemku**. Tento model vychází z klasifikace pro samotný radonový index pozemku z roku 1994 (Barnet et al, 1994), ten posléze prošel úpravami, kde původní graf obohatil o tzv. **hranice středního radonového indexu** [Obr. č 8].



[Obr. č. 8]: Schéma odběru půdního vzduchu metodou ztraceného hrotu (Zdroj: SÚRO).

Na základě výsledků se určí radonový index pozemku [Tab. č 6]. V případě, že nejsou k dispozici data plynopropustnosti půdy, vychází se z tabulky pro stanovení radonového indexu pozemku, kde je nutno znát pouze objemovou aktivitu radonu.

Kategorie RI	Objemová aktivita radonu (kBq.m^{-3}) při propustnosti podloží		
	Nízká	Střední	Vysoká
1. nízké	<30	<20	<10
2. střední	30–100	20–70	10–30
3. vysoké	>100	>70	>30

[Tab. č. 6]: Stanovení radonového indexu pozemku podle objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a plynopropustnosti zemin (Zdroj: upraveno dle Barnet et. al, 1994)

4. 3. 2. Měření obsahu radonu a přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech

Měření obsahu radionuklidů ve stavebních materiálech se provádí v laboratořích. Je ovšem nutno odebrat vzorek o hmotnosti 1–2 kilogramů. Odebraný vzorek se drtí na suť o velikosti zrn několika mm, suší se v sušírně a teprve následně se odesílá do specializované laboratoře (přehled laboratoří s oprávněním na http://www.sujb.cz). K určování radionuklidů se užívá metoda gama spektrometrie (SÚRO, 2017).

Pro stavební materiály vyráběné pro vlastní účely nejsou stanovené žádné limity. Měření je ovšem doporučeno u rizikových stavebních materiálů, které jsou s různých popílků a škvár.

Na základě měření prováděných v České republice v období 1998–2004 bylo zjištěno, že vyšší hodnoty radionuklidů jsou obsaženy v materiálech vyrobených z odpadních surovin a ze

stavebních kamenů bohatých na granitoidní horniny. Týká se to především betonu, cihel a tvárnic. Průměrné ozáření se pohybuje 0,4 – 0,6 mSv za rok.

4. 3. 3. Měření obsahu radonu a přírodních radionuklidů ve vodě

Obsah radonu se ve většině případů měří až v laboratoři, tudíž je nutné odebrat několik desítek litrů vody do speciálních vzorkovnic. Měření je nutné provést do 4 dnů od odběru. Pro měření koncentrace radonu ve vodě je nutné povolení od SÚJB. Obecné doporučené limity popisuje [Tab. č. 7].

Koncentrace radonu ve vodě	Doporučená opatření
do 200 Bq/l	bez opatření
200 až 1000 Bq/l	odvětrání místností s velkou spotřebou vody (koupelny)
nad 1000 Bq/l	odstranění radonu z vody nebo náhrada zdroje vody

[Tab. č. 7]: Koncentrace radonu ve vodě a jejich doporučení (upraveno dle Barnet, 1991).

I když není měření vody pro individuální studny povinné, doporučuje se obyvatelům v oblastech s vyšším radonovým rizikem tato měření nechat provést.

Radon se z vody odstraňuje aeračním zařízením, které vytěsňuje radon a další radionuklidy z vody. Jde v zásadě o techniku provzdušňování. Snižují obsah radonu ve vodě až o 90 %, nicméně provoz takových zařízení je poměrně finančně náročný (statisíce korun), proto se používají jen u větších zdrojů vody (SÚRO, 2017).

4. 3. 4. Měření radonu v ovzduší budov

Do domu se radon dostává nejčastěji špatným utěsněním, spárami a nedostatečnou izolací. Radon se koncentruje nejvíce v noci a ranních hodinách, stejně tak kolísá koncentrace radonu během celého dne. S tím také souvisí roční období, které může mít vliv na samotné rozdíly v přísunu radonu do obydlí (Matolín et Prokop, 1992).

Tato kapitola byla vytvořena jako shrnutí z oficiálních stránek Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (http://www.sujb.cz).

4. 4. Protiradonová opatření

Protiradonová opatření se liší v závislosti na zdroji radonového záření nebo účelu. Máme rozdílná opatření pro stavby, geologické podloží, stavební materiál a vodu. Informace týkajících se protiradonového opatření jsou převzaty z oficiálních stránek Státního ústavu radiační ochrany (SURO).

4. 4. 1. Protiradonová opatření staveb

Před samotnou stavbou domu je nutno provést několik základních úkonů:

- **Územní řízení:** výsledek o radonovém průzkumu pozemku, zda je vhodný. Podobná opatření platí i pro pitnou vodu, pokud je zdrojem vody studna. Za veřejné vodovody zodpovídají dodavatelé.
- **Stavební řízení:** přizpůsobení stavby protiradonovým opatřením, prověřit stavební materiály, zda nevykazují známky vysokého obsahu radionuklidů.
- **Kolaudační řízení:** dle úrovně radonového rizika se stanovují opatření.

Opatření u nových budov se odvíjí v závislosti na kategorii radonového rizika, které dokládá tabulka s přehledem doporučení [Tab. č. 8].

	Kategorie radonového rizika pozemku			
Opatření	Nízké	Střední	Mírně vysoké	Vysoké
Hydroizolace	*	*	*	*
Protiradonová izolace		**	**	**
Protiradonová izolace + odvětrání podloží				**
Protiradonová izolace + odvětraná vzduchová mezera				**

[Tab. č. 8]: Přehled doporučených protiradonových opatření u nových staveb (*standardní doporučené použití, ** použití doporučené pouze v případech, kdy nejsou v kontaktních podlažích obytné místnosti nebo v kombinaci s nucenou ventilací vnitřního vzduchu) (Zdroj: SÚRO).

Při rekonstrukcích se provádí stavební řízení, kdy se měří koncentrace radonu v domě, pokud jsou překročeny hodnoty 200 $Bq.m^{-3}$, doporučuje se použít protiradonová opatření. V kolaudačním řízení se potom provádí kontrolní měření, zda byla koncentrace radonu překročena i za normálních podmínek. U stávajících budov se provádí radonová diagnostika objektu. Hodnotí se stav objektu, dispoziční řešení, izolace a systém ventilace. Pro ulehčení diagnostiky je také průzkum technického stavu budovy.

4. 4. 2. Opaření proti radonu z vody

Nejběžnějším opatřením je dostatečná ventilace v koupelnách a kuchyních, aby se radon dostal ven z budovy. V případě vyšších koncentracích se radon z vody odstraňuje sanací.

4. 5. Historie radonové problematiky ČR

Dlouhou dobu byl radon považován za příčinu vzniku karcinomu plic u horníků, nicméně až v roce 1952 objevil Bale, zhruba ve stejnou dobu i Běhounek, hlavní příčinu – inhalaci krátkodobých radionuklidů, které vznikají přeměnou radonu, ty se následně při vdechnutí usadí v plicích a dochází k ozáření plicních buněk (Radon Bulletin, 2001). Právě tento objev měl za cíl snížit počet nemocných horníků v uranových dolech (Darby et al, 1995). Na základě toho byly provedeny epidemiologické studie, které se zabývaly vztahem rakoviny plic u vybraných skupin horníků (Radon Bulletin, 2002).

Velmi brzy na to byl „objeven" radon i v jiných částech světa. V roce 1956 byly zjištěny vyšší hodnoty radonu v domech ve Švédsku, nicméně zvýšené dávky byly lokálního charakteru a nevěnovala se tomu příliš velká pozornost (Radon Bulletin, 2002). Až v 70. letech 20. století se objevují další zprávy a informace o vyšších koncentracích radonu v Evropě.

V České republice, respektive v tehdejším Československu můžeme datovat přípravy prvních verzí radonového programu do roku 1978. Radonový program se týkal těžby v Jáchymově. Později se ukázalo, že tato situace je v globálním měřítku ojedinělá, a to díky geologickému podloží (SÚJB, 2016).

Na začátku 80. let 20. století probíhala v Poříčí u Turnova výroba pórobetonu, u které byla zjištěna mnohonásobně vyšší koncentrace radionuklidů, než bylo povoleno. Důvodem byl vysoký obsah popílků, který pocházel z místní elektrárny, která používala ke spalování obohacené černé uhlí o uran. Proto bylo vydáno rozhodnutí o snížení vyrábění stavebního materiálu obsahujícího radioaktivní dceřiné produkty rozpadové řady uranu (především rádium a radon), přestože koncentrace v domech/bytech byly překročeny jen minimálně (zhruba 30 000 domů) (Radon Buletin, 2014).

Podobný případem bylo i použití škváry z elektrárny v Rynholci u Nového Strašecí. Obsahovala čtyřikrát větší obsah radionuklidů než pórobeton z Poříčí. Již v roce 1960 se rozhodlo, že se při výrobě stavebních materiálu škvára používat nesmí (Barnet, 1999). Domy postavené před tímto opatřením neprošly žádnou sanací.

Na konci 60. let ovšem došlo k obnově výroby stavebních materiálů z radioaktivní škváry v Rynholci. Během let 1972-83 bylo postaveno 3 000 rodinných domů (Barnet, 1999). Stavební materiál neobsahoval jen vyšší koncentrace radonu, ale v budovách byly také vyšší dávky gama záření. Tento problém se začal řešit až před rokem 1989 (SÚJB, 2016), kdy vláda musela pod

tlakem veřejnosti nabídnout odkoupení domů nebo sanaci (většina rodin se rozhodla pro sanaci).

Během 80. let 20. století byly nalezeny budovy s vysokou koncentrací radonu, nicméně se nejednalo o radioaktivní stavební materiál, ale o přirozený výskyt radonu v geologickém podloží. Na základě toho Český geologický ústav vytvořil jistou typologii předpokládaných míst s nízkou, střední nebo vysokou koncentrací radonu, vznikly tak mapy radonového rizika, dnes pod názvem mapy radonového indexu (SÚJB, 2016).

Problematika byla také zavedena do legislativy vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č. 76/1991Sb., posléze následovala usnesení přímo k problematice radonu (č.150/1990 a č.709/1993), díky čemuž mohly být poskytnuty státní dotace pro ochranu před radonovým zářením.

V roce 1997 došlo k upravení problematiky radonu tzv. atomovým zákonem (č. 18/1997Sb.) a vyhláškou SÚJB o radiační ochraně č. 184/1997Sb. Tím vznikla povinnost měřit radonový index pozemku, kde vznikne nová stavba, stejně tak povinnost výrobců měřit obsah radioaktivních látek ve stavebních materiálech a vodě. V současnosti platí novela o radiační ochraně z roku 2002 (č. 307/2002 Sb.).

V roce 1999 bylo zahájeno (dle usnesení vlády) první desetileté období – radonový program, jehož účelem bylo se zabývat vyhledáváním budov s vyšší koncentrací radonu, a tak přijít s preventivními protiradonovými opatřeními, informovat veřejnost o problematice a zaměřit cílený výzkum. Radonový program umožnil také financování protiradonových opatření prostřednictvím okresů a krajských úřadů (Radon Bulletin, 2004).

V roce 2009 byl radon Mezinárodní zdravotnickou organizací (WHO) označen za druhou nejvýznamnější příčinu vzniku rakoviny plic po kouření (WHO, 2009).

O rok později byl spuštěn nový akční plán radonového programu na období 2010–2019. Výsledky měření (mapa) z předcházejícího období jsou v této práci ve formě příloh.

4. 6. Radonový program – akční plán (2010–2019)

Radonový program ČR pro období 2010–2019 navazuje na radonový program z let 2000–2009, na základě usnesení vlády z roku 1999 (v roce 2002 novelizace). Radonový program byl zpracován s ohledem k právním předpisům ČR pro radiační ochranu a bere v úvahu i požadavky a novely Evropské unie.

Aktuální návrhy novely dle směrnice Rady 96/29/Euratom se soustřeďují na regulaci ozáření z přírodních zdrojů. Novela také zohledňuje požadavky na vyšší koncentrace radonu v bytech nebo na pracovištích. Akční plán požaduje následující cíle:

- Snížení rizika rakoviny plic z radonu.
- Identifikovat oblasti s vyšší koncentrací radonu.
- Stanovení požadavků na pracovištích, kde je vyšší riziko z ozáření.
- Prevence a sanace stávajících budov s vyšších obsahem radonu v základech domů nebo stavebních materiálech.
- Zpracování metod měření a náprava škod.
- Jasné vymezení strategie informovanosti a následné rozdělení povinností mezi jednotlivé orgány.

V rámci akčního plánu radonového programu jsou zahrnuty i možné státní dotace na vyhledávání a ozdravování budov s vysokými dávkami radonu.

Přijetí těchto nových směrnic mělo za cíl sjednotit dosavadní odlišné přístupy k samotné problematice radonu. Podobná opatření byla zavedena i v dalších zemích Evropy (Velká Británie, Francie, Švédsko, USA a Švýcarsko).

Akční plán pro období 2010-2019 také obsahuje nová doporučení od Mezinárodního výboru pro radiační ochranu (ICRP 103) z roku 2007. Doporučené jsou maximální roční efektivní dávky radonu 10 mSv a objemová aktivita radonu v budovách 600 $Bq.m^{-3}$. Cílem není jen snížit hodnoty na referenční hodnotu, ale také stabilizovat a snížit ozáření obecně.

Na tato ustanovení reagovala i Světová zdravotnická organizace (WHO) vyhlášením projektu Mezinárodní radonové ochrany (International Radon Project), kde poukazuje na problematiku radonu a kvality ovzduší v budovách.

4. 6. 1. Struktura akčního plánu

Plán má čtyři základní body:

1) **Strategie informovanosti:** cílem je zlepšení obecné informovanosti populace o přírodním ozáření radonem a jeho možnými zdravotními následky:
    - Příprava a zpracování nových informačních materiálů
    - Organizace celostátní kampaně na zlepšení povědomí o radonovém záření.
    - Správa webových stránek Radonového programu ČR a samotné poradny Státního ústavu pro jadernou bezpečnost.
    - Vytváření motivačního programu (zapojení správních orgánů).

2) **Strategie protiradonové prevence:** zaměření se na koncentrace radonu v novostavbách a stávajících budov. Provádění některých preventivních protiradonových opatření při stavbě budov a snížit hladinu radonového záření na hodnoty v souladu se směrnicemi. Z hlediska ekonomickou-sociálních faktorů je směrnice objemové aktivity radonu stanovena na 200 $Bq.m^{-3}$.

3) **Strategie usměrňování stávajícího ozáření z radonu:** snaha snižovat počet budov s vyšší koncentrací radonu, u kterých byla překročena objemová aktivita radonu 400 $Bq.m^{-3}$. S tím musí být zajištěna možnost kvalitního měření pro vyhledávání budov, podpora vlastníků nemovitostí, aktualizace právního rámce (kritéria vymezující podmínky pro poskytování dotací, jak na samotné budovy, tak na vodovody), zajištění systému nezávislého kontrolního měření a vytváření datových řad pro průběžné a dlouhodobé analýzy dopadu efektivity programu na Českou republiku, identifikaci slabých míst, opatření pro zvýšení účinnosti atd.

4) **Odborná vědecko-technická podpora realizace úkolů Akčního plánu:**
   - Shromažďování údajů o ozáření z radonu, o trendech tohoto typu záření, souvisejícím zdravotní riziku, účinností prevence a ozdravování a jejich vyhodnocování.
   - Vývoj měřících a diagnostických metod.
   - Vývoj nových technologií stavebních protiradonových opatření.
   - Vývoj metodiky stanovení radonového indexu stavby.
   - Vývoj geofyzikálních metod hodnocení radonového rizika.
   - Vývoj a zpracování mapových podkladů pro hodnocení rizika geologického podloží a bytového fondu ČR, aktualizace a detailizace prognózních map radonového rizika na území ČR.
   - Vývoj a inovace postupů pro snižování obsahu radioaktivních látek ve vodě.

5] VLIV RADONOVÉHO ZÁŘENÍ NA KARCINOM PLIC

5. 1. Karcinom plic

Rakovina plic neboli karcinom plic, někdy také jako bronchogenní karcinom, označuje zhoubné nádory průdušek nebo plic. Svým charakterem je těžké je odlišit, proto je často problematika určení, zda se jedná o rakovinu průdušek nebo spíše rakovinu plic. To může mít posléze vliv na statistické vyhodnocení úmrtnostních tabulek. Z praktického hlediska není až tak zásadní, zda je jde o nádor už v oblasti plic nebo průdušek, léčba je často stejná. Obecně za rakovinu plic nebo průdušek můžeme označit maligní (zhoubný) nádor obsahující rakovinné buňky (v plicích nebo průduškách), bez ohledu na nádorové stádium nebo typ nádorové tkáně (Zatloukal et Petruželka, 2001).

5. 1. 1. Dělení karcinomu plic

Rakovinu plic můžeme dělit podle několika hledisek, od kterých se odvíjí následující léčba (Pešek et al., 2002):

- Rozsahu a umístění
- Histologie (složení nádoru)
- Biologické povahy (schopnost růst, rozšířit se do jiných tkání)

5. 1. 1. 1. Dle rozsahu a umístění

Dělení rozsahu a umístění je založeno na třech základních kritériích: na rozsahu nádoru (T), přítomnosti nebo absence metastáz v mízních uzlinách (N) a přítomnosti nebo absenci vzdálených metastáz (M). Na základě toho se klasifikace označuje jako TNM. Jednotlivá klinická stádia onemocnění mají čtyři stupně. Samotná klasifikace byla v roce 2009 upravena a dále rozdělena do podkategorií.

5. 1. 1. 2. Dle histologie

- Malobuněčný karcinom.
- Adenokarcinom.
- Velkobuněčný karcinom.
- Adenoskvamózní karcinom.
- Karcinomy s pleomorfními, sarkomatoidními nebo sarkomatózními elementy.
- Karcinoid.
- Karcinom typu slinných žláz.
- Blíže nespecifikovaný karcinom.

5. 1. 1. 3. Dle biologické povahy

Dle biologické podstaty můžeme rakovinu plic dělit do dvou skupin:

Malobuněčný karcinom plic: je typický rychlým růstem, brzy vytváří metastáze, nicméně reaguje velmi dobře na léčbu cytostatiky a zářením. Tvoří 20-25 % veškerých karcinomů plic.

Nemalobuněčný karcinom plic: zahrnuje všechny plicní karcinomy mimo malobuněčných (dle histologie viz. výše). Mají pomalejší růst, proto se většinou doporučuje chirurgické odstranění v případě, že netvoří metastáze. Na radioterapie a cytostatika reaguje obvykle s menší efektivitou než malobuněčné karcinomy plic. Tvoří zhruba 75-80 % případů onemocnění karcinomem plic.

Karcinom může obsahovat buňky více typů karcinomů, potom se označuje jako **kombinovaný**.

5. 1. 2. Epidemiologie karcinomu plic

Nečastější příčinou vzniku karcinomu plic je kouření, a to nejen u těžkých kuřáků, ale i u pasivních kuřáků je riziko vzniku karcinomu plic vyšší. Zvláště skupiny dětí a mladistvých jsou často tímto rizikem v domácnostech, kde se kouří ohroženi nejvíce (Martins et Pereira, 1999).

Dalším spouštěčem vzniku karcinomu plic může být radon pronikající do obytných prostor skrze základy, respektive geologické podloží. Obzvlášť rizikové jsou domácnosti, kde dochází k minimálnímu odvětrávání (Zatloukal et Petruželka, 2001). Podobně jako radon může i ionizující záření způsobit karcinom plic. Specifickým případem jsou pak karcinomy plic způsobené azbestem, kde unikající páry mohou způsobit tvorbu nádorových buněk (Dlouhá, 2008).

Dle údajů z roku 2007 patří karcinom plic mezi nejčastější zhoubné nádory v České republice. U mužů je incidence 93 nových případů na 100 000 obyvatel. U žen došlo k rapidnímu nárůstu incidence (33 případů na 100 000 obyvatel) oproti roku 1980, kdy byla incidence 10/100 000. Průměrná incidence za obě pohlaví se pohybuje okolo 60 případů na 100 000 obyvatel. Nejčastější incidence rakoviny plic se objevuje u věkové skupiny 55-80 let (Skřičková, 2013).

5. 1. 3. Symptomy karcinomu plic

Prvotní příznaky rakoviny plic nelze zachytit v iniciálním stádiu. Pokud se nádor objeví před projevem příznaků, je to obvykle v rámci jiného vyšetření, příznaky se totiž objevují až v pokročilém stádiu onemocnění. Mezi nejčastější příznaky patří (Skřičková, 2013):

Problémy v hrudní oblasti: dlouho trvající kašel, vykašlávání krve, neustupující záněty plic, nespecifikovaná bolest v hrudním koši, dechové obtíže, chrapot, syndrom horní duté žíly (zvětšují se lymfatické uzliny a přilehlé žíly, otéká hlava a krk).

Mimoplicní příznaky: obvykle indikují rozšíření nádoru a tvorbou metastází. Může dojít k porušení jiných orgánů (kosti a játra) nebo centrální nervové soustavy. Nejpatrnější jsou obvykle příznaky spojené s postižením mozku, což má za následek neurologické a psychické poruchy. U kostí může dojít k vypuknutí anémie, lámavostí kostí atd. Naopak metastáze v játrech mohou být dlouho dobu nezřetelné, posléze se mohou projevit jako žloutenka.

Paraneoplastické příznaky: jde o vedlejší projevy nádorového růstu, které se mohou projevit poměrně brzy. Jsou často vázané na vylučování určitých hormonů těla v těle, což se může projevit zánětem žil, svalovou slabostí nebo kožními problémy.

5. 1. 4. Diagnostika

Důležitou věcí pro diagnostiku rakoviny plic je klinické vyšetření, které je prvním krokem u nádorových onemocnění. Při rakovině plic nemusí lékař poznat změny na plicích pouhým poslechem. Řada pacientů nevykazuje známky abnormalit (Zatloukal et Petruželka, 2001). Nutné je také vyšetřit lymfatické uzliny a další orgány, které mohou být vlivem metastáz zvětšené (př.: játra).

Následují tzv. **zobrazovací metody**, kam spadá rentgenové vyšetření, CT, magnetická rezonance s pozitronovou emisní topografií (PET) (Marel, Skácel, Špásová et al., 2004). Cílem těchto metod je přesně lokalizovat velikost a rozsah nádoru. U pokročilejších stádií se provádí i vyšetření břišní dutiny ultrazvukem nebo radioizotopové vyšetření na rozsah metastáz v kostech.

Poté, se stanovuje definitivní diagnóza a s tím i odpovídající léčba. K určení finální diagnózy jsou nutná další vyšetření, při kterých se odebírá i část nádorového vzorku. Mezi častá vyšetření patří bronchoskopie (vyšetření dýchacích cest), při odběru nádorové tkáně z lymfatických uzlin nebo samotné nádoru se používá endobronchiální ultrazvuk (EBUS) nebo také elektromagneticky navigovaná bronchoskopie (Pešek et al., 2002).

Další diagnostickou metodou je videoasistovaná torakoskopie (VATS) nebo mediastinoskopie, které se používají k prohlídce hrudních dutin a mezihrudí. Podobně se využívá i biopsie, kdy je vzorek odebrán punkční jehlou přes hrudní koš (Zatloukal et Petruželka, 2001).

Při diagnostice rakovině plic se obecně příliš nevyužívá laboratorních vyšetření krve. Obecně mají vyšší význam při reakci na léčbu, kdy se sleduje počet nádorových markerů v krvi (Marel, Skácel, Špásová et al., 2004).

5. 1. 5. Léčba karcinomu plic

Léčba rakoviny plic se odvíjí od samotné diagnostiky. Na základě výkonnosti pacientů se hodnotí jejich stav dle 6 stupňů (Skřičková, 2013):

Stupeň	
0	Plně aktivní, schopný běžného života bez omezení.
1	Jsou přítomna mírná omezení běžného života, ale je schopen ambulantní léčby, je schopen lehčí práce a práce administrativní.
2	Jsou četná omezení běžného života, je ale schopen ambulantní léčby, i když není schopen domácích prací, více než 50 % dne je mimo lůžko.
3	Výrazné omezení běžného života s limitovanou sebeobsluhou, více než 50 % dne tráví na lůžku nebo v křesle.
4	Zcela bezmocný, neschopný sebeobsluhy, zcela upoután na lůžko nebo do křesla.
5	Mrtev.

[Tab. č. 9]: Stupně stavu výkonnosti nemocných (upraveno dle Skřičková, 2013).

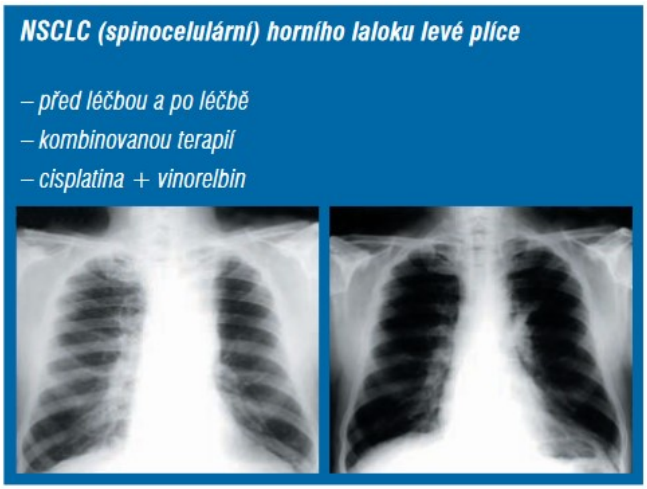
5. 1. 5. 1. Léčba nemalobuněčného karcinomu plic

Chirurgická léčba: používá se především u malých nádorů, které zatím netvoří metastáze nebo nejsou v lymfatických uzlinách. Často se jedná i prvního nebo druhé stádium (dle klasifikace TNM). Obvykle se provádí operace, pokud tomu zdravotní stav pacienta neodporuje. Podobně tomu je i u dalších stádiích, kde se ovšem před chirurgických zásahem obvykle nádor zmenšuje pomocí chemoterapie nebo v kombinací s radioterapií. Po pěti letech od léčby přežívá I. stádium až 70 % pacientů, II. stádium 40 % a III. stádium méně než 15 %. (Pfister et al. 2004).

Chemoterapie: obvykle se používá ve fázi, kdy nádor tvořil metastáze nebo je v pokročilém stádiu. Pro léčbu se využívají cytostatika, která ovšem i v menší míře poškození zdravé buňky. Nádory jsou různě citlivé na cytostatika, některé dokáží vyléčit zcela, některé nádor pouze zmenší a hrozí riziko relapsu (tato situace platí právě i pro rakovinu plic). Obvykle léčba zahrnuje 4-6 cyklů, někdy v kombinaci s radioterapií.

Radioterapie: léčba zářením u pacientů, u kterých není možná operace, kvůli četným metastázím. Obvykle se kombinuje s chemoterapií.

Cílená biologická léčba: často se jedná o nízkomolekulární látky, které mají blokovat nebo inhibovat pochody ve zhoubných buňkách, obvykle zastavení nekontrolovaného množení či schopnost tvořit metastáze. U pokročilých stádii se používá EGFR, což je inhibitor tyrozinkinázy receptoru epidermálního růstového hormonu (Lynch et al., 2004).



[Obr. č. 9]: Rentgenové snímky předa po léčbě spinocelulárního karcinomu plic (LINKOS, 2008).

5. 1. 5. 2. Léčba malobuněčných karcinomů plic

Před samotnou léčbou je nutno rozlišit, zda se jedná o **limitované stádium**, kdy nádor je omezen na jedno plicní křídlo nebo na **extenzivní stádium**, což jsou ostatní formy onemocnění.

Léčba probíhá obvykle chemoterapií po 4-6 cyklech, často s kombinací s radioterapií. V některých případech se ozařuje i mozek, a to z důvodu snížení rizika možných metastáz v něm.

Operace se obecně u těchto malobuněčných nádorů plic běžně neprovádí, pouze v případě, že je nádor odhalen brzy nebo je velmi úzce lokalizován, nicméně i tak se následně pacient podrobuje léčbě cytostatiky (Skřičková et al., 2004).

5. 1. 5. 3. Další léčebné formy karcinomu plic

Mnohdy se hovoří i tzv. **paliativní léčbě rakoviny plic**. Nejedná se přímo léčbu vedoucí k uzdravení, ale zmírňuje příznaky a zlepšuje obecně kvalitu života. Užívá se u pacientů, u kterých již klasická léčba není možná (Skřičková et al., 2004). Může se jednat o aplikace cytostatik do hrudní oblasti, kryoterapii nádoru, laserové operace na úpravu průchodnosti dechových cest, brachyterapii aj.

Další formou léčby jsou tzv**. podpůrné léčby**, které mají za úkol pacientovi ulevit. Neřeší přímo nádorové onemocnění, ale opět příznaky nebo samotnou stabilizaci zdravotního stavu. V souvislosti s léčbou, se často řeší i výživový plán pro pacienty, který může zdravotní stav zlepšit a prodloužit život.

5. 1. 6. Pneumoonkologická pracoviště ČR

Základním problémem u karcinomu plic je ten, že je diagnostikován často pozdě, obvykle ve chvíli, když už není možná chirurgická léčba, která je relativně úspěšná. Odstranění nádoru je totiž jediná možnost, jak se úplně vyléčit (Pešek et al., 2002).

Problematikou diagnostiky karcinomu plic a jejích příznaků se zabývají plicní oddělení fakultních, krajských nebo i městských nemocnic. V České republice také existují tzv. **pneumoonkologická centra**, která jsou přímo specializovaná na rakovinu plic a průdušek.

- Klinika nemocí plicních a TBC, Fakultní nemocnice Plzeň.
- Klinika pneumologie, Nemocnice na Bulovce.
- Klinika nemocí plicních a TBC, Fakultní nemocnice Motol.
- Pneumologická klinika, Fakultní Thomayerova nemocnice v Praze.
- Klinika nemocí plicních, Fakultní nemocnice Hradec Králové.
- Klinika nemocí plicních a TBC, Fakultní nemocnice Brno-Bohunice.
- Klinika plicních nemocí a TBC, Fakultní nemocnice Olomouc.
- Klinika nemocí plicních a TBC, Fakultní nemocnice Ostrava.

5. 2. Radon a karcinom plic

O vlivu radonu na zdravotní stav člověka se dočítáme už od druhé poloviny 20. století. Identifikací těchto účinků se zabýval UNSCEAR, a to především v novějších pracích z roku 2000 (UNSCEAR, 2000) a 2008 (UNSCEAR, 2008). Dále také Národní rada pro výzkum (NRC, 1988; NRC 1999), IARC (1988) a WHO (2009). Právě tyto studie se staly podkladem pro podrobnější zprávy UNSCEAR a jeho hodnocení rizik radionuklidů v domácnostech a na pracovištích (UNSCEAR, 2008) a příručce o radonu, kterou publikovala Mezinárodní zdravotní organizace v roce 2009 (WHO, 2009).

Většina studií, která probíhala především v minulosti, ale v zásadě ještě dnes, se opírá zhruba v 70 % případů o výzkumy prováděné u horníků pracujících v uranových dolech. Pouze jen 30 % studií se opírá o výzkumy provádění v domácnostech a budovách. Z hlediska budoucnosti se asi tento poměr více vyrovná, jelikož problematika radonu nebo obecně radionuklidů v budovách je zkoumána v posledních letech více (WHO, 2009).

5. 2. 1. Hornické studie

Poprvé v 60. letech 20. století se otevřeně mluví o důkazech zvýšeného rizika rakoviny plic v důsledku ozáření radonem u horníků, včetně možných následků na potomstvo (NRC, 1998). Na základě toho IARC klasifikovalo radon jako jeden z dalších karcinogenů pro člověka (IARC, 1998). Poté, bylo publikováno i několik prací, které se zabývaly přímo související problematikou. Za zmínku stojí zmínit práce od UNSCEAR z roku 2000 (UNSCEAR, 2000) a 2008 (UNSCEAR, 2008), příručku o radonu v budovách od WHO (WHO, 2009) a publikace od ENS mezi lety 1980–2006 (BIER III – VII, 1980–2006)

V roce 1999 ENS v projektu BEIR VI zveřejnil zprávu o společné analýze 11 kohortových studií (BEIR VI, 1999). Tato studie zahrnovala celkem 60 000 horníků, především však z oblasti těžby uranu, méně pak pracovníky v dolech těžících cín, fluorit nebo železa. Data pocházejí z Asie, Austrálie, Evropy a Severní Ameriky. Kohortová studie zaznamenala 2600 úmrtí na rakovinu plic. Riziko rakoviny plic se v jednotlivých studiích zvyšovalo přímo úměrně se zvyšující se koncentrací radonu, nicméně míra rizika se mezi jednotlivými studiemi lišila až 10krát. Na základě společné analýzy 11 kohort bylo průměrné tzv. **přídavné relativní riziko** (ERR = excess relative risk) na expozici pracovníků, které se uvádí v jednotkách **WLM** (working level month) - koncentrace produktů přeměny ve vzduch (WL = odpovídá zhruba 130 000) a trvání expozice v měsících (170 pracovních hodin) (SÚRO, 2003).

Na základě toho bylo odhadnuto přídavné relativní riziko 0,44 % (95 % IS: 0,2 – 1). ERR/WLM klesají s rostoucím časem, kdy nejsme vystaveni expozici, a naopak se zvyšují s věkem. Samotné riziko je pak značně ovlivněno intenzitou a délkou expozice. Nicméně, studie BEIR VI (BER, 1999) ukázala jistý inverzní účinek související s mírou efektu expozice na hornících. Osoby vystavené expozici radonem při poměrně nízkých dávkách radonu měly větší ERR/WLM než osoby exponované při dávkách vyšších. V některých případech byly k dispozici i údaje o kouření. Na základě toho byly provedeny samotné analýzy pro skupinu kuřáků a nekuřáků, z kterých vyšlo, že hodnota ERR/WLM je pro nekuřáky (1,02 %, 95 IS: 0,15 – 1,38) vyšší než pro kuřáky (0,48 %, 95 % IS: 0,18 – 1,27), přestože se tento rozdíl ukázal jako statisticky nevýznamný.

Ačkoliv se riziko radonu může zdát jako poměrně klíčový faktor pro rakovinu plic, jen nutno vzít v potaz, že kohortové studie jsou značně heterogenní a při vyšším počtu se zvyšují rozdíly. Je nutno tedy přihlédnout i k dalším faktorům jakou rozdíly v expozici, jiné faktory pracovního rizika, životní styl, genetika atd. (BEIR VI, 1999).

Později byly publikovány další studie založené na stávajících horníkových kohortách. Touto problematikou se ve svých pracích zabývali Langholz a kol. (1999), Stram a kol. (1999), Hauptmann a kol (2001), Hornurg (2001) a Archer a kol. (2004).

Pro získání dalšího pohledu vlivu radonového záření na rakovinu plic byly použity údaje o kohortách horníků z České republiky, Francie, Colorada a Číny, na které byly použity různé biologické modely, shrnutí výsledků popisuje zpráva UNSCEAR z roku 2008 (UNSCEAR, 2008). Posléze byla česká, francouzská a kanadská kohortová studie aktualizována.

Významně se poli výzkumu podílela i Brazílie se svou prací od Veigy a kol. (2007), nebo některé nové provedené studie v Polsku a Německu.

Za zmínku stojí uvést německou kohortovou studii horníků Wismut (Grosche et al., 2006; Walsh et al., 2010), která je podobná souhrnné studii BEIR VI (BEIR VI, 1999). Zahrnovala kohortu 59 000 mužů, kteří byli zaměstnáni v uranovém průmyslu ve východním Německu. Sledování úmrtnosti do roku 2003 ukázalo celkem 3016 úmrtí na rakovinu plic. Byl použit lineární model výpočtu relativního rizika, kde vycházel průměrný ERR/WLM 0,19 % (95 % IS: 0,16 – 0,22) (Walsh et al., 2010). Ve studiích byl přítomen silný efekt inverzní expozice u koncentrací radonu větší než 100 WLM. Informace o kouření byly v kohortě omezené, proto je nešlo do studie aplikovat s nějakým signifikantním závěrem.

Případová studie Brueske-Hohlfeld a kol. (2006) pojednává o incidenci rakoviny plic mezi německými horníky, včetně detailních informací o kouření (přesněji o celoživotních kuřácích), nalezla o něco větší ERR/WLM pro nekuřáky (0,2 %; 95 % IS: 0, 07 – 0,48) než pro bývalé kuřáky (0,1 %; 95 % IS: 0,03-0,23) a stávající kuřáky (0,05 %; 95 % IS: 0,00-0,14). Údaje ukazují na sub-multiplikativní účinek obou faktorů, což znamená, že kombinace obou expozic (radonu a kouření) nenásobí riziko obou účinků, ale naopak je téměř poloviční. Jedna expozice částečně potlačuje vliv té druhé.

Tomášek a kol. (2008) zkoumali riziko radonu zejména při nízkých expozicích, založené na souhrnné analýze českých a francouzských kohort, ve kterých bylo celkem přes 10 000 horníků. Tito horníci se vyznačovali nízkou úrovní expozice (v průměru WLM <60) po relativně dlouhou dobu (zhruba 10 let) a stabilní expozicí radonu.

Celková hodnota ERR/WLM související s naměřenými hodnotami byla 2,7 % (95 IS: 1,7 - 4,3). Nepozorovala se žádná míra inverzní expozice nižší než 4 WL. Tento výsledek byl v souladu s odhady zprávy BEIR VI (BEIR VI, 1999) používající koncentrační model dle věku při expozici pod 0,5 WL.

5. 2. 2. Rezidenční studie

Obecně studie rizika rakoviny plic na hornících nelze přímo extrapolovat na expozice radonu v domácnostech. Z toho důvodu řada epidemiologických studií začala přímo zkoumat souvislosti mezi radonem uvnitř budov a rizikem rakoviny plic (BEIR VI 1999; UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2008; WHO, 2009). První tyto studie byly ekologické, v nichž byly průměrné koncentrace radonu korelovány s průměrnou mírou rakoviny plic na agregované geografické úrovni. Tento typ studií je obecně náchylný ke zkreslení (UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2008; Puškin, 2003). Později se uskutečnila řada případových studií, které shromáždily podrobné informace o historii kouření a dalších rizikových faktorech pro rakovinu plic a retrospektivně posoudily expozici radonu měřením v současných a dříve obývaných bytech/domech účastníků studie.

Podrobná analýza výsledků těchto jednotlivých případových kontrolních studií je uvedena ve zprávě UNSCEAR z roku 2008 (UNSCEAR, 2008). Většina studií ukázala pozitivní souvislost mezi expozicí radonu a rizikem rakoviny plic, avšak odhadované rizikové koeficienty často nedosahovaly statistické významnosti v jednotlivých studiích. Navíc došlo k výraznému rozdílu v odhadovaném riziku souvisejícím s radonem.

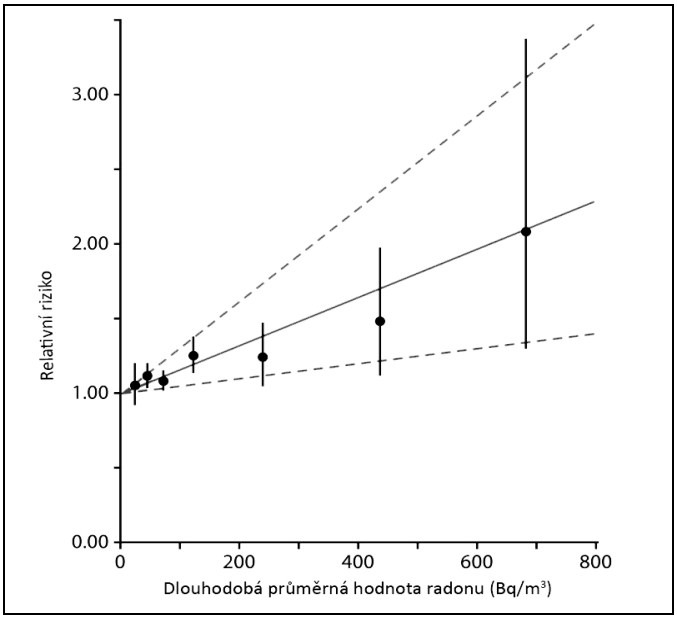
Taktéž bylo provedeno několik metaanalýz k objektivnímu shrnutí předchozích studí (Lubin et Boice, 1997; Lubin, 1999; Pavia et al., 2003), nicméně rozdíly v metodice používané k analýze jednotlivých studií, jako je úprava kouření nebo kvantifikace expozice, značně omezovaly interpretaci samotných metaanalýz. Z tohoto důvodu byly shromážděny původní údaje jednotlivých studií a byly provedeny společné analýzy jednotlivých údajů z 13 evropských studií (Darby et al, 2005; Darby et al, 2006), 7 severoamerických studií (Krewski D et al. 2005, Krewski D et al., 2005) a 2 čínských studií (Lubin et al., 2004).

Největší z těchto studií je právě ta evropská publikovaná Darbym a kol. (2005, 2006). Zahrnuje 7148 případů a 14 208 kontrol ze 13 evropských radonových studií zaměřených na případové studie rakoviny plic, všechny s podrobnými informacemi o historii kouření a radonových měřeních v domácnostech, kde jednotlivci žili 15 let a více. Dostupná měření radonu pokrývala průměrnou dobu 23 let. Individuální expozice radonu byla vypočítána jako časově vážený průměr koncentrací radonu ve všech domácnostech obývaných během posledních 5-34 let, přičemž chybějící hodnoty radonu byly nahrazeny průměrnou hodnotou v daném regionu.

Statistický model byl upraven tak, aby v něm bylo dodatečné riziko karcinomu plic úměrné naměřené hodnotě radonu. Kromě toho byla radonová expozice rozdělena do kategorií a relativní riziko v jednotlivých kategoriích naměřených hodnot radonu bylo vykresleno proti průměrné úrovni v těchto kategoriích. V obou případech byla provedena podrobná stratifikace pro věk, pohlaví, bydliště a 25 kategorií kouření. Data ve studii byla agregována.

Ve sdružené analýze bylo přídavné relativní riziko rakoviny plic na 100 $Bq.m^{-3}$ radonu 8 % (95 % IS: 3-16). Tento nárůst se významně nelišil dle věku, pohlaví nebo kouření. Odpovídající odhady rizik pro celoživotní nekuřáky, bývalé kuřáky a současné kuřáky byly 11 % (95 % IS: 3-28), 8 % (95 % IS: 3-21) a 7 % (95 % IS: 1-22). Na základě vyšlo, že vztah expozice-reakce je zhruba lineární. Výsledky ukázaly riziko karcinomu plic 1,2krát (95 % IS: 1,03-1,30) vyšší u jedinců s naměřenými koncentracemi radonu 100-199 $Bq.m^{-3}$ než u osob s koncentrací <100 $Bq.m^{-3}$. Nárůst byl statisticky významný.

Analýza založená na dlouhodobé průměrné koncentraci radonu, která bere v úvahu náhodnou meziroční variabilitu naměřené koncentrace radonu v domácnostech, vedla k nárůstu přídavného relativního rizika na 16 % (95 % IS: 5-31) na 100 Bq.m^{-3}. Riziko se významně nelišilo podle dle věku, pohlaví nebo kouření. Lineární vztah dokládá [obr. č. 10].



[Obr. č. 10] Vztah relativního rizika k dlouhodobé průměrné hodnotě radonu v domácnostech (upraveno dle Darby et al., 2006).

Darby a kol. (2006) se také zabývali kombinovanými účinky kouření a radonu. [Tab. č. 10] udává informace o kumulativním riziku úmrtí na rakovinu plic ve věku 75 let u celoživotních nekuřáků a u kuřáků kouřících 15-24 cigaret denně. Pro tuto analýzu se počítalo s přídavným relativním rizikem 16 % na 100 Bq.m^{-3} dlouhodobé průměrné koncentrace radonu, která byla nezávislá na kouření.

Koncentrace radonu (Bq.m^{-3})	Riziko úmrtí na 1000 stávajících kuřáků	Riziko úmrtí na 1000 nekuřáků
0	101	4,1
100	116	4,7
200	131	5,4
400	160	6,7
800	216	9,3

[Tab. č. 10] Kumulativní riziko úmrtí na rakovinu plic u osob ve věku 75let (u kuřáků a nekuřáků) s různým koncentrace radonu (upraveno dle Darby et al., 2006).

Celoživotní nekuřáci s dlouhodobou průměrnou koncentrací radonu 0, 400 nebo 800 Bq.m^{-3} byli spojeni s kumulativním rizikem úmrtí na rakovinu plic, na základě toho bylo odhadnuto počet úmrtí na 1000 nekuřáků. Při nulové koncentraci 41 úmrtí, u 400 Bq.m^{-3} bylo již 67 případů úmrtí na rakovinu plic a při dávkách 800 Bq.m^{-3} byl počet případů úmrtí odhadnut na 93. U stávajících kuřáků byly odhadovány hodnoty 101, 160 nebo 216 na 1000 kuřáků. Pro osoby, které přestaly

kouřit, jsou rizika související s radonem podstatně nižší než u těch, kteří i nadále kouří, ale zůstávají značně vyšší než rizika pro celoživotní nekuřáky. Relativní riziko bylo 25,8krát vyšší.

V práci Krewski a kol. (2005, 2006) shrnoval výsledky ze studií v Kanadě a Spojených státech amerických, které čítaly přes 3600 případů a téměř 5000 kontrol. Hladiny radonu v domech byly měřeny po dobu jednoho roku detektory alfa-záření. Vzhledem k tomu, že mezi studiemi nebyla zjištěna statisticky významná heterogenita rizika souvisejícího s radonem, byla provedena kombinovaná analýza. Na základě společné analýzy se zvýšilo riziko vzniku rakoviny plic na 11 % (95 % IS: 0-28) na 100 $Bq.m^{-3}$ zvýšené naměřené koncentrace radonu. Nebyl zjištěny žádné rozdíly v riziku podle pohlaví nebo kouření, ačkoliv se předpokládalo jisté snížení rizika rakoviny plic s věkem. Analýzy omezené pouze na údaje s přesnějšími měřeními (lepší dozimetrie) vedly ke zvýšení odhadu rizika. Například u jedinců, kteří žili pouze v jedné nebo dvou domácnostech v období 5-30 let a u nichž se měření prováděla nejméně 20 let, bylo riziko rakoviny plic 18 % (95 % IS: 2-43).

Čínská sdružená studie publikovaná Lubinem a kol. (2004) zahrnovala 1050 případů a kontrol z roku 1996 ze dvou studií ve dvou oblastech, Gansu a Shenyang. Stejně jako v kanadsko-americké studii byl časově vážený průměr koncentrace radonu v domácnostech vypočten v období expozice 5-30 let. Mezi oběma studiemi nebyly přítomny žádné významné rozdíly. U výsledků naměřených dat bylo zvýšení rizika na 100 $Bq.m^{-3}$ naměřené koncentrace radonu 13 % (95 % IS: 1-36) a výsledky byly v souladu s lineárním vztahem expozice-reakce, bez prahových hodnot. Pokud byla analýza omezena na jedince, kteří měnili pouze jednou bydliště za uplynulé měřící období, riziko se zvýšilo na 33 % (95 % IS: 8-96).

Dle WHO (WHO, 2009) bylo provedeno přezkoumání a porovnání rizik ze tří studií radonu v domácnosti. Odhady rizika související s radonem byly ve všech studiích podobné. V každé studii se projevil lineární vztah mezi expozicí a reakcí, bez prahových hodnot a bez statistické významnosti věku, pohlaví či kouření. Následně byl proveden vážený průměr ke všem třem studiím, což vedlo k odhadu zvýšení rizika rakoviny plic na 10 % na 100 $Bq.m^{-3}$ radonu. Dle předpokladů by toto riziko mohlo dokonce vzrůst na 20 %.

Srovnávat studie prováděné v obytných prostorách a na pracovištích, respektive na hornících je často obtížné, protože nelze obecně posoudit, kde je větší riziko rakoviny plic. Důvodem je především vyšší průměrná expozice radonu mezi horníky. V případě, že jsou koncentrace radonu relativně nízké, jak například popisuje ve své práci Tomášek a kol. (2008), je možné celkem objektivně srovnávat studie založené na měření v domech se studiemi, kde byly použity kohorty horníků (WHO, 2009).

I přes nejednoznačnost prováděných studií se obecně přijímá fakt, že koncentrace radonu nad 150 Bq.m^{-3} je již pro organismus škodlivá. U nižších koncentrací je průkaznost malá (v praxi špatně proveditelné, nutnost velkých populací). [Tab. č. 11] ukazuje hodnoty relativního rizika při 100 Bq.m^{-3}.

Relativní riziko při 100 Bq.m^{-3}		
Země	**Publikováno**	**RR**
Shenjang, Čína	1990	0,89
Finsko	1991	1,19
New Jersey, USA	1992	1,50
Stockholm, Švédsko	1992	1,50
Missouri, USA	1994	1,08
Winnipeg, Kanada	1994	0,97
Švédsko	1994	1,11
Finsko	1996,8	1,11
Metaanalýza	1997	1,09
Anglie	1998	1,08
Německo		1,09
Česká republika	1999	1,08

[Tab. č. 11] Relativní riziko při 100 Bq.m^{-3} ve vybraných zemích (Zdroj: Klener, 2000).

Obecně je nutno brát získané údaje ze všech studií s patřičnou rezervou, jelikož vznikají z národních průzkumů, při kterých nejsou stejná metodická pravidla pro určování objemové aktivity radonu v domě, případně obsah radonu v půdě (Dubois, 2005). V některých zemích byly vybrány lokality na základě hustoty zalidnění, ne přímo na základě radiometrických map, jak tomu bylo například v české republice (Manova et Matolín, 1995). Některé země naopak využívali referenční skupiny, kde nehrála roli hustota zalidnění.

Stejně tak je nutno podoktnout, že ne ve všech zemích jsou národní průzkumy reprezentativní. Hodnoty získání ze zemí jako Čína nebo Indie je nutno brát s rezervou (WHO, c2010). Pro přehled tabulka zemí a koncentrace radonu [Tab. č. 11], samotná měření neprobíhala současně a ani stejnou dobu, nejméně zhruba po dobu 2-3 měsíců, méně již po dobu 1 roku.

Země	Počet domácností	Průměrná OAR (Bq.m^{-3})	Maximum (Bq.m^{-3})
Argentina	-	35	211
Austrálie	-	11	420
Belgie	10 447	69 (48)	4500
ČR	> 150 000	140	25 000
Čína	-	44	596
Dánsko	3120	53 (59)	590
Finsko	3074	120	33 000
Francie	12 261	89	4964
Chorvatsko	782	68	751
Indie	-	57	210
Irsko	11 319	89	1924
Island	-	10	-
Itálie	5361	70	1036
Japonsko	-	16	310
Jižní Korea	-	53	1350
Kanada	-	34 (28)	1720
Lucembursko	2619	115(110)	2776
Maďarsko	-	82	-
Německo	> 50 000	49	> 10 000
Nizozemsko	952	30(23)	382
Norsko	37 400	89	50 000
Nový Zéland	-	22	
Polsko	2886	49	3261
Portugalsko	3317	86(62)	3558
Rakousko	16 000	97 (99)	8325
Řecko	1277	55	1700
Slovinsko	892	87	1890
Španělsko	5600	90	15 400
Švédsko	1360	108	3904
Švýcarsko	55 000	77 (78)	29 705
USA	-	46	-
VB	450 000	20	17 000

[Tab. č. 12] Průměrná objemová aktivita radonu ve vybraných zemích – data dle UNSCEAR, v závorce data dle WHO (upraveno dle UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2008; WHO, 2009).

Jak [Tab. č. 12] naznačuje, v některých zemích jsou hodnoty nejednotné, nemusí se jednat přímo o chybu měření nebo tiskovou, přestože v některých dokumentech se zaměňuje Slovensko a Slovinsko. Důvodem někdy rozdílných měření mohou být jiné lokalit, počet měřených objektů atd., proto je v zásadě diskutabilní, zda je vhodné či ne uvádět průměrnou hodnotu objemové aktivity radon.

5. 3. Studie zamřené na další efekty radonu na zdraví

Problematikou radonu a vzniku jiných onemocnění, než je karcinom plic se zabývali například Laurier a kol. (2001), kteří se zaměřili na leukémii u dětí. Přezkoumali 19 ekologických studií, 8 případových studií a 6 studií s kohortami horníků publikovaných mezi lety 1997–2001. Zatímco

ekologické studie naznačovaly pozitivní korelaci mezi expozicí radonem a leukemií na geografické úrovni, u kohortových tomu bylo přesně naopak. Závěr z této studie byl, že není dostatek dostupných údajů pro potvrzení souvislosti mezi radonem a leukémií.

Podobně se touto problematikou zabývali Řericha a kol. (2006), jež se zabývali kohortami českých horníků, zda se u nich vyskytuje nějak forma leukémie, lymfomů nebo myelomu. Výsledky z kohortové studie [Tab. č. 13] reflektují incidenci vybraných leukemických onemocnění dle ICD-9 (WHO) u vybrané kohorty horníků v uranových dolech.

Diagnóza	ICD-9 kód	1977–1996	1997–2001	Celkem
Lymfosarkom a retikulosarkom	200	11	-	**11**
Hodgkinova nemoc	201	23	-	**23**
Jiný zhoubný novotvar lymf. a hist. tkáně	202	33	-	**33**
Mnohočetný myelom	203	26	-	**26**
Akutní lymfatická leukémie	204.0	2	0	**2**
Chronická lymfatická leukémie	204.1	40	13	**53**
Jiné lymfatické leukémie	204.8	1	0	**1**
Akutní myeloidní leukémie	205.0	14	2	**16**
Chronická myeloidní leukémie	205.1	7	1	**8**
Jiné myeloidní leukémie	205.8	0	1	**1**
Jiná určená leukémie	207	2	0	**2**
Nespecifikované leukémie	208	1	0	**1**
Celkem	**—**	**160**	**17**	**177**

[Tab. č. 13] incidenci vybraných leukemických onemocnění dle ICD-9 (Zdroj: WHO).

Dalšími studiemi jsou dánská případová studie vlivu radonu na leukémii u dětí a riziko radonu v obytných prostorách (Raaschou-Nielsen et al., 2008) a francouzská ekologická studie výskytu leukémie u dětí (Evrard et al., 2006). V těchto studiích podobně jako v té české byla asociovaná jistá souvislosti leukémie a radonového záření. Ovšem jiné studie na hornících v Německu (Mohner et al., 2006; Kreuzer et al, 2008) neukázaly žádnou spojitost mezi leukémií a radonovým zářením.

Celkově jednotlivé kohortové studie poskytly jen málo důkazů o možných dalších rizicích radonu jiných než rakovina plic. Příčinou bude především malý počet případů. Největšími souhrnnými studiemi jsou v tomto ohledu Darby a kol. (1995) a Wismut (Kreuzer et al., 2008).

V souhrnné studii byla totiž pozorována úmrtnost na extrapulmonární rakovinu, která byla blízká očekávané mortalitě (1,01; 95 % IS: 0,95-1,07). Trend s kumulativní expozicí byl statisticky významný teprve po deseti letech práce v dole.

Mezi jednotlivými vyšetřovanými místy byl nalezen statisticky významný nárůst úmrtnosti na leukémii a rakovinu žaludku a jater (práce v dole kratší než 10 let). U žádného ze sledovaných míst onkologických onemocnění nebyla úmrtnost významně spojena s radonovým zářením,

pouze u rakoviny pankreatu, ale zde se předpokládá, že se jedná spíše o náhodu, než i přímou spojitost s radonovým zářením.

V německé skupině studie Wismut nebyl pozorován žádný nárůst v celkové úmrtnosti na extrapulmonární rakovinu ve srovnání s běžnou populací (Kreuzer et al., 2008), zatímco i zde se potvrdil zvýšený počet úmrtí na rakovinu žaludku a jater.

V případě, že byla do analýzy zohledněna kumulativní expozice radonu, došlo ke zjištění statisticky významných asociací pro extrapulmonární rakoviny (ERR / WLM = 0,014 %, 95 % IS: 0,006-0,023) a rakoviny dýchacích cest a průdušnice (ERR / WLM = 0,062 %, 95 % IS: 0,002-0,121) (Kreuzer et al., 2010). Autoři došli k závěru, že studie poskytuje určité důkazy spojitosti rizika radonu a rakoviny dýchacích cest, avšak skepticky dodávají, že i v tomto případě se může jednat o shodu jiných faktorů.

Rozsáhlá případová studie o rakovině hrtanu u německých uranových horníků nezaznamenala žádný vztah s radonovou expozicí (Mohner et al., 2008).

Epidemiologické studie týkající se onemocnění jiných než rakovinných, se zaměřily především na vztah mezi expozicí radonu a kardiovaskulárními onemocněními mezi horníky. Žádná z těchto studií nenalezla přímou spojitost mezi expozicí radonem a kardiovaskulárními onemocněními (Xuan et al., 1993; Tomášek et al., 1994; Villeneuve et Morrison, 1997; Kreuzer et al., 2006; Villeneuve, Lane et Morrison, 2007; Kreuzer et al., 2010).

V Norsku proběhla ekologická studie (Bolviken et al., 2003), která prokázala spojitost radonu v obytných prostorách a roztroušenou sklerózou, nicméně jako ekologická studie je velmi náchylná ke zkreslení, proto je nutno brát výsledky a závěry Bolvikena a kol. s rezervou.

6] METODIKA

6. 1. ZDROJOVÁ DATA

Data pro empirickou část diplomové práce pocházejí z dvou základních zdrojů:

- SÚRO – Státní ústav radiační ochrany
- ČSÚ – Český statistický úřad

Všechny datové soubory jsou na úrovni územní jednotky – okres.

6. 1. 1. SÚRO – Státní ústav radiační ochrany

V rámci výzkumu této diplomové práce mi byl pracovnicí Státního ústavu radiační ochrany Ing. Ivanou Fojtíkovou poskytnut datový soubor s naměřenými hodnotami objemové aktivity radonu na úrovni okresů. Jedná se o sumární databázi měření v obytných jednotkách probíhající mezi lety 1990–2014. Celkem bylo změřeno 165283 obytných jednotek ve všech okresech České republiky.

Objemová aktivita radonu (OAR) se stanovila jako roční průměr, v každém bytě byly umístěny dva detektory v nejvíce používaných místnostech. Každá bytová jednotka byla reprezentována průměrem z dvou současně probíhajících měření. Při stanovení byly použity detektory stop s fólií KODAK LR-115 s roční expozicí.

Na základě ročního měření expozice vznikla geometrická řada měření, ze kterých byl vypočítán **geometrický průměr** (G):

$$G = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} x_i} = \sqrt[n]{x_1 . x_2 . \ldots . x_n}$$

Geometrický průměr reprezentuje průměrný koeficient růstu řetězových indexů (v tomto případě samotných měření). *n* udává počet prvků (měření) datového souboru, X_i prvek (měření) datového souboru.

Výsledná hodnota objemové aktivity radonu se uvádí v jednotkách $Bq.m^{-3}$, což znamená, že každá naměřená hodnota v Bq je vztažena k objemu vzduchu 1 m^3.

6. 1. 2. ČSÚ – Český statistický úřad

Druhým zdrojem dat pro empirickou část byla data z Českého statistického úřadu, která jsou volně k dispozici nebo na vyžádání přímo od pracovníků Českého statistického úřadu, kteří s datovými soubory přímo pracují nebo je i vytváří.

6. 1. 2. 1. Úmrtnostní tabulky

Prvním datovým souborem jsou úmrtnostní tabulky – zemřelí podle seznamu příčin smrti, pohlaví a věku v ČR, krajích a okresech (za období 2000-2009 a 2006-2015). Údaje o zemřelých podle příčin smrti jsou v datových souborech děleny dle Mezinárodní klasifikace nemocí a přidružených zdravotních problémů ve znění 10. decenální revize (MKN-10) zveřejněné v publikací ÚZIS Praha v roce 1992 (později aktualizována) vydanou Mezinárodní zdravotnickou organizací. Názvy příčin nemocí jsou uvedeny podle aktualizované verze k 1. 1. 2013. Příčiny úmrtí jsou v souladu s 10. revizí MKN členěny do 20 kapitol (označené římskými číslicemi I. až XX.). Kapitoly I. - XVIII. zahrnují zemřelé na vnitřní příčiny (zemřelé následkem nemoci či tělesné vady) a kapitoly XIX. a XX. zemřelé na vnější příčiny (zemřelé následkem úrazu, otravy, sebepoškození apod.) (ČSÚ, 2016).

Datové soubory zahrnují všechny obyvatele, kteří mají na území České republiky trvalé bydliště, a to bez ohledu na jejich státní občanství. Od roku 2001 (v návaznosti na Sčítání lidu, domů a bytů) údaje zahrnují rovněž cizince s tzv. dlouhodobým pobytem (tj. s pobytem na základě víza nad 90 dnů, podle zákona č.326/1999 Sb., o pobytu cizinců) a cizince s přiznaným azylem (podle zákona č. 325/1999 Sb., o azylu) na území ČR. Od 1. 5. 2004, v návaznosti na tzv. Euronovelu zákona č. 326/1999 Sb., o pobytu cizinců, se údaje týkají občanů zemí EU s přechodným pobytem na území ČR a občanů třetích zemí s dlouhodobým pobytem. Údaje zohledňují rovněž události (sňatky, narození a úmrtí) občanů s trvalým pobytem na území ČR, které nastaly v cizině (ČSÚ, 2016).

Za zemřelou osobu v demografické statistice České republiky považujeme osobu, za kterou obecní nebo městský úřad pověřený vedením matriky zaslal hlášení o úmrtí (ČSÚ, 2016).

6. 1. 2. 2. Údaje o počtu obyvatel

Druhým datovým souborem jsou data o celkovém počtu obyvatel za jednotlivá pohlaví k 1. 7. daného roku, tedy střední stav dané populace. O podrobnostech počtu obyvatel informují Demografické ročenky pro kraje, okresy, města, obce s rozšířenou působností.

Střední stav obyvatelstva je počet obyvatel daného území pro zvolené střední sledované období v daný okamžik. Kalendářně v České republice je za střední stav obyvatelstva považován počet obyvatel daného území o půlnoci z 30. 6. na 1. 7. sledovaného roku, za střední stav obyvatelstva v kalendářním pololetí nebo čtvrtletí je považován průměr středních měsíčních stavů za dané období, přičemž měsíční střední stav je průměrem z počátečního a koncového stavu daného měsíce. Používá pro výpočet míry porodnosti, úmrtnosti a dalších ukazatelů v přepočtu na 1000 obyvatel. Počet obyvatel na území může být dále specifikován na pohlaví, věk atd. (ČSÚ, 2016).

Na základě vyhlášky č. 513/2006 Sb. o stanovení území okresů České republiky, došlo s účinností od 1. 1. 2007 ke změně zařazení do okresu u 119 obcí. Dle současné Klasifikace územních statistických jednotek je okresů (LAU1) 76, Praha do nich zařazena není (jedná se o samosprávní celek) (ČSÚ, 2016).

6. 2. ZPRACOVÁNÍ DAT A VÝSTUPY

Data objemové aktivity radonu nebylo nutno přímo zpracovávat, byla pouze použita pro vytváření mapy v programu ArcGIS 10 a pro analýzu v programu IBM SPSS Statistics 20.

Data týkající se úmrtnostních tabulek a soubory počtu obyvatel ke střednímu stavu na úrovni okresů byla zpracována, případně agregována samostatně. Pro úmrtnostní tabulky – zemřelí podle seznamu příčin smrti, pohlaví a věku v ČR, krajích a okresech (za období 2000-2009 a 2006-2015) bylo nutné z jednotlivých datových souborů pro okresy (76) vybrat příčinu úmrtí dle klasifikace MKN-10 Zhoubný novotvar průdušky – bronchu a plíce (Novotvary: C00-D48) pro muže, ženy a obě pohlaví (v diplomové práci dále jako rakovina/karcinom plic). Hlavní město Praha jakožto samosprávní území bylo zpracováno z datových krajských souborů.

6. 2. 1. Základní statistika

S ohledem ke změně územních celků a dostupnosti přepočtu na aktuální okresní území, byla pro analýzu zpracována data za období 2001–2015. Z těchto dat byl v programu Microsoft Excel 2016 vypočítán **medián** (M_e) pro každý okres a samosprávní území Praha.

$$\mathrm{Me}(X) = x_{(N+1)/2}$$

Medián je střední hodnota, která dělí řadu vzestupně seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny (vždy je nejméně 50 % hodnot menších nebo rovných a naopak). Ve statistice se medián řadí mezi míry centrální tendence.

Mediánové hodnoty byly zvoleny záměrně, jelikož nejsou tolik náchylné k chybám jako průměry a měřené období reflektuje průměrnou mediánovou hodnotu, tudíž můžeme eliminovat případné odchylky v jednom nebo dvou letech.

V další části zpracování dat bylo nutné vypočítat tzv. **míru úmrtnosti na danou příčinu** ($Ú_p$), která vyjadřuje počet zemřelých (D_n) na určitou nemoc ke střednímu stavu populace (P) na 100 000 obyvatel:

$$Ú_p = D_n / P*100\ 000$$

Při výpočtu míry úmrtnosti na danou příčinu (v tomto případě na zhoubný novotvar průdušky – bronchu a plíce) byly použity mediánové hodnoty pro jednotlivé okresy (pro muže, ženy a souhrnná za obě pohlaví).

Vypočítaná data byla použita pro tvorbu 3 map v programu ArcGIS 10 (pro muže, ženy a souhrnná za obě pohlaví) a pro další zpracování v programu IBM SPSS Statistics 20.

6. 2. 2. Korelační analýza

V poslední části výzkumu byla provedena korelační analýza mezi objemovou aktivitou radonu a mírou úmrtnosti na rakovinu plic.

Korelační analýza zkoumá vztahy mezi proměnnými graficky nebo jako míru závislosti různých měr. Tyto míry obecně označujeme jako korelační koeficienty. U korelace jde v zásadě o asociaci dvou proměnných, které spolu korelují, respektive mají nějaký tendenční vztah vyskytovat se společně s určitými hodnotami druhé proměnné. Míra této korelace nemusí být žádná, což znamená, že hodnoty proměnné Y se vyskytují se stejnou pravděpodobností jako každá hodnota proměnné X. Důležité je při interpretaci korelační analýza nezapomínat na možnost výskytu matoucí proměnné, která může znesnadnit interpretaci výsledků a případně je výrazně nadhodnotit nebo podhodnotit (Hendl, 2004).

Korelačních koeficientů je celá řada, ale nejčastěji se používá Pearsonův korelační koeficient, Spearmanův korelační koeficient a méně už třeba Kendallův korelační koeficient.

- **Pearsonův korelační koeficient:** může nabývat hodnot od – 1 do +1 (v případě 0 neexistuje závislost). Druhá mocnina korelačního koeficientu R^2 se nazývá koeficient determinace a nabývá hodnot od 0 do +1. Pearsonův korelační koeficient je velmi náchylný k odlehlým hodnotám, protože je odvozen z průměru. Měří sílu lineárního vztahu (nelineární vztah zachycuje velmi špatně) (Hendl, 2004).

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{(n-1)\, s_x\, s_y}$$

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

- **Spearmanův korelační koeficient:** koreluje na základě pořadí jednotlivých měření u obou proměnných. Zachycuje monotónní vztah (nejen lineární) a je rezistentní vůči odlehlým hodnotám. Používá se pro spojitá a ordinální data. Nabývání hodnot je jako u Pearsonova korelačního koeficientu od -1 do 1 (v případě 0 neexistuje závislost). Koeficient se spočítá podle následujícího vzorce (Hendl, 2004):

$$\rho_{Sp} = 1 - \frac{6}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^{n} (P_{1i} - P_{2i})^2$$

- **Kendallův korelační koeficient:** založen na inverzích v pořadí hodnot. Seřazuje hodnoty podle jedné proměnné a sleduje posloupnost druhé proměnné. Často se tak hovoří o konkordanci (kladná asociace) a diskordanci (záporná asociace). Nabývá hodnot -1 až 1 (0 neexistuje závislost). Počítá se tzv. Kendallovo tau nebo Kendallovo S (Hendl, 2004):

$T_k = S/D$	$S = P - Q$

Korelační koeficienty vypovídají pouze o vztahu proměnných v daném souboru, proto je nutné sledovat i statistickou významnost – test signifikace, který nám říká, zda korelace je či není statisticky významná. Nicméně, je závislá na velikosti souboru, což může statisticky znehodnotit výslednou interpretaci výsledků (Hendl, 2004).

Míru korelace může i kategorizovat na základě jistých rozmezí, která jsou svým způsobem částečně i subjektivní. Interpretace hodnot korelačních koeficientů je obecně v sociálních vědách často velmi nejednoznačná (De Vaus, 2002).

Hodnota korelace	Interpretace závislosti
0,01 – 0,09	Triviální, žádná
0,10 – 0,29	Nízká až střední
0,30 – 0,49	Střední až podstatná
0,50 – 0,69	Podstatná až velmi silná
0,70 – 0,89	Velmi silná
0,90 – 0,99	Téměř perfektní

[Tab. č. 14]: Interpretace hodnot korelačních koeficientů v sociálních vědách (Zdroj: De Vaus, 2002).

Výstupem korelační analýzy jsou grafy a výpočty samotných korelačních koeficientů (míra asociace proměnné X a Y).

7] VÝSLEDKY

Z analyzovaných datových souborů (viz. metodika) vzešly výsledky v podobě tabulek, map a grafů. První část výsledků tvoří mapy, které zachycují rozložení objemové aktivity radonu a míru úmrtnosti na rakovinu plic vztaženou na 100 000 obyvatel (případně mužů či žen).

Každá mapa má název, měřítko, ukazatel severu a legendu. Byla zvolena barevná škála odpovídající vzrůstajícímu riziku (odstíny zelené značí nižší hodnoty, naopak červené vysoké). Mapa objemové aktivity radonu má pro odlišení jiné barevné škálování než míra úmrtnosti na karcinom plic.

Pro barevné škálování míry úmrtnosti na karcinom plic jsem vytvořil kategorizaci barevného škálování (kategorie I. – V.), které jsou v textu diplomové práce uváděno místo rozmezí hodnot dle tabulky [Tab. č. 15].

Kategorie míry úmrtnosti	Barevné označení	Míra úmrtnosti (na 100 tisíc ob.)
I		<20
II		20–60
III		61-100
IV		101-140
V		>140

[Tab. č. 15]: Kategorie míry úmrtnosti na karcinom plic.

Jednotlivé okresy jsou označeny čísly dle příslušnosti ke kraji (ne tedy abecedně) pro lepší čitelnost mapy. Pod každou mapou se nachází legenda s čísly a názvy okresů, stejně jako komentář k dané mapě.

Druhou část tvoří samotné výstupy korelační analýzy, kde jsou prezentovány výsledky vypočítaných korelačních koeficientů společně s grafickým znázorněním lineární závislosti objemové aktivity radonu a míry úmrtnosti na karcinom plic u mužů, žen a celková.

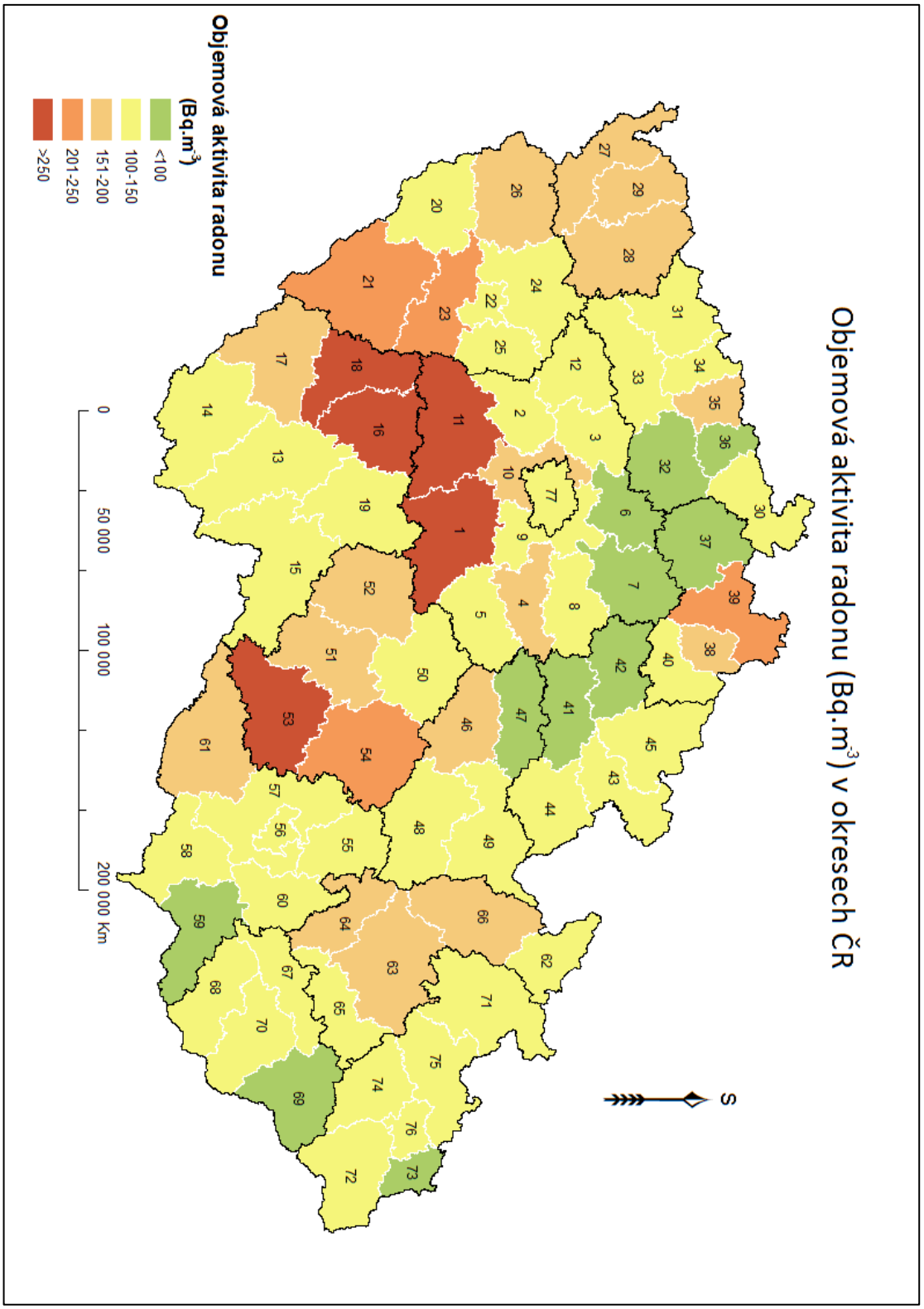
Kritickému zhodnocení výsledků je věnována kapitola 8 – diskuze, kde jsou výsledné mapy a výpočty korelačních koeficientů porovnány.

Okres	OAR	$Úp_C$	$Úp_M$	$Úp_Z$
Benešov	251,30	52,69	78,19	27,69
Beroun	139,10	59,70	86,12	24,13
Blansko	130,30	53,81	80,86	24,61
Brno-město	118,50	160,52	213,39	102,15
Brno-venkov	143,20	72,97	116,60	31,66
Bruntál	133,60	46,60	73,48	20,56
Břeclav	107,10	49,05	78,73	14,83
Česká Lípa	90,60	49,53	72,55	26,78
České Budějovice	126,30	51,39	76,10	31,86
Český Krumlov	130,30	49,15	71,80	29,55
Děčín	116,20	70,45	94,28	40,38
Domažlice	148,90	34,23	55,64	15,70
Frýdek-Místek	101,80	78,07	126,15	36,18
Havlíčkův Brod	135,60	25,31	47,10	9,60
Hlavní město Praha	106,00	53,62	71,54	40,08
Hodonín	92,70	33,54	54,66	12,02
Hradec Králové	95,60	108,71	168,42	55,15
Cheb	174,60	31,60	47,10	15,89
Chomutov	116,40	98,46	140,34	61,81
Chrudim	150,50	47,17	76,65	17,41
Jablonec nad Nisou	190,40	41,12	63,06	23,53
Jeseník	149,20	6,53	10,43	2,30
Jičín	91,80	43,10	69,34	22,50
Jihlava	173,00	49,29	81,20	25,77
Jindřichův Hradec	135,10	55,00	85,73	23,34
Karlovy Vary	175,10	135,99	185,07	89,88
Karviná	84,50	107,70	163,67	54,36
Kladno	126,10	71,58	99,27	38,79
Klatovy	220,20	61,20	93,08	29,72
Kolín	170,30	58,69	88,50	29,55
Kroměříž	108,90	27,37	46,69	12,50
Kutná Hora	112,60	57,93	79,17	29,27
Liberec	200,20	80,94	114,02	44,43
Litoměřice	92,20	67,77	97,57	32,73
Louny	111,40	58,32	86,94	28,73
Mělník	94,10	59,59	90,31	29,83
Mladá Boleslav	90,90	50,81	73,43	24,71
Most	102,30	102,45	137,46	69,53
Náchod	115,10	45,03	66,19	22,88
Nový Jičín	110,10	42,53	61,66	20,17
Nymburk	101,30	54,76	84,62	21,85
Olomouc	171,80	58,56	86,33	32,26
Opava	100,20	84,72	138,93	40,20
Ostrava-město	100,80	89,23	131,54	52,19
Pardubice	91,10	78,83	112,95	41,79
Pelhřimov	151,10	48,26	83,96	16,73

Písek	347,00	83,61	124,79	42,59
Plzeň-jih	211,20	64,42	98,30	26,59
Plzeň-město	122,40	214,83	316,96	118,30
Plzeň-sever	125,20	45,26	74,85	19,03
Praha-východ	142,10	51,76	72,71	28,47
Praha-západ	159,90	50,30	70,54	27,04
Prachatice	164,40	35,44	54,53	16,81
Prostějov	186,80	55,82	83,23	29,19
Přerov	141,20	23,98	36,00	10,79
Příbram	315,40	60,19	98,77	28,25
Rakovník	128,50	64,48	92,88	29,24
Rokycany	125,40	21,99	38,14	8,24
Rychnov nad Kněžnou	126,00	21,73	35,62	8,31
Semily	112,60	29,58	46,42	13,17
Sokolov	176,50	68,80	93,46	40,42
Strakonice	299,70	36,07	57,64	15,31
Svitavy	115,30	36,88	59,88	14,25
Šumperk	165,30	36,16	56,16	18,05
Tábor	131,60	86,64	144,50	42,96
Tachov	154,80	26,18	39,59	10,29
Teplice	170,10	57,85	81,96	33,75
Trutnov	149,20	66,35	104,05	33,39
Třebíč	252,60	40,70	64,78	15,71
Uherské Hradiště	107,80	132,57	199,07	62,23
Ústí nad Labem	90,80	108,49	157,88	55,30
Ústí nad Orlicí	129,10	51,96	79,64	30,15
Vsetín	95,70	30,51	47,33	14,38
Vyškov	147,00	16,04	25,89	5,90
Zlín	103,00	16,96	28,13	7,71
Znojmo	180,10	52,04	80,76	24,81
Žďár nad Sázavou	215,10	34,22	57,95	11,60

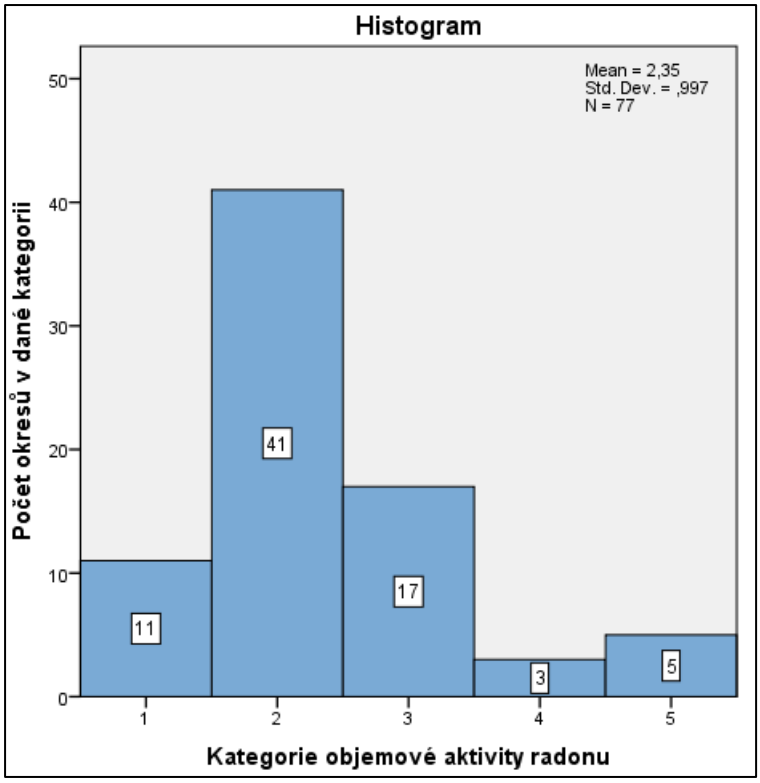
[Tab. č. 16]: Přehledová tabulka s údaji o měření objemové aktivity radonu (OAR) v $Bq.m^{-3}$ a výpočty hrubé míry úmrtnosti na karcinom plic (Úp). Indexy u jednotlivých hodnot míry úmrtnosti značí pohlaví (muži, ženy nebo za obě pohlaví).

7. 1. MAPOVÉ VÝSTUPY



[Obr. č. 11]: Objemová aktivita radonu (Bq.m^{-3}) v okresech ČR: ***Středočeský kraj*** *(1 - Benešov, 2 - Beroun, 3 - Kladno, 4 - Kolín, 5 - Kutná hora, 6 - Mělník, 7 - Mladá Boleslav, 8 - Nymburk, 9 - Praha-východ, 10 - Praha-západ, 11 - Příbram, 12 - Rakovník);* ***Jihočeský kraj*** *(13 - České Budějovice, 14 - Český Krumlov, 15 - Jindřichův Hradec, 16 - Písek, 17 - Prachatice, 18 - Strakonice, 19 - Tábor);* ***Plzeňský kraj*** *(20 - Domažlice, 21 - Klatovy, 22 - Plzeň-město, 23 - Plzeň-jih, 24 - Plzeň-sever, 25 - Rokycany, 26 - Tachov);* ***Karlovarský***

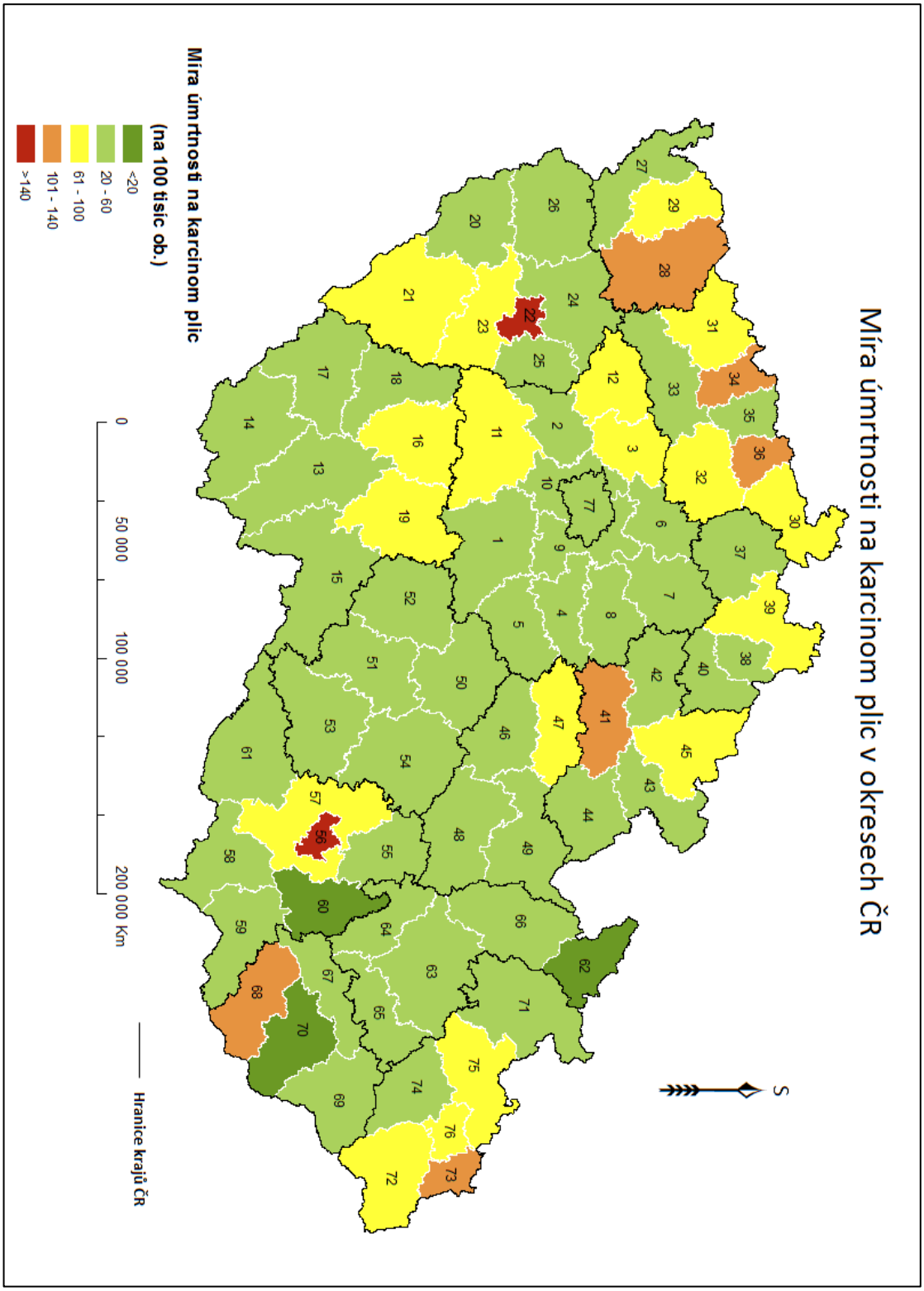
***kraj** (27 - Cheb, 28 - Karlovy Vary, 29 - Sokolov); **Ústecký kraj** (30 - Děčín, 31 - Chomutov, 32 - Litoměřice, 33 - Louny, 34 - Most, 35 - Teplice, 36 - Ústí nad Labem); **Liberecký kraj** (37 - Česká Lípa, 38 - Jablonec nad Nisou, 39 - Liberec, 40 - Semily), **Královehradecký kraj** (41 - Hradec Králové, 42 - Jičín, 43 - Náchod, 44 - Rychnov nad Kněžnou, 45 - Trutnov); **Pardubický kraj** (46 - Chrudim, 47 - Pardubice, 48 - Svitavy, 49 - Ústí nad Orlicí); **Kraj Vysočina** (50 - Havlíčkův Brod, 51 - Jihlava, 52 - Pelhřimov, 53 - Třebíč, 54 - Žďár nad Sázavou), **Jihomoravský kraj** (55 - Blansko, 56 - Brno-město, 57 - Brno-venkov, 58 - Břeclav, 59 - Hodonín, 60 - Vyškov, 61 - Znojmo); **Olomoucký kraj** (62 - Jeseník, 63 - Olomouc, 64 - Prostějov, 65 - Přerov, 66 - Šumperk); **Zlínský kraj** (67 - Kroměříž, 68 - Uherské Hradiště, 69 - Vsetín, 70 - Zlín); **Moravskoslezský kraj** (71 - Bruntál, 73 - Frýdek-Místek, 7- Karviná, 74-Nový Jičín, 75-Opava, 76- Ostrava-město); **Hlavní město Praha** (77 – Praha).*



[Obr. č. 12]: Počtu okresů v jednotlivých kategoriích OAR.

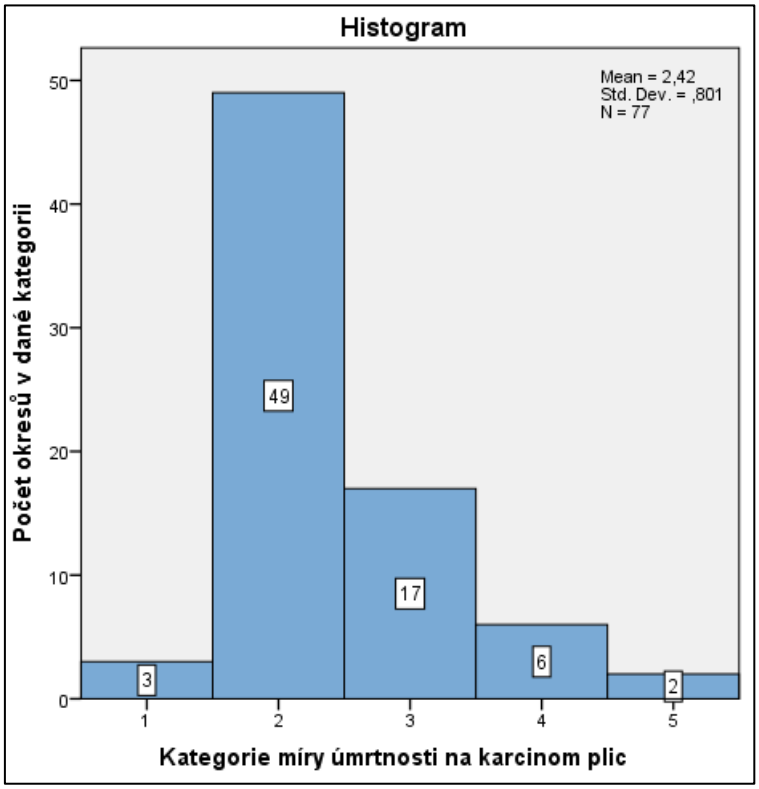
Jak ukazuje mapa objemové radonové aktivity jsou jasně vidět místa, která mají vyšší, koncentrace radonu a naopak. Nejvyšší hodnoty přes 200 Bq.m^{-3} mají okresy Liberec, Žďár nad Sázavou, Třebíč, Benešov, Příbram, Písek a Strakonice. Naopak méně než 100 Bq.m^{-3} mají oblasti v Polabí jako je Mělník, Mladá Boleslav, Hradec Králové Jičín a další. Mimo tuto oblast jsou obecně nižší koncentrace na Moravě, nejméně však v okrese Hodonín, Vsetín a Nový Jičín.

Zbytek České republiky má hodnoty obvykle v rozmezí 100–150 Bq.m^{-3}. Mediánová hodnota objemové aktivity radonu v ČR činila 130 Bq.m^{-3}. Podobnou distribuci znázorňuje i samotný histogram [Obr. č. 12].



[Obr. č. 13]: Míra úmrtnosti na karcinom plic (souhrnně) v okresech ČR: ***Středočeský kraj*** *(1 - Benešov, 2 - Beroun, 3 - Kladno, 4 - Kolín, 5 - Kutná hora, 6 - Mělník, 7 - Mladá Boleslav, 8 - Nymburk, 9 - Praha-východ, 10 - Praha-západ, 11 - Příbram, 12 - Rakovník);* ***Jihočeský kraj*** *(13 - České Budějovice, 14 - Český Krumlov, 15 - Jindřichův Hradec, 16 - Písek, 17 - Prachatice, 18 - Strakonice, 19 - Tábor);* ***Plzeňský kraj*** *(20 - Domažlice, 21 - Klatovy, 22 - Plzeň-město, 23 - Plzeň-jih, 24 - Plzeň-sever, 25 - Rokycany, 26 - Tachov);* ***Karlovarský kraj*** *(27 - Cheb, 28 - Karlovy Vary, 29 - Sokolov);* ***Ústecký kraj*** *(30 - Děčín, 31 - Chomutov, 32 - Litoměřice, 33 - Louny, 34 - Most, 35 - Teplice, 36 - Ústí nad Labem);* ***Liberecký kraj*** *(37 - Česká Lípa, 38 - Jablonec nad Nisou, 39 - Liberec, 40 - Semily),* ***Královehradecký kraj*** *(41 - Hradec Králové, 42 - Jičín, 43 -*

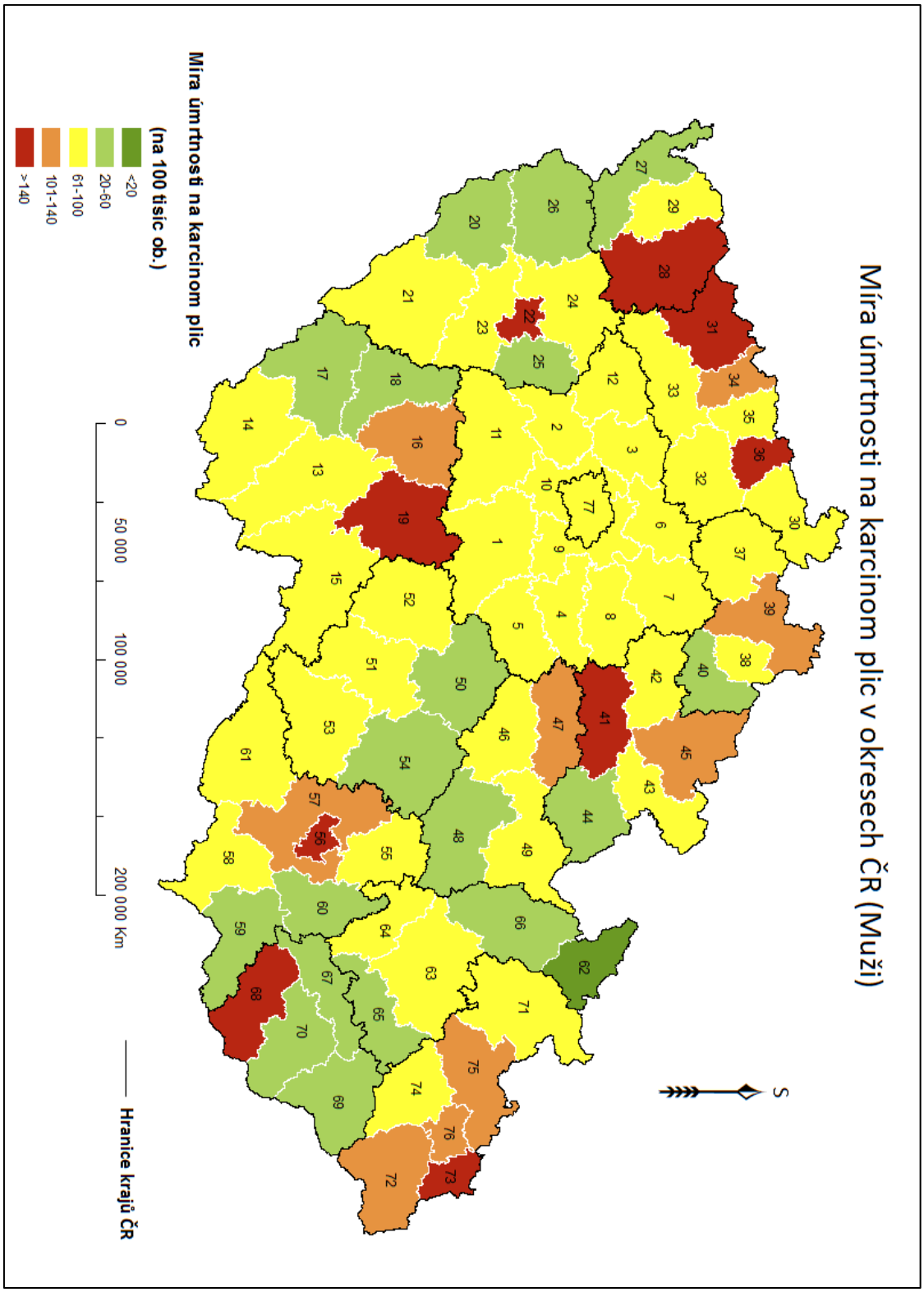
Náchod, 44 - Rychnov nad Kněžnou, 45 - Trutnov); ***Pardubický kraj*** *(46 - Chrudim, 47 - Pardubice, 48 - Svitavy, 49 - Ústí nad Orlicí);* ***Kraj Vysočina*** *(50 - Havlíčkův Brod, 51 - Jihlava, 52 - Pelhřimov, 53 - Třebíč, 54 - Žďár nad Sázavou),* ***Jihomoravský kraj*** *(55 - Blansko, 56 - Brno-město, 57 - Brno-venkov, 58 - Břeclav, 59 - Hodonín, 60 - Vyškov, 61 - Znojmo);* ***Olomoucký kraj*** *(62 - Jeseník, 63 - Olomouc, 64 - Prostějov, 65 - Přerov, 66 - Šumperk);* ***Zlínský kraj*** *(67 - Kroměříž, 68 - Uherské Hradiště, 69 - Vsetín, 70 - Zlín);* ***Moravskoslezský kraj*** *(71 - Bruntál, 73 - Frýdek-Místek, 7- Karviná, 74-Nový Jičín, 75-Opava, 76- Ostrava-město);* ***Hlavní město Praha*** *(77 – Praha).*



[Obr. č. 14]: Počtu okresů v jednotlivých kategoriích míry úmrtnosti na karcinom plic.

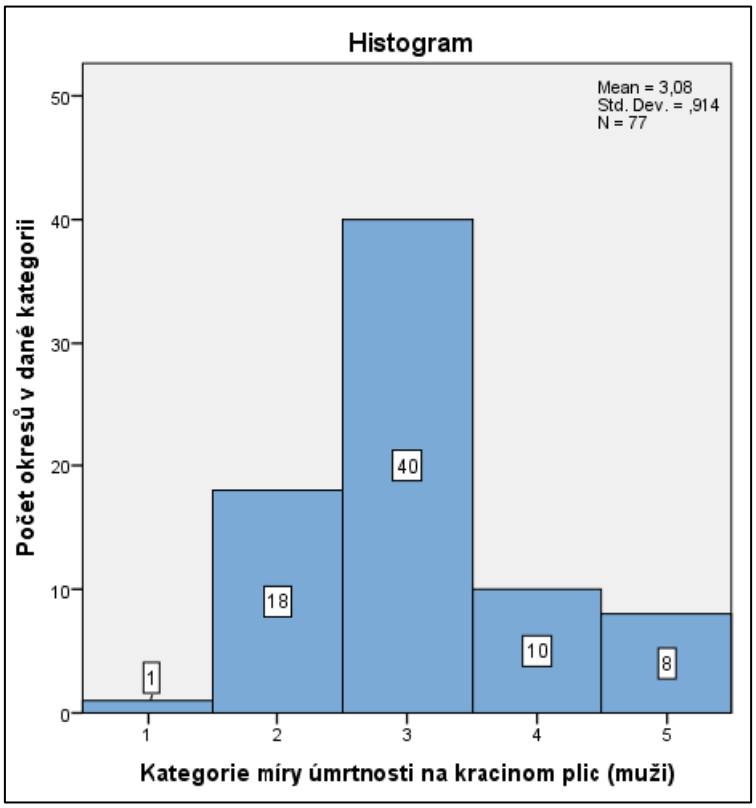
Mapa celkové míry úmrtnosti na karcinom plic (přepočteno na 100 tisíc obyvatel) v okresech ČR ukazuje, že velká část České republiky má zhruba stejnou míru úmrtnosti na toto onemocnění (pro obě pohlaví). Nejvíce okresů je v kategorii II, méně pak v kategorii III. Nejmenší počet zemřelých na karcinom plic mají okresy Vyškov, Jeseník a Bruntál. Naopak nejvyšší hodnoty, tedy kategorie V nalezneme pouze v Brně-město nebo Plzeň-město. Podobné vysoké hodnoty (kategorie IV) nalezneme ještě v několika okresech (Most, Ústí nad Labem, Karlovy Vary, Hradec Králové, Uherské Hradiště a Nový Jičín).

Míra úmrtnosti je na úrovni krajů poměrně homogenní ve Středočeském (včetně Samosprávní Prahy), Jihočeském, Libereckém, Olomouckém kraji a na Vysočině. Naopak velmi heterogenní je v Ústeckém kraji a částečně v Plzeňském a Jihomoravském kraji.



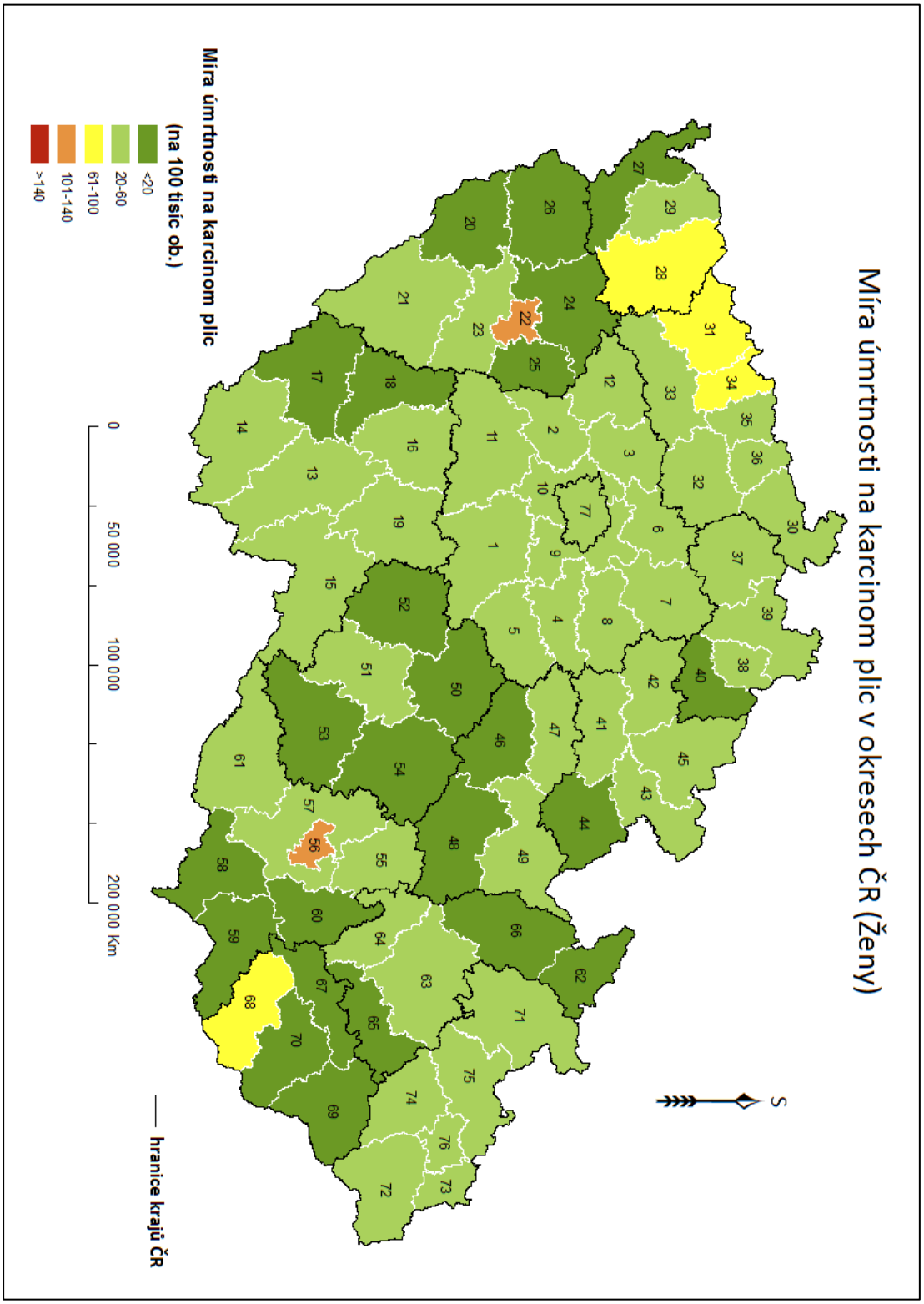
[Obr. č. 15]: Míra úmrtnosti na karcinom plic (muži) v okresech ČR: ***Středočeský kraj*** *(1 - Benešov, 2 - Beroun, 3 - Kladno, 4 - Kolín, 5 - Kutná hora, 6 - Mělník, 7 - Mladá Boleslav, 8 - Nymburk, 9 - Praha-východ, 10 - Praha-západ, 11 - Příbram, 12 - Rakovník);* ***Jihočeský kraj*** *(13 - České Budějovice, 14 - Český Krumlov, 15 - Jindřichův Hradec, 16 - Písek, 17 - Prachatice, 18 - Strakonice, 19 - Tábor);* ***Plzeňský kraj*** *(20 - Domažlice, 21 - Klatovy, 22 - Plzeň-město, 23 - Plzeň-jih, 24 - Plzeň-sever, 25 - Rokycany, 26 - Tachov);* ***Karlovarský kraj*** *(27 - Cheb, 28 - Karlovy Vary, 29 - Sokolov);* ***Ústecký kraj*** *(30 - Děčín, 31 - Chomutov, 32 - Litoměřice, 33 - Louny, 34 - Most, 35 - Teplice, 36 - Ústí nad Labem);* ***Liberecký kraj*** *(37 - Česká Lípa, 38 -*

Jablonec nad Nisou, 39 - Liberec, 40 - Semily), ***Královehradecký kraj*** *(41 - Hradec Králové, 42 - Jičín, 43 - Náchod, 44 - Rychnov nad Kněžnou, 45 - Trutnov);* ***Pardubický kraj*** *(46 - Chrudim, 47 - Pardubice, 48 - Svitavy, 49 - Ústí nad Orlicí);* ***Kraj Vysočina*** *(50 - Havlíčkův Brod, 51 - Jihlava, 52 - Pelhřimov, 53 - Třebíč, 54 - Žďár nad Sázavou),* ***Jihomoravský kraj*** *(55 - Blansko, 56 - Brno-město, 57 - Brno-venkov, 58 - Břeclav, 59 - Hodonín, 60 - Vyškov, 61 - Znojmo);* ***Olomoucký kraj*** *(62 - Jeseník, 63 - Olomouc, 64 - Prostějov, 65 - Přerov, 66 - Šumperk);* ***Zlínský kraj*** *(67 - Kroměříž, 68 - Uherské Hradiště, 69 - Vsetín, 70 - Zlín);* ***Moravskoslezský kraj*** *(71 - Bruntál, 73 - Frýdek-Místek, 7- Karviná, 74-Nový Jičín, 75-Opava, 76- Ostrava-město);* ***Hlavní město Praha*** *(77 – Praha).*



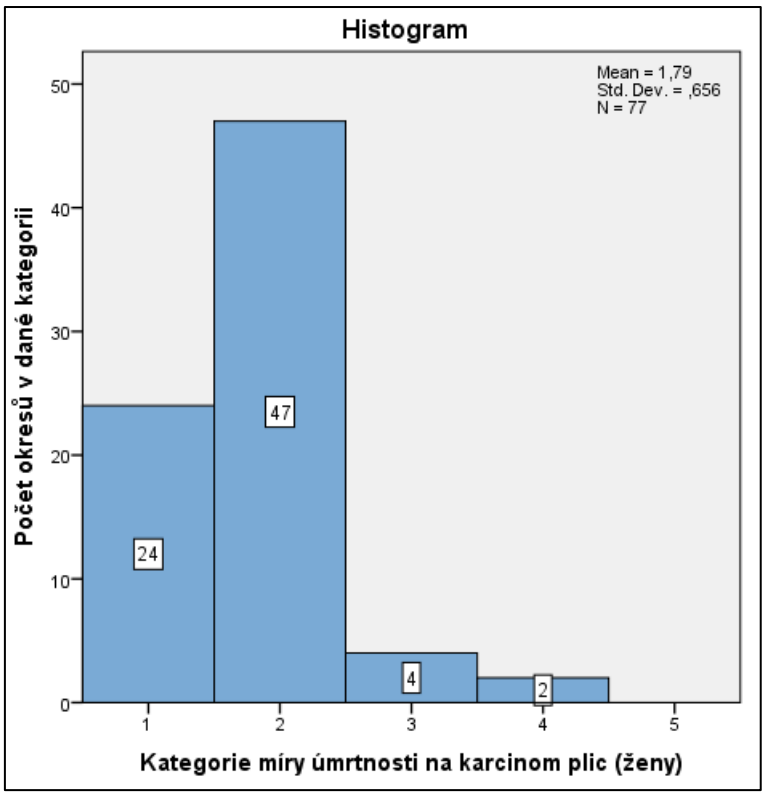
[Obr. č. 16]: Počtu okresů v jednotlivých kategoriích míry úmrtnosti na karcinom plic (muži).

Mapa míry úmrtnosti na karcinom plic u mužů (na 100 tisíc obyvatel) v okresech ČR je již od předchozí mapy na první pohled odlišná. Míra úmrtnosti je obecně vyšší, většina okresů se pohybuje v kategorii III, v kategorii II je okresů podstatně méně než u předcházející souhrnné mapy za obě pohlaví. Nejnižší míra úmrtnosti kategorii I byla zjištěna v okrese Jeseník, kde byl počet úmrtí na karcinom plic nízký (téměř žádný). Nejvyšší míra úmrtnosti (kategorie V) byla zjištěna v okresech Plzeň-město, Karlovy Vary, Chomutov, Ústí nad Labem, Hradec Králové, Brno-město, Uherské Hradiště a Frýdek-Místek. Mapa i histogram poukazují i jistou heterogenitu v prostoru, čehož si lze všimnout u rozdílů okresů v Ústeckém a Pardubickém kraji, podobně tak v Libereckém, Jihočeském nebo Moravskoslezském kraji. Poměrně rovnoměrná míra úmrtnostní je v kraji Vysočina a ve Středočeském kraji s Prahou.



[Obr. č. 17]: Míra úmrtnosti na karcinom plic (ženy) v okresech ČR: ***Středočeský kraj*** *(1 - Benešov, 2 - Beroun, 3 - Kladno, 4 - Kolín, 5 - Kutná hora, 6 - Mělník, 7 - Mladá Boleslav, 8 - Nymburk, 9 - Praha-východ, 10 - Praha-západ, 11 - Příbram, 12 - Rakovník);* ***Jihočeský kraj*** *(13 - České Budějovice, 14 - Český Krumlov, 15 - Jindřichův Hradec, 16 - Písek, 17 - Prachatice, 18 - Strakonice, 19 - Tábor);* ***Plzeňský kraj*** *(20 - Domažlice, 21 - Klatovy, 22 - Plzeň-město, 23 - Plzeň-jih, 24 - Plzeň-sever, 25 - Rokycany, 26 - Tachov);* ***Karlovarský kraj*** *(27 - Cheb, 28 - Karlovy Vary, 29 - Sokolov);* ***Ústecký kraj*** *(30 - Děčín, 31 - Chomutov, 32 - Litoměřice, 33 - Louny, 34 - Most, 35 - Teplice, 36 - Ústí nad Labem);* ***Liberecký kraj*** *(37 - Česká Lípa, 38 - Jablonec nad Nisou, 39 - Liberec, 40 - Semily),* ***Královehradecký kraj*** *(41 - Hradec Králové, 42 - Jičín, 43 -*

Náchod, 44 - Rychnov nad Kněžnou, 45 - Trutnov); ***Pardubický kraj*** *(46 - Chrudim, 47 - Pardubice, 48 - Svitavy, 49 - Ústí nad Orlicí);* ***Kraj Vysočina*** *(50 - Havlíčkův Brod, 51 - Jihlava, 52 - Pelhřimov, 53 - Třebíč, 54 - Žďár nad Sázavou),* ***Jihomoravský kraj*** *(55 - Blansko, 56 - Brno-město, 57 - Brno-venkov, 58 - Břeclav, 59 - Hodonín, 60 - Vyškov, 61 - Znojmo);* ***Olomoucký kraj*** *(62 - Jeseník, 63 - Olomouc, 64 - Prostějov, 65 - Přerov, 66 - Šumperk);* ***Zlínský kraj*** *(67 - Kroměříž, 68 - Uherské Hradiště, 69 - Vsetín, 70 - Zlín);* ***Moravskoslezský kraj*** *(71 - Bruntál, 73 - Frýdek-Místek, 7- Karviná, 74-Nový Jičín, 75-Opava, 76- Ostrava-město);* ***Hlavní město Praha*** *(77 – Praha).*



[Obr. č. 18]: Počtu okresů v jednotlivých kategoriích míry úmrtnosti na karcinom plic (muži).

Mapa míra úmrtnosti na karcinom plic u žen ukazuje homogenní rozložení, co se týče krajů i okresů, na rozdíl od předešlé mapy míry úmrtnosti na karcinom plic u mužů. Převážná část okresů se nachází v kategorii I nebo II. Výjimkou jsou drobná ohniska na severozápadě Čech (okres Karlovy Vary, Chomutov a Most), okres Plzeň-město a na Moravě okres Brno-město a Uherské hradiště. Na některých místech byla míra úmrtnosti pod 10 úmrtí na 100 000 obyvatel. Hodnoty míry úmrtnosti na karcinom plic kategorie V nebyly naměřeny, tudíž se neprojevily v samotné mapě.

7. 2. KORELAČNÍ ANALÝZA

Z datových zdrojů byla provedena korelační analýza pro obě pohlaví (muže a ženy) a souhrnná za celou Českou republiku.

7. 2. 1. Výstupy korelace pro obě pohlaví

Popisná statistika

	Průměr	Sm. odchylka	N
Objemová aktivita radonu (Bq.m^{-3}) - OAR	143,77	52,184	77
Míra úmrtnosti na karcinom plic (na 100 tisíc ob.) – Úp$_c$	59,5539	33,32605	77

[Tab. č. 17]: Popisná statistika korelovaných datových souborů (objemová aktivita radonu a míra úmrtnosti na karcinom plic).

Pearsonův korelační koeficient

		OAR	Úp$_c$
OAR	Pearson k. k.	1	-0,112
	Sig. (2-tailed)		0,333
	N	77	77
Úp$_c$	Pearson k. k.	-0,112	1
	Sig. (2-tailed)	0,333	
	N	77	77

[Tab. č. 18]: Pearsonův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a mírou úmrtnosti na karcinom plic (celková).

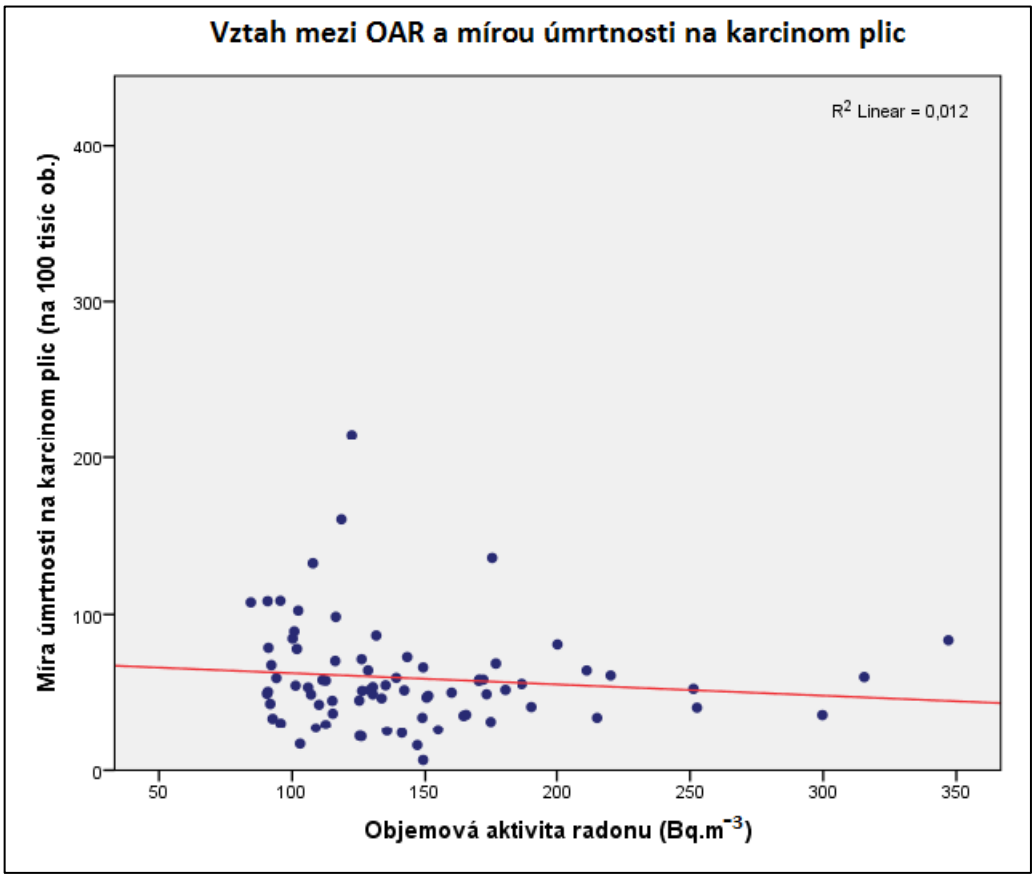
Pearsonův korelační koeficient pro korelaci objemové radonové aktivity a míry úmrtnosti na karcinom plic (pro obě pohlaví) byl stanoven na hodnotu -0,112. To je hodnocení síly vztahů velmi slabá korelace a zároveň negativní asociace. Mezi korelovanými proměnnými není statisticky signifikantní vztah.

Kendallovo tau a Spearmanův korelační koeficient

			OAR	Úp$_c$
Kendallovo Tau	OAR	Korelační koef.	1,000	-0,089
		Sig. (2-tailed)	.	0,251
		N	77	77
	Úp$_c$	Korelační koef.	-0,089	1,000
		Sig. (2-tailed)	0,251	.
		N	77	77
Spearmanův k. k.	OAR	Korelační koef.	1,000	-0,147
		Sig. (2-tailed)	.	0,202
		N	77	77
	Úp$_c$	Korelační koef.	-0,147	1,000
		Sig. (2-tailed)	0,202	.
		N	77	77

[Tab. č. 19]: Kendallovo Tau a Spearmanův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a mírou úmrtnosti na karcinom plic (celková).

Výsledky Spearmanova korelačního koeficientu a Kendallova Tau vyšly velmi podobně jako u Pearsonova korelačního koeficientu, tedy nízká až téměř žádná negativní asociace. Pro Spearmanův korelační koeficient -0,147 a pro Kendallovo Tau - 0,089.



[Obr. č. 19]: Vztah mezi OAR (Objemová aktivita radonu) a mírou úmrtnosti na karcinom plic.

Grafu vztahu mezi objemovou aktivitou radonu a mírou úmrtnosti na karcinom plic ukazuje, že lineární vztah není příliš silný, nižší hodnoty se sice koncentruji relativně blízko sebe, ale bez viditelné závislosti. V grafu jsou také patrné odlehlé hodnoty, které příliš nekorespondují s vyznačenou křivkou.

7. 2. 2. Výstupy korelace pro muže

Popisná statistika

	Průměr	Sm. odchylka	N
Objemová aktivita radonu (Bq.m^{-3}) - OAR	143,77	52,184	77
Míra úmrtnosti na karcinom plic – muži (na 100 tisíc ob.) – Úp$_m$	89,3923	47,28998	77

[Tab. č. 20]: Popisná statistika korelovaných datových souborů – muži (objemová aktivita radonu a míra úmrtnosti na karcinom plic.

Pearsonův korelační koeficient

		OAR	$Úp_m$
OAR	Pearson k. k.	1	-0,104
	Sig. (2-tailed)		0,369
	N	77	77
$Úp_m$	Pearson k. k.	-0,104	1
	Sig. (2-tailed)	0,369	
	N	77	77

[Tab. č. 21]: Pearsonův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a mírou úmrtnosti na karcinom plic (muži).

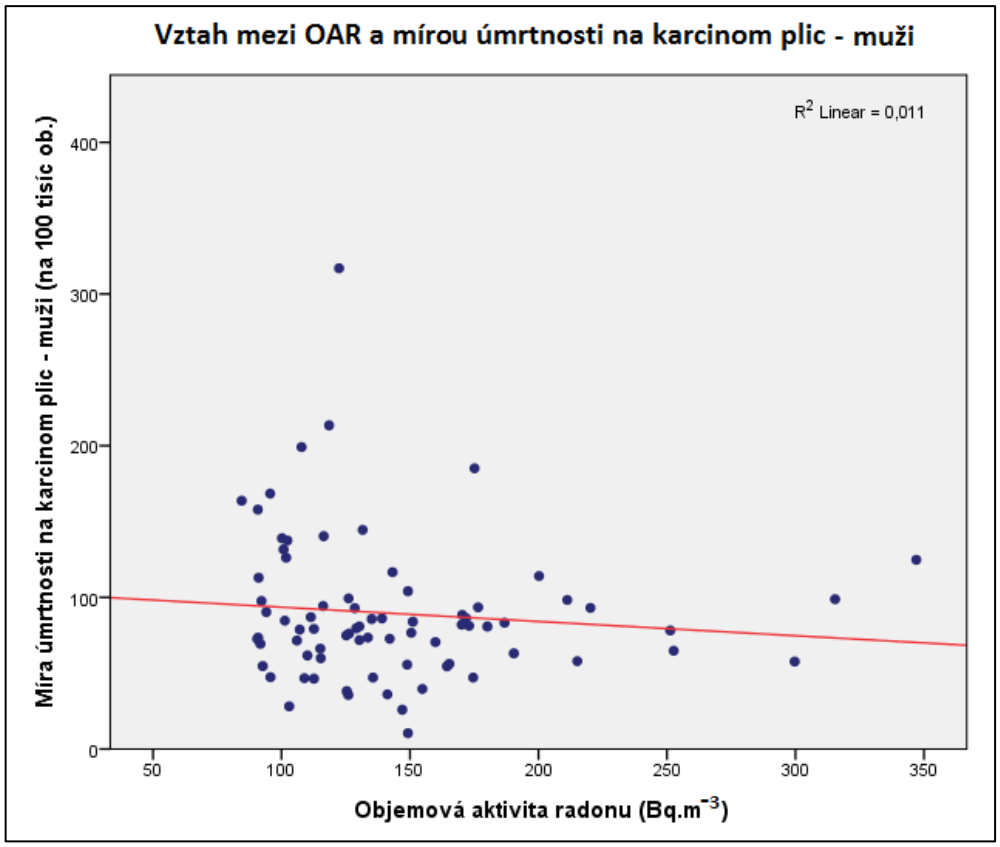
Hodnota Pearsonova korelačního koeficientů -0,104 poukazuje na velmi slabou negativní korelace mezi objemovou aktivitou radonu a mírou úmrtnosti na karcinom plic pro muže. Na základě toho lze říct, že mezi oběma proměnnými není silná závislost.

Kendallovo tau a Spearmanův korelační koeficient

			OAR	$Úp_m$
Kendallovo Tau	OAR	Korelační koef.	1,000	-0,072
		Sig. (2-tailed)	.	0,353
		N	77	77
	$Úp_m$	Korelační koef.	-0,072	1,000
		Sig. (2-tailed)	0,353	.
		N	77	77
Spearmanův k. k.	OAR	Korelační koef.	1,000	-0,122
		Sig. (2-tailed)	.	0,289
		N	77	77
	$Úp_m$	Korelační koef.	-0,122	1,000
		Sig. (2-tailed)	0,289	.
		N	77	77

[Tab. č. 22]: Kendallovo Tau a Spearmanův korelační koeficient mezi objemová aktivita radonu a míra úmrtnosti na karcinom plic (muži).

Podobné hodnoty jako Pearsonův korelační koeficient ukázaly i další dva koeficienty (Kendallovou tau a Spearmanův korelační koeficient). Hodnoty -0,122 a -0,072 ukazují na slabou negativní závislost. Jako v předchozím případě je asociace mez proměnnými statistick nevýznamná.



[Obr. č. 20]: Vztah mezi OAR (Objemová aktivita radonu) a mírou úmrtnosti na karcinom plic – muži.

Grafické znázornění objemové aktivity radonu a míry úmrtnosti na karcinom plic u mužů neukazuje příliš velkou lineární závislost, přestože část hodnot se soustřeďuje do stejného místa nebo do blízké vzdálenost od lineární křivky. Odlehlé hodnoty značně nekorelují s lineárním vztahem.

7. 2. 3. Výstupy korelace pro ženy

Popisná statistika

	Průměr	Sm. odchylka	N
Objemová aktivita radonu (Bq.m^{-3}) - OAR	143,77	52,184	77
Míra úmrtnosti na karcinom plic – ženy (na 100 tisíc ob.) – Úp$_z$	30,3872	20,50757	77

[Tab. č. 23]: Popisná statistika korelovaných datových souborů – ženy (objemová aktivita radonu a míra úmrtnosti na karcinom plic.

Pearsonův korelační koeficient

		OAR	Úp$_z$
OAR	Pearson k. k.	1	-0,115
	Sig. (2-tailed)		0,318
	N	77	77
Úp$_z$	Pearson k. k.	-0,115	1
	Sig. (2-tailed)	0,318	
	N	77	77

[Tab. č. 24]: Pearsonův korelační koeficient mezi objemová aktivita radonu a míra úmrtnosti na karcinom plic (ženy).

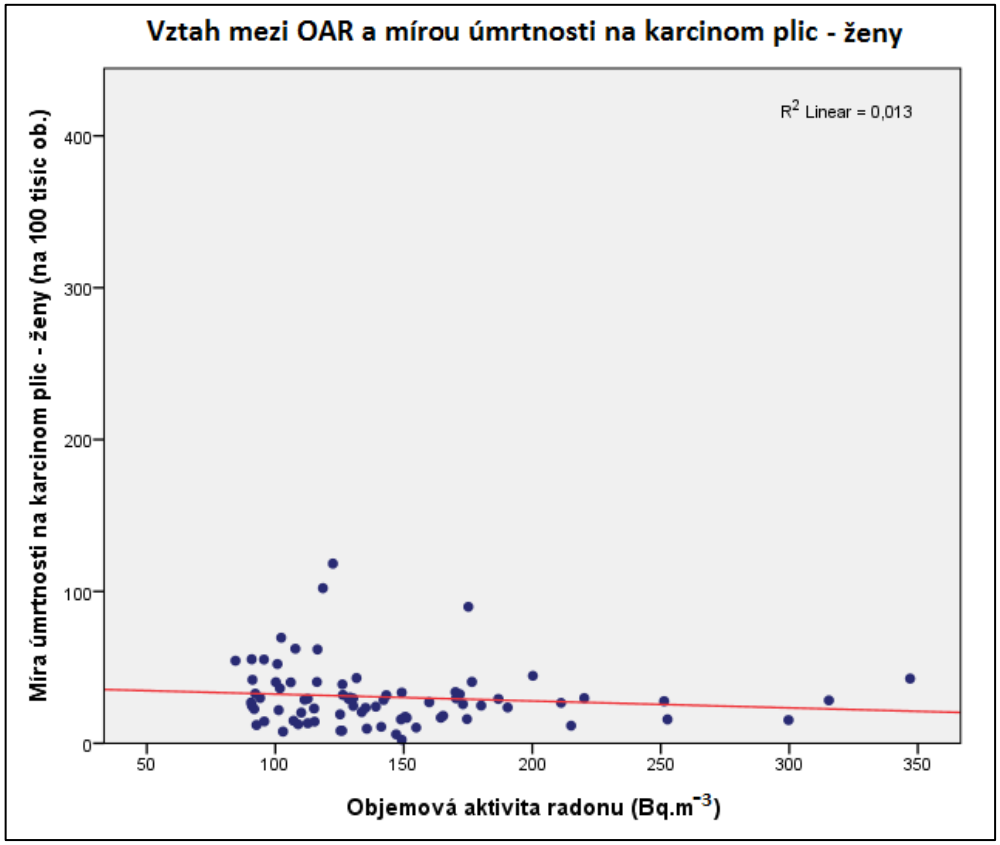
Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu je -0,115, což poukazuje na slabou negativní závislosti mezi objemovou aktivitou radonu a mírou úmrtnosti na karcinom plic u žen. Korelace se také ukazuje jako nevýznamná.

Kendallovo tau a Spearmanův korelační koeficient

			OAR	$Úp_z$
Kendallovo Tau	OAR	Korelační koef.	1,000	-0,098
		Sig. (2-tailed)	.	0,207
		N	77	77
	$Úp_z$	Korelační koef.	-0,098	1,000
		Sig. (2-tailed)	0,207	.
		N	77	77
Spearmanův k.k.	OAR	Korelační koef.	1,000	-0,153
		Sig. (2-tailed)	.	0,183
		N	77	77
	$Úp_z$	Korelační koef.	-0,153	1,000
		Sig. (2-tailed)	0,183	.
		N	77	77

[Tab. č. 25]: Kendallovo Tau a Spearmanův korelační koeficient mezi objemová aktivita radonu a míra úmrtnosti na karcinom plic (ženy).

Podobné výsledky ukazují i Kendallovo tau (-0,098) a Spearmanův korelační koeficient (-0,153), tedy slabá a negativní závislosti. Korelace také ukázala, že nejsou tyto korelace statisticky významné.



[Obr. č. 21]: Vztah mezi OAR (Objemová aktivita radonu) a mírou úmrtnosti na karcinom plic – ženy.

Grafické znázornění závislosti ukazuje, že počet odlehlých hodnot není takový jako třeba v případě mužů, stejně tak maximální míra úmrtnosti, díky čemu jsou proměnné relativně blízko osy X. Z grafu lze vyčíst, že jisté naznačení závislosti tam být může, nicméně korelační analýza ukázala, že tomu tak není.

8] DISKUZE

Diskuzní část je rozdělena do dvou částí, kdy odděleně hodnotím mapové výstupy a samotné výstupy korelační analýzy (tabulky a grafy) pro muže, ženy a za obě pohlaví.

8. 1. MAPOVÉ VÝSTUPY

8. 1. 1. Mapa objemové aktivity radonu

Mapa objemové aktivity radonu potvrdila dosavadní zjištění vlivu geologického podloží na koncentrace radonu v budovách.

8. 1. 2. Mapy míry úmrtnosti na karcinom plic

Mapa míry úmrtnosti na karcinom plic pro obě pohlaví neukázala zásadní spojitost s výskytem vyšší koncentrace radonu. Vyšší hodnoty v okrese Plzeň-město a Brno-město můžeme přisuzovat jiným faktorům, které mohu vznik karcinomu plic ovlivnit a tím je například kouření, znečištění ovzduší ve větších městech vlive dopravní vytíženosti a průmyslu, stejně tak těžbě jiných surovin (Př.: těžba uhlí), stejně tak může mít vliv na výsledky mapy souhrn za muže a ženy, tedy může dojít ke zkreslení, jelikož právě ¾ úmrtí na karcinom plic tvoří populace mužů.

Pokud se podíváme na mapu míry úmrtnosti na karcinom plic u mužů, zjistíme, že prostorové rozložení je poměrně variabilní a vytváří se jisté oblasti se zvýšeným či sníženým počtem úmrtí. Oproti souhrnné mapě se objevují oblasti, kde v minulosti nebo v současnosti probíhá těžba rudních surovin nebo uhlí. Viditelné je to na oblasti Ostravska, kde se těží černé uhlí a oblasti Ústeckého a Karlovarského kraje, kde probíhala těžba hnědého uhlí nebo uranu, případně oblast Liberecka, kde byla těžena uranová ruda ve Stráži pod Ralskem. Právě tyto hornické populace, které tvoří výhradně muži, můžeme dávat do určité spojitosti s radonovým rizikem, nicméně je důležité brát v potaz i další faktory, jako je kouření a životní styl, které mohou interpretaci zkreslit.

Nízká míra úmrtnosti na karcinom plic u mužů je často soustředěna do horských oblasti nebo míst, kde neprobíhala přímo důlní těžba, nicméně i zde může hrát roli jisté zkreslení, jelikož některé oblasti jsou méně obydlené, což i po přepočtení na standardní populaci, může výsledky nadhodnotit nebo podhodnotit.

Mapa míry úmrtnosti na karcinom plic u žen neukazuje výraznou závislosti k objemové aktivitě radonu, nicméně se zde objevují podobná ohniska vyšší míry úmrtnosti jako u předchozích dvou map v okresech Plzeň-město, Brno-město, Uherské Hradiště, Karlovy Vary, Chomutov a Most.

V případně okresů Plzeň-město a Brno-město může hrát roli souhra více faktorů (kouření, znečištění atd.), v případě ostatních okresů se jedná často o znečištění spojené s těžbou a následným zpracováním, ať už uhlí nebo uranu.

8. 2. KORELAČNÍ ANALÝZA

Výsledky korelační analýzy neukázaly přímo souvislosti mezi mírou úmrtnosti na karcinom plic a objemovou aktivitou radonu. Nízká korelace poukazuje na fakt, že mnohem větší vliv na karcinom plic mají jiné faktory, jako je třeba kouření, jak zmiňuje ve své práci Hazelton et al. (2001), který dává právě do souvislosti karcinom plic nejen s radonem, ale i kouřením a azbestem. Problémem prací postavených na korelacích je fakt, že kouření má mnohem větší vliv (až 4krát) na vznik karcinomu plic než právě radon, což neumožní odhalit přímo závislost. Pokud by odstranil faktor kouření, mohla by se závislost mnohem více projevit.

	Obě pohlaví	Muži	Ženy
Pearsonův korelační koeficient	-0,112	-0,104	-0,115
Kendallovo tau	-0,089	-0,072	-0,098
Spearmanův korelační koeficient	-0,147	-0,112	-0,153

[Tab. č. 26]: Přehled hodnot korelačních koeficientů empirické části diplomové práce pro muže, ženy a obě pohlaví.

Korelační analýza je svým způsobem ovlivněna i použitím různých korelačních koeficientů, které porovnávají data odlišně. Například Pearsonův korelační koeficient je často zatížen chybou způsobenou odlehlými hodnotami, jelikož pracuje s průměry, proto bylo nutné pro formu kontroly začlenit do výpočtu i další koeficienty jako Spearmanův korelační koeficient nebo Kendallovou tau, které měli potvrdit nebo vyvrátit výsledky Pearsonova korelačního koeficientu. Podobně špatně vyhodnocuje data, která jsou nelineární a nemají často normální rozdělení. Korelační analýza také neprokázala větší statistickou významnost.

Dalším problémem korelačních analýz jsou samotná zdrojová data, která mohou být zatížena různých typem zkreslení (bias), ať už při samotném sběru dat nebo agregaci na vyšší referenční jednotky (okresy, kraje).

Lineární závislost mezi objemovou aktivitou radonu a mírou úmrtí na karcinom plic neprokázalo ani grafické znázornění, kde se hlavně v případě mužů projevují značné odchylky, naopak u žen jsou tyto odchylky menší, avšak stále velmi podstatné.

U studií vlivu radonu na karcinomu plic je obecně těžké vyhodnotit, zda je kouření až tak zásadním faktorem, dokonce i velké epidemiologické studie jako je od Darby a kol. (2006), musely chybějící hodnoty doplnit referenčními hodnotami za daný region.

Obecně tyto problémy popisují i jiné ekologické studie zaměřující se na spojitost mezi radonem a karcinomem plic (UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2008; Puškin, 2003), jejíž výsledky jsou často náchylné ke zkreslení, proto mají tyto studie obecně nízkou výpovědní hodnotu.

Mnohdy užívané kohortové studie (Darby et al., 2005; Darby et al., 2006) se tedy v současné době jeví zatím jako nejlepší způsob hodnocení radonového rizika a karcinomu plic, přestože i zde je problém při sběru dat, kdy se v čase jednotlivé kohorty zmenšují nebo se musí řešit problém s neúplností dat.

9] ZÁVĚR

Teoretická část poskytla základní přehled o problematice radonu v souvislosti s životním prostředím a zdravím člověka. Výsledky a diskuze ukázaly, že porovnávané proměnné objemová aktivita radonu a míra úmrtnosti na karcinom plic spolu korelují jen velmi málo bez ohledu na pohlaví.

Vypočítané hodnoty ukázaly, že výskyt úmrtí na karcinom plic v České republice není přímo ovlivněn zvýšeným výskytem koncentrace radonu v domech. Nelze ovšem jeho vliv zcela zanedbat nebo dokonce ignorovat. Přestože výše zmíněné proměnné spolu nekorelují, může mít radon vliv na zdraví člověka a jeho raný vývoj, jak již v zásadě prokázaly některé epidemiologické studie zmíněné v kapitole 5. 2. Radon a karcinom plic. I přes tyto výsledky se například podařilo potvrdit vliv geologického podloží na výskyt vyšších koncentrací radonu.

Pro obyvatelé České republiky není radon přímý rizikem, lze se bránit základními opatřeními, která jsou uvedena na stránkách Státního ústavu pro radiační ochranu (http://www.suro.cz), kde lze naleznout všechny potřebné informace, jak chránit nejen sebe, ale také svůj domov. Přehledné informace přímo o opatřeních souvisejících s radonem, které podniká Česká republika slouží webové stránky http://www.radonovyprogram.cz. Na těchto stránkách se mohou lidé obecně dozvědět nejen o radonovém riziku a jeho účincích na zdraví, ale také o možnostech státních příspěvků a dotací.

Závěrem lze shrnout, že radon sice není hlavním faktorem pro riziko karcinomu plic jako je kouření (a to i pasivní), nicméně i jemu by se měla věnovat patřičná pozornost a člověk by se neměl této expozici zbytečně vystavovat ve vyšších koncentracích.

10] ZDROJE

10. 1. Literatura a el. zdroje

ARCHER, V. E. et al. (2004): Latency and the lung cancer epidemic among United States uranium miners. Health Physics, 480–489.

BARNET, I. (1992): Radon v geologickém prostředí. Český geologický ústav, Praha.

BARNET, I. (1994): Radon risk classsification for building purposes in the Czech Republic. In: Radon investigations in the Czech Republic V and the second international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. ČGÚ. Praha. 18-24.

BARNET, I. (1999): Izolace proti radonu: stavební příručka. Platan, Pardubice.

BARNET, I. (2004): Indoor radon related to uranium in granitoids of the Central Bohemia plutonix complex. Czech Technical University, Prague.

BAUMOVÁ, V., HAMERSKÝ, M. (2001): Životní prostředí ve městech ČR: hlavní problémy životního prostředí ve městech. sborník z konference, Brno.

BERANOVA, R. (2002): Pražský tepelný ostrov: intenzita a dlouhodobé změny za různých synoptických podmínek. MFF UK, Praha, 86 s.

BOCHICCHIO, F., MCLAUGHLIN, JP., PIERMATTEL, S. (1995): Radon in indoor air. Brussels: European Commission.

BOLVIKEN, B. et al. (2003): Radon: a possible risk factor in multiple sclerosis. Neuroepidemiology, 87–94.

DARBY, S. et al. (1995): Radon and cancers other than lung cancer in underground miners: a collaborative analysis of 11 studies. Journal of the National Cancer Institute, 378–384.

DARBY, S. et al. (2005): Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. British Medical Journal, 223–227.

DARBY, S. et al. (2006): Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7,148 subjects with lung cancer and 14,208 subjects without lung cancer from 13 epidemiological studies in Europe. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 1–83.

DAVIS, J. R. (2008c) Fundamentals of aerospace medicine. 4th ed., Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.

DE VAUS, D. A. (2002): Social surveys. Sage, Thousand Oaks, California.

DLOUHÁ, B. (2008): Azbest v pacovním prostředí, Centrum hygieny práce a pracovního lékařství. Státní zdravotní ústav, Praha.

DUBOIS, G. (2005): An overview of radon surveys in Europe. Brussels: European Commission.

EEA - European Environment Agency (2008): Environment and health https://www.eea.europa.eu/cs/themes/human/intro, 1-5.

EEA - European Environment Agency (2013): Indoor air quality https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2013/articles/indoor-air-quality, 1-8.

ENS - Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR VI) (1999): Health effects of exposure to radon – BEIR VI. National Academy Press, Washington DC.

EVRARD, A. S. et al. (2006): Childhood leukemia incidence and exposure to indoor radon, terrestrial and cosmic gamma radiation. Health Physics.

GROSCHE, B. et al. (2006): Lung cancer risk among German male uranium miners: a cohort study, 1946–1998, British Journal of Cancer. 1280–1287.

HÁLA, J. (1998): Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. Konvoj, Brno.

HAUPTMANN, M. et al. (2001): Using splines to analyse latency in the Colorado Plateau uranium miners cohort. Journal of Epidemiology and Biostatistics, 417–424.

HAVRÁNEK J. a kolektiv (1990): Hluk a zdraví. Avicenum, Praha.

HAZELTON, D. W. et al. (2001): Analysis of a historical cohort of Chinese tin miners with arsenic, radon, cigarette smoke, and pipe smoke exposures using the biologically based two-stage clonal expansion model. Radiation Research, 78–94.

HENDL, J. (2004): Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat. Portál, Praha.

HORÁK, J., LINHART, I., KLUSOŇ, P. (2004): Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha.

HORNUNG, R. W. (2001): Health effects in underground uranium miners. Occupational Medicine, 331–344.

CHEVILLARD, A. et al. (2002): Transport of 222Rn using the regional model REMO: a detailed comparison with measurements over Europe. Tellus, United Kingdom, 850–871.

IARC - Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 43 (1988): Man-made mineral fibres and radon. International Agency for Research on Cancer, Lyon.

JIRÁNEK, M. (2006): Radonový štítek budovy. In: RADON bulletin 11/2006. Státní ústav radiační ochrany, Praha.

JONES, A. P. (1999): Indoor air quality and health, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, Norfolk, NR4 7TJ, UK

KELLER, G. et al. (2001): Radon permeability and radon exhalation of building materials. Science of the Total Environment, 85–89.

KLEIN, O., BENCKO, V. (1996): Ekologie člověka a zdraví. Univerzita Karlova, Praha.

KLEIN, O., BENCKO, V. (1996): Ekologie člověka a zdraví. Univerzita Karlova, Praha.

KLEIN, O., BENCKO, V. (1997): Ekologie člověka. Karolinum, Praha.

KLENER, V. (2000): ed. Principy a praxe radiační ochrany. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha.

KOMÁREK, L., PROVAZNÍK, K., CIKRT, M. (1997): ed. Radon. Fortuna, Praha.

KREUZER, M. et al. (2006): Mortality from cardiovascular diseases in the German uranium miners cohort study, 1946–1998. Radiation and Environmental Biophysics, 159–166.

KREUZER, M. et al. (2008): Radon and risk of extrapulmonary cancers – results of the German uranium miners cohort study. 1960–2003. British Journal of Cancer.

KREUZER, M. et al. (2010): Radon and risk of death from cancer and cardiovascular diseases in the German uranium miners cohort study: follow-up 1946–2003. Radiation and Environmental Biophysics, 177–185.

KREWSKI, D. et al. (2005): Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies. Epidemiology, 137–145.

KREWSKI, D. et al. (2006): A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. Journal of Toxicology and Environmental Health, 533–597.

KUNZ, E. (1990): Příručka lékaře o ochraně před zářením. Avicenum, Praha.

KVASNIČKOVÁ, D., MIKULOVÁ, V. a PLACHEJDOVÁ, E. (1998): Životní prostředí: doplňkový text k základům ekologie. Havlíčkův Brod, 1-159.

LANGHOLZ, B. et al. (1999): Latency analysis in epidemiologic studies of occupational exposures: application to the Colorado Plateau uranium miners cohort. American Journal of Industrial Medicine,246–256.

L'ANNUNZIATA, M. F. (2003): Handbook of radioactivity analysis. 2nd ed., Academic Press, San Diego.

LAURIER, D., VALENTY M., TIRMARCHE, M. (2001): Radon exposure and the risk of leukemia: a review of epidemiological studies. Health Physics, 272–288.

LUBIN, J. H., Boice, J. D. Jr. (1997): Lung cancer risk from residential radon: meta-analysis of eight epidemiologic studies. Journal of the National Cancer Institute, 49–57.

Lubin, J. H., et al. (2004): Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. International Journal of Cancer, 132–137.

LUBIN, J.H. (1999): Indoor radon and the risk of lung cancer. Proceedings of the American Statistical Association Conference on Radiation and Health Radiation Research, 105–107.

LYNCH, T. J., BELL, D. W., SORDELLA, R. et al. (2004): Activating Mutations in the Epidermal Growth Factor Receptor Underlying Responsiveness of Non-Small-Cell Lung Cancer to Gefitinib. 2129–2139.

MAKELAINEN, I. et al. (2001): Correlations between radon concentration and indoor gamma dose rate, soil permeability and dwelling substructure and ventilation. Science of the Total Environment, 283–289.

MANOVÁ, M., MATOLÍN, M., (1995): Radiometrická mapa České republiky 1:500 000. Český geologický ústav, Praha.

MAREL, M., SKÁCEL, Z., ŠPÁSOVÁ, I. et al. (2004): Diagnostika a léčba nemocných s plicním karcinomem na oddělení TRN ve FN Motol v letech 1998–2003. Stud Pneumol Phtiseol, 289–294.

MARTINS, S. J., PEREIRA, J. R. (1999): Clinical Factors and Prognosis in Non-Small Cell Lung Cancer. Am J Clin Oncol 22, 453–457

MATOLÍN, M. (2015): Stanovení radonového indexu pozemků - učební texty. Univerzita Karlova, Praha.

MATOLÍN, M., PROKOP, P. (1992): Radon investigations in Czechoslovakia III: Variation of radon volume aktivity in soil air in a year climatic cycle. Prague.

MODRÁ, H. (2014): Toxikologie potravin: vybrané kapitoly, Veterinární a farmaceutická univerzita. Brno.

MOHNER, M. et al. (2006): Leukemia and exposure to ionizing radiation among German uranium miners. American Journal of Industrial Medicine, 238–248.

MOHNER, M. et al. (2008): Ionizing radiation and risk of laryngeal cancer among German uranium miners. Health Physics, 725–733.

MURRAY, R. K. (2002): Harperova Biochemie. 23. vyd., (4. české vyd.), v H & H 3. Jinočany: H & H.

NIAS, A. H. W. (1998c): An introduction to radiobiology. 2nd ed., Wiley, New York.

NRC - National Research Council (1988): Health risks of radon and other internally

deposited alpha-emitters. National Academy Press, Washington, DC.

NUTBEAM, D. (1998): Health promotion glossary. Health Promotion International, Oxford University.

PAVIA, M. et al. (2003): Meta-analysis of residential exposure to radon gas and lung cancer. Bulletin of the World Health Organization.

PEŠEK, M. et al. (2002): Bronchogenní karcinom. Galén, Praha, 235s.

PFISTER, D. G., JOHNSON, D. H., AZZOLI, C. G. et al. (2004): American Society of Clinical Oncology treatment of unresectable non-small cell lung cancer guideline: update 2003. J Clin Oncol 2004, 330–363.

PUSKIN, J. S. (2003): Smoking as a confounder in ecologic correlations of cancer mortality rates with average county radon levels. Health Physics, 526–532.

RAASCHOU-NIELSEN, O. et al. (2008): Domestic radon and childhood cancer in Denmark. Epidemiology, 536–543.

ŘEŘICHA, V. et al. (2006): Incidence of leukemia, lymphoma, and multiple myeloma in Czech uranium miners: a case-cohort study. Environmental Health Perspectives, 818–822.

SKŘIČKOVÁ J., BABIČKOVÁ L., TOMÍŠKOVÁ M. a kol. (2004): Bronchogenní karcinom (41–62). In: Z. Adam, J. Vorlíček, J. Vaníček a kol.: Diagnostické a léčebné postupy u maligních chorob, Grada Publishing, Praha, 692 s.

SKŘIČKOVÁ, J. (2013): Nádory plic a průdušek: jak léčit nádory plic a průdušek? 2. upravené vydání, Solen, Olomouc.

STAŇKOVÁ, M., KURKA, P. (2014): Toxikologie: skriptum. Ostravská univerzita, Ostrava.

STRAM, D. O. et al. (1999): Correcting for exposure measurement error in a reanalysis of lung cancer mortality for the Colorado Plateau Uranium Miners cohort. Health Physics, 265–275.

SÚRO - Státní úřad radaiční ochrany (2001): Periodikum RADON bulletin - červen 2001. Vydal Státní ústav radiační ochrany, Praha.

SÚRO - Státní úřad radaiční ochrany (2002): Periodikum RADON bulletin - červen 2002. Vydal Státní ústav radiační ochrany, Praha.

SÚRO - Státní úřad radiační ochrany (2004): Periodikum RADON bulletin - listopad 2004. Vydal Státní ústav radiační ochrany, Praha.

SÚRO - Státní úřad radiační ochrany (2014): Periodikum RADON bulletin - prosinec 2014. Vydal Státní ústav radiační ochrany, Praha.

SURO - Státní ústav radiační ochrany (neuveden): Radon včera a dnes. Státní ústav radiační ochrany, Praha.

SZÚ - státní zdravotní ústav (2014): Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí. Souhrnná zpráva za rok 2013, Praha.

ŠAFRÁNKOVÁ, J. (2005): Člověk, stavby a jejich vzájemné působení: vnější a vnitřní prostředí staveb a jeho působení na člověka: teoretické názory a přístupy, příklady z praxe a možnosti různých disciplín. Fakulta stavební ČVUT, Praha, 152 s.

TOMÁŠEK, L. et al. (1994): Mortality in uranium miners in west Bohemia: a long term cohort study. Occupational and Environmental Medicine, 308–315.

TOMÁŠEK, L. et al. (2008): Lung cancer in French and Czech uranium miners: radon-associated risk at low exposure rates and modifying effects of time since exposure and age at exposure. Radiation Research, 125–137.

UNEP - United Nations Environment Programme (2016): Radiation: effects and sources. 1-68.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Efects of Atomic Radiation (1988): Report to the General Assembly, with annexes: Sources, effects and risks of ionizing radiation, 1-647.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000): Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly. New York: United Nations.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2008): Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces. Report to the General Assembly. New York: United Nations.

VEIGA, L. H. et al. (2007): Feasibility study for a long-term follow-up in a historical cohort of Brazilian coal miners. Journal of Radiological Protection, 349–360.

VILLENEUVE, P. J., LANE, R., MORRISON, H. I. (2007): Coronary heart disease mortality and radon exposure in the Newfoundland fluorspar miners' cohort, 1950–2001. Radiation and Environmental Biophysics, 291–296.

VILLENEUVE, P. J., MORRISON, H. I. (1997): Coronary heart disease mortality among Newfoundland fluorspar miners. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 221–226.

VOLF, P., HORÁK, P. (2007): Paraziti a jejich biologie. Triton, Praha.

VRZAL, R. (2014): Základy toxikologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

WALSH, L. et al. (2010): The influence of radon exposures on lung cancer mortality in German uranium miners, 1946–2003. Radiation Research, 79–90.

WHO - World Health Organization (2009): Handbook on indoor radon: a public health perspective. World Health Organization, Geneva.

WHO - World Health Organization (2010c): guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Copenhagen.

WILKINSON, R., MARMOT, M. (2003): The solid facts: social determinants of health. 2nd ed. Copenhagen: Centre for Urban Health, World Health Organization.

XUAN, X. Z., et al. (1993): A cohort study in southern China of tin miners exposed to radon and radon decay products. Health Physics, 123–131.

ZATLOUKAL, P., PETRUŽELKA, L. (2001): Karcinom plic. Grada, Praha, 367s.

10. 2. Webové stránky

http://www.alfa-radon.com

http://www.demografie.info

http://www.europeanlung.org/en/lung-disease-and-information/risk-factors/indoor-air-pollution

http://www.geologicke-mapy.cz/radon

http://www.iaea.org

http://www.radonabydleni.cz

http://www.unscear.org

http://www.who.int

https://www.czso.cz

https://www.eea.europa.eu

https://www.euronuclear.org

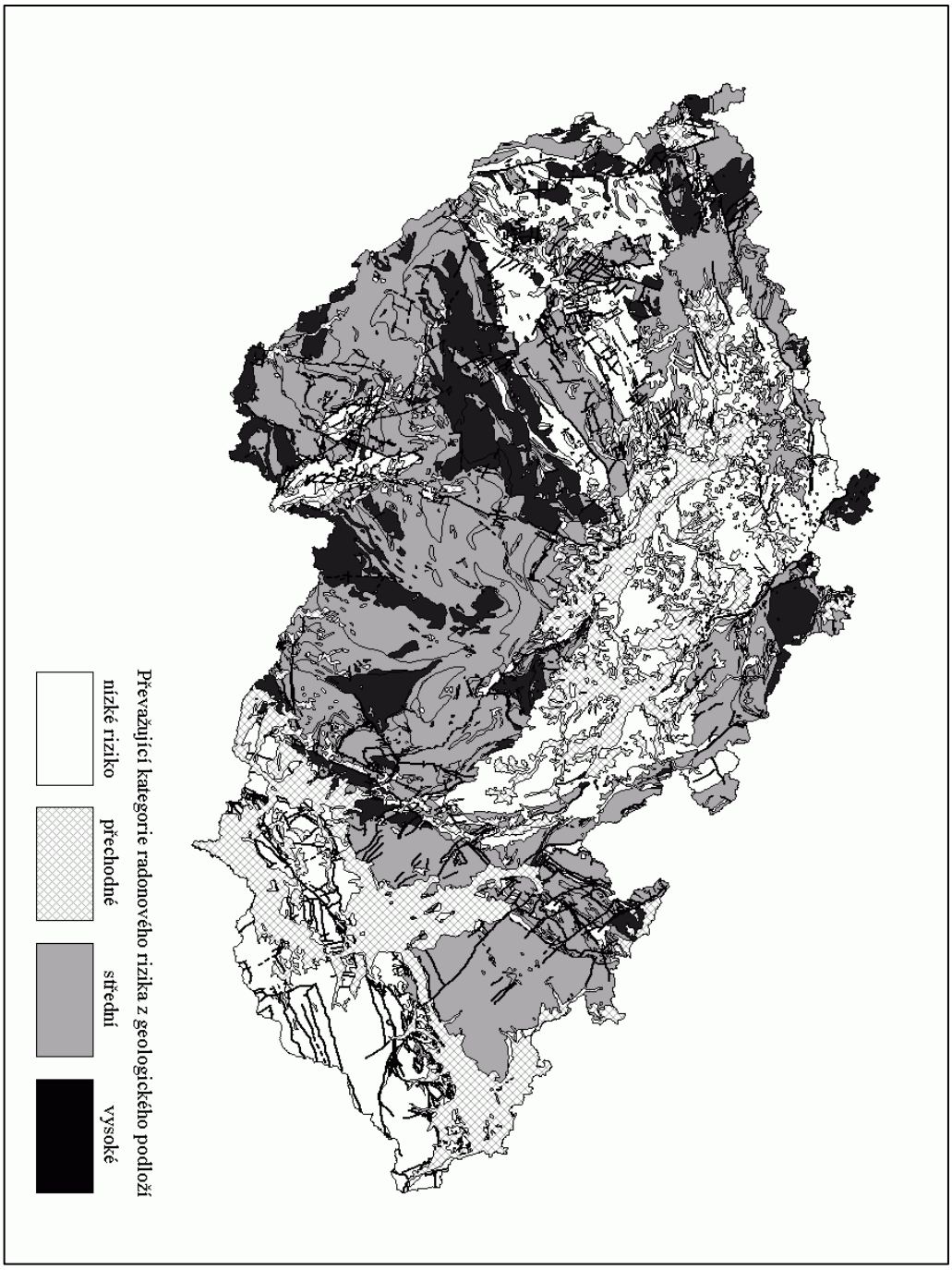
https://www.geology.cz

https://www.radonovyprogram.cz

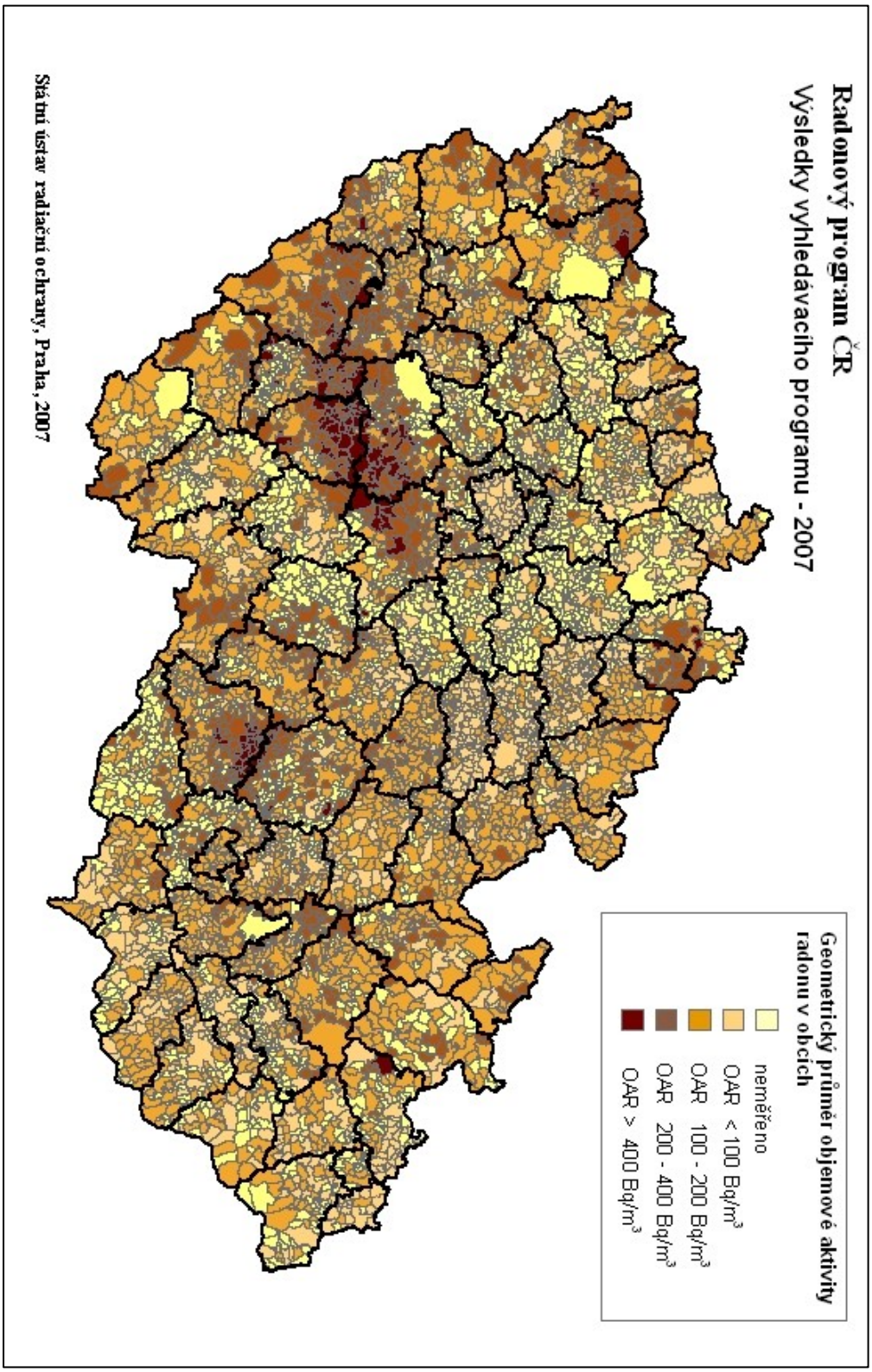
https://www.sujb.cz

https://www.suro.cz

11] PŘÍLOHY



[Př. 1]: Mapa – Převažující kategorie radonového indexu z geologického podloží, (Zdroj: SÚRO).



[Př. 2]: Mapa – radonový program ČR (výsledky vyhledávacího programu – 2007), (Zdroj: SÚRO, 2007).