

**UNIVERZITA KARLOVA**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Epidemiologie (N5135)

Studijní obor: NSOCEP (5103T075)



**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, 2018

## **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 17. 4. 2018

Podpis:

## 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 rychlou odezvu při opravování jednotlivých částí diplomové práce. Dále bych rád poděkoval RNDr. Michale Lustigové, Ph.D. (PřF UK, Katedra sociální geografie a region. rozvoje) za odbornou konzultaci statistického zpracování dat, Ing. Ivaně Fojtíkové (SÚRO) za poskytnutá data – měření radonu, pracovníkům Českého statistického úřadů za rady při vyhledávání vhodných populačních statistik a Ing. Daně Drábové, Ph.D. za poskytnutý expertní rozhovor.

Poděkování také patří rodině a přátelům za trpělivost a klidné prostředí, které mi bylo poskytnuto. Speciální poděkování patří především mé mamince Ladislavě Suchánkové.

## ABSTRAKT

**Úvod:** Znečišťování životního prostředí je zásadním problémem člověka od poloviny 19. století. Tato situace se zlepšuje až v druhé polovině 20. století, kdy si člověk začíná uvědomovat důsledky industrializace. Do popředí se tak dostává problematika znečištění ovzduší a např. i negativní účinky ionizujícího záření, případně únik radonu z geologického podloží a jeho vliv na vznik nejrůznějších onemocnění, kterým může být například karcinom plic. **Cíle:** Cílem práce je zjistit, zda existuje asociace mezi zvýšenou koncentrací radonu v budovách a některými zdravotními ukazateli (incidencí a standardizovanou mírou úmrtnosti). Pomocí statistické analýzy bylo zkoumáno, zda je mezi proměnnými statisticky signifikantní vztah a zda lze tyto proměnné spolu korelovat. Dílčími cíli práce bylo také vnést kvalitativní pohled v podobě expertního rozhovoru a vizualizovat získaná data do map. **Metodika:** Zdrojovými datovými soubory byly demografické ročenky Českého statistického úřadu, databáze o incidenci karcinomu plic z Národního zdravotnického informačního systému a naměřené hodnoty objemové aktivity radonu (OAR) poskytnuté Státním úřadem radiační ochrany. Data byla zpracována základní statistickou analýzou (výpočet některých parametrů) a použita pro tvorbu map v programu ArcGIS a výpočet korelační analýzy v programu SPSS. Rozhovor byl zpracován formou dotazování, kdy bylo položeno expertovi 16 otázek týkajících se problematiky radonu a karcinomu plic. **Výsledky:** Mapová vizualizace dat ukázala prostorovou diferenciaci objemové aktivity radonu i indexu míry úmrtnosti na karcinom plic. Korelační analýza bohužel neukázala bližší závislost mezi objemovou aktivitou radonu a incidencí nebo mírou úmrtnosti na karcinom plic. Naopak se projevila mírná negativní asociace, ovšem bez statisticky signifikantního vztahu. Výsledky byly pro obě pohlaví podobné. Expertní rozhovor s Dr. Drábovou potvrdil problematiku hodnocení vlivu radonu na vznik karcinomu plic. Kouření je zásadním faktorem pro jeho vznik. **Závěr:** Podařilo se odpovědět na otázky, které byly vytyčeny na začátku práce. Mezi objemovou aktivitou radonu a incidencí nebo standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic nebyla nalezena přímá asociace. I přes tyto výsledky jsou účinky radonu na karcinom plic prokázány v jiných studiích. Nicméně, základní prevencí se proti radonu a jeho vlivu na zdraví lze efektivně bránit. Případná další studie by musela být očištěna o vliv kouření.

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

## ABSTRACT

**Introduction:** Environmental pollution is a major human problem since the mid-19th century. This situation is improving in the second half of the 20th century when human recognizes the consequences of industrialization. The issue of air pollution and for example, the negative effects of ionizing radiation, or the release of radon from the geological subsoil and its influence on the diseases as lung carcinoma, all these issues get more important. **Purposes:** The aim of the work is to find out whether there is an association between elevated radon concentration in buildings and some health indicators (incidence and standardized mortality rate). Using statistical analysis, it is examined if there is a statistically significant relationship among the variables and if these variables should be correlated together. The partial aims of the thesis are also to bring a qualitative view in the form of a professional interview and to visualize the acquired data into maps. **Methods:** The sources of data were the demographic yearbooks of the Czech Statistical Office, the database on the incidence of lung carcinoma from the National Health Information System and the measured values of the volume activity of radon (OAR) provided by the State Office for Radiation Protection. The data was processed by basic statistical analysis (calculation of some parameters) and used for creating maps in ArcGIS and calculating of correlation analysis in SPSS. The interview was processed in the form of questioning, where 16 questions were addressed to the expert on radon and lung carcinoma. **Results:** Map visualization of the data showed spatial differentiation of volume activity of radon and mortality index. Unfortunately, the correlation analysis did not show a closer relation between volume activity of radon and the incidence or mortality rate of lung cancer. On the contrary, a slight negative association occurred, but without a statistically significant relation. The results were similar for both sexes. Professional interview with Dr. Drábová confirmed the problematic evaluation of the influence of radon on the development of lung carcinoma. Smoking is a major factor for its inception. **Conclusion:** All the questions that were set at the beginning of the work were answered. There was not found any direct association between volume activity of radon and incidence or standardized mortality rate. Despite these results, the effects of radon on lung cancer are demonstrated in other studies. However, by basic prevention it is possible to effectively defend against radon and its impact on health. Possible next studies would have to be adjusted for the effects of smoking.

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

# OBSAH

PROHLÁŠENÍ.....	2
PODĚKOVÁNÍ.....	3
ABSTRAKT.....	4
ABSTRACT.....	5
OBSAH.....	6
SEZNAM TABULEK.....	8
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
POUŽITÉ ZKRATKY.....	10
<b>1] ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
1. 1. CÍL PRÁCE.....	12
1. 2. STRUKTURA PRÁCE.....	12
<b>2] ČLOVĚK A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>13</b>
2. 1. DRUHY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČLOVĚKA.....	13
2. 2. VLIV PROSTŘEDÍ NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA.....	14
2. 3. KVALITA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....	17
<b>3] RADIOAKTIVITA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>19</b>
3. 1. ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	19
3. 2. DRUHY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	20
3. 3. VLIV IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA.....	21
<b>4] RADON.....</b>	<b>24</b>
4. 1. ZDROJE RADONU.....	24
4. 2. ZPŮSOBY TRANSPORTU RADONU.....	27
4. 3. MĚŘENÍ RADONU.....	27
4. 4. PROTIRADONOVÁ OPATŘENÍ.....	29
4. 5. HISTORIE RADONOVÉ PROBLEMATIKY ČR.....	30
4. 6. RADONOVÝ PROGRAM – AKČNÍ PLÁN (2010–2019).....	32
<b>5] VLIV RADONOVÉHO ZÁŘENÍ NA KARCINOM PLIC.....</b>	<b>35</b>
5. 1. KARCINOM PLIC.....	35
5. 2. RADON A KARCINOM PLIC.....	40
<b>6] METODIKA.....</b>	<b>50</b>
6. 1. ZDROJOVÁ DATA.....	50
6. 2. ZPRACOVÁNÍ DAT A VÝSTUPY.....	52

<b>7] VÝSLEDKY .....</b>	<b>58</b>
7. 1. MAPOVÉ VÝSTUPY .....	61
7. 2. KORELAČNÍ ANALÝZA.....	69
7. 3. EXPERTNÍ ROZHOVOR.....	75
<b>8] DISKUZE.....</b>	<b>78</b>
8. 1. MAPOVÉ VÝSTUPY .....	78
8. 2. KORELAČNÍ ANALÝZA.....	79
8. 3. EXPERTNÍ ROZHOVOR.....	81
<b>9] ZÁVĚR.....</b>	<b>82</b>
<b>10] ZDROJE .....</b>	<b>83</b>
<b>11] PŘÍLOHY .....</b>	<b>94</b>

## SEZNAM TABULEK

[Tab. č. 1]: Odhadované podíly průměrné roční dávky absorbovaného záření.....	19
[Tab. č. 2]: Nejvyšší přípustné dávky záření.....	21
[Tab. č. 3]: Převažující kategorie radonového indexu v hlavních horninových typů na území ČR .....	25
[Tab. č. 4]: Stanovení radonového indexu pozemku podle OAR v půdním vzduchu.....	28
[Tab. č. 5]: Koncentrace radonu ve vodě a jejich doporučení.....	29
[Tab. č. 6]: Přehled doporučených protiradonových opatření u nových staveb.....	30
[Tab. č. 7] Incidence a mortalita na karcinom plic pro muže a ženy v ČR.....	37
[Tab. č. 8]: Stupně stavu výkonnosti nemocných.....	38
[Tab. č. 9] Kumulativní riziko úmrtí na rakovinu plic u osob ve věku 75let (kuřáci a nekuřáci) s různou koncentrace radonu.....	44
[Tab. č. 10] Relativní riziko při 100 Bq.m <sup>-3</sup> ve vybraných zemích.....	45
[Tab. č. 11] Průměrná OAR ve vybraných zemích.....	46
[Tab. č. 12] Přehled studií ve vybraných zemích.....	47
[Tab. č. 13] Incidence vybraných leukemických onemocnění dle ICD-9.....	48
[Tab. č. 14]: Interpretace hodnot korelačních koeficientů v sociálních vědách.....	55
[Tab. č. 15]: Přehledová tabulka s údaji o OAR, podílu domácností s OAR nad 400 Bq.m <sup>-3</sup> , incidenci karcinomu plic, indexu úmrtnosti a míře úmrtnosti na karcinom plic.....	60
[Tab. č. 16]: Popisná statistika korelovaných datových souborů (OAR a incidence karcinom plic u mužů).....	69
[Tab. č. 17]: Pearsonův korel. koef. mezi OAR a incidencí karcinomu plic u mužů.....	69
[Tab. č. 18]: Spearmanův korel. koef. mezi OAR a incidencí karcinomu plic u mužů.....	69
[Tab. č. 19]: Popisná statistika korelovaných datových souborů (OAR a incidence karcinom plic u žen).....	70
[Tab. č. 20]: Pearsonův korel. koef. mezi OAR a incidencí karcinomu plic u žen.....	70
[Tab. č. 21]: Spearmanův korel. koef. mezi OAR a incidencí karcinomu plic u žen.....	71
[Tab. č. 22]: Popisná statistika korelovaných datových souborů (OAR a míra úmrtnosti na karcinom plic u mužů).....	72
[Tab. č. 23]: Pearsonův korel. koef. mezi OAR a mírou úmrtnosti na karcinom plic (muži).....	72
[Tab. č. 24]: Spearmanův korel. koef. mezi OAR a mírou úmrtnosti na karcinom plic (muži)....	72
[Tab. č. 25]: Popisná statistika korelovaných datových souborů (OAR a mírou úmrtnosti na karcinom plic u žen).....	73
[Tab. č. 26]: Pearsonův korel. koef. mezi OAR a mírou úmrtnosti na karcinom plic (ženy).....	73
[Tab. č. 27]: Spearmanův korel. koef. mezi OAR a mírou úmrtnosti na karcinom plic (ženy)....	74
[Tab. č. 28]: Vypočítané hodnoty korelační analýzy pro muže a ženy.....	79



## SEZNAM OBRÁZKŮ

[Obr. č. 1]: Průměrné expozice obyvatel podle zdrojů záření.....	19
[Obr. č. 2]: Celosvětové rozdělení radiační expozice .....	20
[Obr. č. 3]: Pronikavost různých typů záření .....	21
[Obr. č. 4]: Doba od radiační expozice do doby zjištění rakoviny .....	23
[Obr. č. 5]: Uran-radiová rozpadová řada .....	24
[Obr. č. 6]: Nejčastější vstupní cesty radonu do domu .....	25
[Obr. č. 7]: Schéma hranice středního radonového indexu .....	28
[Obr. č. 8] Vztah relativního rizika k dlouhodobé průměrné hodnotě OAR v domácnostech ....	43
[Obr. č. 9]: Objemová aktivita radonu ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) v okresech ČR .....	61
[Obr. č. 10]: Počty okresů v jednotlivých kategoriích OAR .....	62
[Obr. č. 11]: Procentuální podíl domácností s OAR nad $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ v okresech ČR.....	63
[Obr. č. 12]: Kategorie podílu počtu domácností s OAR nad $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ .....	64
[Obr. č. 13]: Rozdíly v indexu míry úmrtnosti na karcinom plic od celorepublikového průměru v jednotlivých okresech ČR (muži) .....	65
[Obr. č. 14]: Četnost indexu úmrtnosti na karcinom plic (muži) dle jednotlivých kategorií .....	66
[Obr. č. 15]: Rozdíly v indexu míry úmrtnosti na karcinom plic od celorepublikového průměru v okresech ČR (ženy) .....	67
[Obr. č. 16]: Četnost indexu úmrtnosti na karcinom plic (ženy) dle jednotlivých kategorií. ....	68
[Obr. č. 17]: Vztah mezi OAR a incidencí na karcinom plic u mužů .....	70
[Obr. č. 18]: Vztah mezi OAR a incidencí na karcinom plic u žen.....	71
[Obr. č. 19]: Vztah mezi OAR a standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic u žen.....	74
[Obr. č. 20]: Průměrná koncentrace radonu ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) v zemích Evropy.....	75
[Př. 1]: Mapa – Převažující kategorie radonového indexu z geologického podloží.....	94
[Př. 2]: Mapa – radonový program ČR .....	95

## POUŽITÉ ZKRATKY

**CNS:** Centrální nervová soustava.

**ČSÚ:** Český statistický úřad.

**DNA:** Deoxyribonukleová kyselina.

**ERR:** Excess relative risk (přídavné relativní riziko).

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

**ICD:** International Classification Disease (Mezinárodní klasifikace nemocí)

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

**MKN:** Mezinárodní klasifikace nemocí.

**NRC:** National Research Council (Národní výzkumná rada).

**NZIS:** Národní zdravotnický informační systém.

**OAR:** Objemová aktivita radonu.

**RR:** Relativní riziko.

**RTG:** Rentgenové záření.

**SÚJB:** Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

**SÚRO:** Státní úřad radiační ochrany.

**SZÚ:** Státní zdravotní ústav.

**UNSCEAR:** United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Vědecká rada OSN pro účinky radiace).

**WHO:** World Health Organization (Světová zdravotnická organizace).

**WLM:** Working level month (Počet pracovních hodin za měsíc).

# 1] ÚVOD

Člověk je součástí životního prostředí již od pravěku. Dlouhou dobu neměl na životní prostředí zásadní vliv, to se změnilo s příchodem neolitické revoluce, kdy člověk poprvé začíná přetvářet podobu životního prostředí. Výrazným milníkem je v tomto ohledu průmyslová revoluce, která zapříčinila výrazné znečištění životního prostředí (Klein et Bencko, 1996).

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 problematiku životního prostředí řešit, protože právě negativní změny prostředí se podepisují na zdravotním stavu celé lidské populace (Klein et Bencko, 1996).

Tato diplomová práce se zaměřuje na určitou část problému znečišťování životního prostředí, kterým je ionizující záření. Člověk je vystavován záření z mnoha zdrojů, ať už v lékařství, tak i z přirozených zdrojů jako je kosmické záření nebo radon (Matolín, 2015), právě na radon a jeho účinky je tato diplomová práce zaměřena.

Problematika radonu je ve vědecké sféře detailněji zkoumána zhruba od 50. let 20. století, tehdy se poprvé začíná hovořit o negativních účincích radonu na lidský organismus. V Evropě se jako první problematikou radonu zabývalo tehdejší Československo, Švédsko, Německo nebo Francie (SÚRO, 2002).

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

Epidemiologické studie prokázaly, že vzrůstající koncentrace radonu v domě vede k zvýšení rizika onemocnění karcinomem plic (Darby et al., 2005; Darby et al., 2006). Studie Darby a kol. (2005, 2006) stanovila relativní riziko 0,16 (odpovídá zvýšení rizika karcinomu plic o 16 %) při objemové aktivitě radonu  $100 \text{ Bq.m}^{-3}$ . Dle dostupných dat Českého statistického úřadu (ČSÚ) za posledních 15let umírá na karcinom plic v České republice průměrně 5500 osob ročně, z čehož téměř 2/3 tvoří muži (trend se v posledních letech mezi muži a ženami vyrovnává). Průměrné koncentrace vnitřního radonu (radon uvnitř budov) v České republice se pohybují okolo hodnot  $120 \text{ Bq.m}^{-3}$ . 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 shrnout problematiku radonového záření a jeho vliv na vznik karcinomu plic. Tento cíl zahrnuje i obecnou charakteristiku některých oblastí životního prostředí. V práci jsou kladeny otázky: „*Existuje asociace mezi standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic a objemovou aktivitou radonu v budovách?*“ či „*Jaká je asociace mezi incidencí karcinomu plic a objemovou aktivitou radonu v budovách?*“.

Smyslem této diplomové práce je ověřit hypotézy a objektivně shrnout, zda lze proměnné korelovat, případně zda je nutné pro podobnou analýzu spoléhat spíše na osvědčené metody, kterými jsou především práce založené na kohortách horníků a výpočtu relativního nebo přídavného rizika.

Díličím cílem je také vizualizovat data do grafů, tabulek a map pro případné další využití ve výzkumu a zahrnout další aspekt v podobě expertního rozhovoru, jakožto rozšíření práce o kvalitativní aspekt.

## **1. 2. Struktura práce**

Diplomová práce je strukturovaná s ohledem k multidisciplinárnímu pojetí tematiky vlivu radonového záření na kvalitu životního prostředí člověka. Teoretická část práce je tvořena pěti kapitolami (včetně úvodu), které jsou věnované problematice životního prostředí člověka, radioaktivitě, radonu a jeho vlivu na vznik karcinomu plic.

Praktická část je věnovaná mapovým výstupům, korelační analýze, expertnímu rozhovoru s dr. Danou Drábovou a diskuzi nad problematikou vlastního tématu v kontextu výsledků práce a závěrečnému shrnutí.

## 2] ČLOVĚK A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Člověk již od doby neolitické revoluce ovlivňuje prostředí kolem sebe, přetváří krajinu a vytváří trvalé stavby. Zhruba od konce 19. století můžeme sledovat nárůst znečištění ovzduší, to má za následek různé respirační problémy u lidí, zhoršení kvality vzduchu, častější smogové situace, teplotní inverze atd. S ohledem k vlastnímu vývoji si člověk postupně začal vytvářet své vlastní životní prostředí, které lze vyčlenit do třech základních typů (Kvasničková, Mikulová et Plachejdová, 1998).

### 2. 1. Druhy životního prostředí člověka

Jednotlivé druhy životního prostředí se odvíjejí od charakteru podmínek, které člověk potřebuje pro kvalitní a dlouhý život. Pro účely této diplomové práce jsem vybral dělení na základě významu pro život, které má k radonové problematice nejbližší. Prostředí si tedy můžeme rozdělit na rekreační, pracovní a obytné. Z hlediska významu radonové problematiky má největší váhu pro šíření radonu a vznik karcinomu plic obytné prostředí, méně pak pracovní a rekreační (Kvasničková, Mikulová et Plachejdová, 1998).

**Rekreační prostředí** lze popsat jako prostor, kde člověk tráví svůj volný čas mimo domov. Je to prostředí, které může být uvnitř nějaké budovy nebo venku. Smyslem rekreačního prostředí je odtrhnout člověka od každodenní rutiny a stresu (zlepšení psychického nebo fyzického zdraví). Za rekreační prostředí můžeme označit letoviska pro letní a zimní dovolené, léčebné lázně (př.: radonové lázně Jáchymov), dovolenou na chatě či prostředí pro pravidelné aktivity jako je sport, kino, návštěva divadla aj.

**Pracovním prostředím** označujeme místo našeho pracoviště, kde se pohybujeme během dne. U některých lidí toto pracoviště může být stejné jako obytné prostředí (práce z domova), nicméně větší část populace pracuje mimo svůj domov. Do pracovního prostředí nespadá pouze samotná práce, ale i sociální vazby a společenská struktura, která každého jedince utváří.

V souvislosti s pracovním prostředím se mnohdy mluví o tzv. **pohodě prostředí** – všechny vlivy prostředí, které vyvolávají příjemné či nepříjemné pocity u člověka. Může jít o teplotu, čistotu vzduchu (zápach, kvalita vzduchu atd.), zrakovou pohodu (osvětlení, barevnost pracovního prostředí aj.), akustiku (hluk a jiné zvuky) atd. (Šafránková, 2005).

**Obytné prostředí** lze v širším pojetí definovat jako prostředí našeho domu (i zahrady), můžeme si ho rozdělit na vnitřní a vnější. Na vnitřní prostředí jsou kladeny specifické požadavky, jako je teplota, osvětlení, hluchnost, odvětrávání či úroveň čistoty (Šafránková, 2005).

Naopak vnější obytné prostředí je závislé především na velikosti a charakteru sídla, tedy na jeho uspořádání, přírodním prostředí a zájmu obyvatel o udržitelnost. 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. Oslunění, čistota vzduchu a provětrávání jsou ukazatelem kvality životního prostředí v městských sídlech (Baumová et Hamerský, 2001). Svůj význam ve městech mají také zelené zóny (místa se zelení – parky, zahrady atd.), které zlepšují kvalitu ovzduší (vázaní CO<sub>2</sub>, produkce kyslíku, zachytávání prachu, smogu nebo částic těžkých kovů, absorpce hluku, šíření radonu atd.).

Pro empirický výzkum této práce je zásadní především vnitřní obytné prostředí, kterým se může poměrně snadno radon jako plyn šířit.

## **2. 2. Vliv prostředí na zdraví člověka**

Na organismus člověka působí mnoho vnějších faktorů, které mohou jeho zdravotní stav negativně ovlivnit. Organismus může být napaden komplexně, tedy nespecifikovaně nebo naopak cíleně, kdy je expozici daného faktoru vystavován pouze jeden orgán (př.: inhalace prachu). Abychom mohli určit závažnost takového vlivu prostředí (expozice), musíme mít informace o **celkovém stavu organismu** (zdravotní stav, věk, genetické predispozice, schopnost přizpůsobit se), **době působení expozice** (ve spánku, při práci, po krátkou dobu nebo naopak dlouhodobě, střídavě x trvale) a samotném **charakteru expozice** (dlouhodobé hromadění v organismu – karcinogenní látky, po omezenou dobu – hluk) (Kvasničková, Mikulová et Plachejdová, 1998):

Jednotlivé vlivy (expozice) se dají rozdělit na základě jejich podstaty na **chemické, fyzikální, biologické a sociální**. Mezi jednotlivými expozicemi nemusí být vždy jasně dané hranice a mohou se částečně překrývat.

### **2. 2. 1. Vliv chemických látek**

Na lidský organismus mají vliv všechny chemické látky, ne všechny jsou nutně škodlivé, ale při překročení maximální dávky, se může i relativně neškodná látka stát toxickou a způsobit smrt (Horák, Linhart et Klusoň, 2004).

Chemická látka do těla vstupují několika způsoby. Nejčastěji trávicím ústrojím (ústí), při dýchání (tímto způsobem se do těla dostává radon), skrze kůži a oči. Z těla se tyto látky vylučují různou rychlostí v závislosti na koncentraci chemické látky, kterou organismus přijme. Platí, že největší dávky organismus dostává krátce po vystavení expozici (Vrzal, 2014). Některé látky lidské tělo vyloučit nedokáže téměř vůbec, proto se v něm hromadí (Př.: radon, azbest či některé těžké kovy) (Modrá, 2014). Kromě samotné dávky je důležité znát i dobu expozice. Podle toho chemické látky způsobují onemocnění v akutní (př.: ozáření radonem) nebo chronické formě. Chronická onemocnění se projevují obvykle až po uplynutí nějaké doby, tudíž mohou být příčiny vzniku onemocnění nejasné (Staňková et Kurka, 2014).

Nejčastějšími rizikovými chemickými látkami dle WHO (2010c) jsou alkohol, kouření a jiné návykové látky (př.: narkotika).

Dle WHO (2010c) má kouření na svědomí 90 % případů karcinomu plic, 75 % případů chronické bronchitidy a 25 % srdečních onemocnění. Následkem kouření umírá na celém světě 2 miliony lidí ročně.

### **2. 2. 2. Fyzikální vlivy**

Kromě chemických látek na lidský organismus působí také fyzikální vlivy. Mezi fyzikální vlivy řadíme hluk, světlo, teplotu, vibrace a různé druhy záření. Hluk je rizikový především ve městech, u frekventovaných silnic a dálnic a blízko větrných elektráren, které mohou způsobovat spánkové a duševní poruchy (Havránek et al., 1990). Podobný rušivý účinek mohou mít vibrace, které jsou způsobeny nadměrnou dopravou v blízkosti dálnic, letišť či stavenišť (SZÚ, 2014).

Podobným problémem je osvětlení v budovách, které může být nedostačující, ať už z nedostatku oken, tak vlivem zastínění vegetací či zástavbou. Právě nedostatek slunečního záření má vliv na pohodu člověka a jeho zdravotní stav (př.: zhoršení zraku při nedostatečném osvětlení, deficit vitamínu D v lidském těle atd.) (Murray, 2002).

Dalším fyzikálním vlivem je teplota. Rozdílné teploty venku a uvnitř budov mohou způsobit nachlazení a jiné respirační problémy, kdy vcházíme a vycházíme z vytápěných nebo klimatizovaných budov. Klimatizovaná místa mohou být zdroje nákazy virových onemocnění, usnadňují totiž šíření nejrůznějších epidemií (SZÚ, 2014).

Neméně důležitým fyzikálním vlivem je záření, jež má různé dopady na kvalitu životního prostředí člověka nebo přímo na zdravý vývoj plodu během těhotenství (WHO, 2010c).

### 2. 2. 3. Biologické vlivy

Nejčastěji se jedná o bakterie a viry způsobující různá onemocnění, případně transport těchto bakterií, virů nebo parazitů (červi, hmyz, prvoci aj.) skrze přenašeče, kterými jsou nejčastěji komáři a mouchy. Rizikem mohou být i domestikovaná či chovná zvířata, která umožňují snazší přesun na člověka, stejně tak možnost rychlejší mutace virů a bakterií a jejich adaptaci na organismus člověka. V rozvojových zemích jsou právě často infekční onemocnění příčinou úmrtí, více než kardiovaskulární onemocnění nebo novotvary (Volf et Horák, 2007).

Za biologické vlivy lze označit i genetické mutace, vrozené vady, dědičnou predispozici některých onemocnění, stres během těhotenství atd.

### 2. 2. 4. Sociální vlivy

Nízká životní úroveň a zaostalost zvyšují riziko onemocnění a zkracují délku života. Mezi základní sociální vlivy patří **životní styl** (životní úroveň, sociální faktory, nezaměstnanost, práce, stres, vzdělání, stravování, pohybová aktivity, alkohol, kouření, hygiena, sexuální chování atd.), **péče o zdraví** (jak správně o něj pečovat, dostatek informací k onemocněním) a **úroveň zdravotnictví** (rozvoj medicíny a lékařské techniky, zdravotní politika, dostupnost zdravotní péče, systém a úroveň zdravotnictví, organizace financování a řízení zdravotnictví). V souvislosti se sociálními vlivy se 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.
- Přejedná 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.



Pokud bychom chtěli jednotlivé vlivy nějakým způsobem kvantifikovat, zjistili bychom, že životní styl má vliv na zdraví zhruba 50 %, genetické faktory zhruba 10-15 %, zdravotní péče 10-15 % a faktor životního prostředí má na zdraví vliv zhruba jen z 15-20 % (Wilkinson, Marmot, 2005).

#### Základní ukazatele zdravotního stavu

Zdravotní stav se v sociálně-geografických vědách zjišťuje a hodnotí dotazníkovým šetřením nebo sběrem statistických dat (použití nějaké již existující databáze). Sbírají se absolutní hodnoty počtu obyvatel, morbidita, mortalita, natalita, kojenecká úmrtnost a jiné demografické ukazatelé (SZÚ, 2014). Ty se následně přepočítávají na relativní data a standardizují, aby se zamezilo vlivu věkové struktury obyvatelstva.

Pro hodnocení zdravotního stavu populace se používají demografické ukazatele, ukazatele úmrtnosti a nemocnosti. Hodnocení se provádí pro obě pohlaví nebo pro muže a ženy zvlášť, případně dle věkové skupiny či jiných indikátorů, kterými mohou být úmrtnost, reprodukční ukazatelé, incidence, prevalence atd.

V České republice jsou nejdůležitějším zdrojem informací o zdravotním stavu obyvatelstva databáze Ústavu zdravotnických informací (ÚZIS), popřípadě databáze Národního onkologického registru, krajských hygienických stanic atd.

## **2. 3. Kvalita životního prostředí**

Kvalita životního prostředí je dlouhodobý ukazatel, který nám říká, jak moc kvalitní prostředí kolem sebe máme. Úzce souvisí s kvalitou života, proto je v posledních desetiletích věnována pozornost zkvalitňování úrovně životního prostředí. Nejvíce se v této souvislosti mluví o znečištění ovzduší, kvalitě pitné vody a hygieně (EEA, 2008).

Kvalitativních znaků prostředí je celá řada, nicméně výzkumem této diplomové práce je pouze radon a jeho vliv na kvalitu lidského života, proto se v této kapitole zaměřuji pouze na jediný specifický kvalitativní znak, kterým je koncentrace radonu v ovzduší budov.

### **2. 3. 1. Kvalita ovzduší v budovách**

Mnohdy se mluví o kvalitě ovzduší a je tím míněna kvalita vzduchu venku, nicméně právě kvalita ovzduší v budovách je pro zdraví člověka minimálně stejně důležitá. Velmi často se hovoří o znečištění dopravou, průmyslovou činností, a tak se obytné prostory mohou na první pohled jevit jako bezpečnější a zdravější místa pro život, nicméně skutečnost hovoří o opaku (Austin et

al., 2002). V uzavřených prostorách se nebezpečné látky koncentrují mnohem více, protože nedochází k pravidelné ventilaci a látky se nemohou přirozeně uvolňovat do ovzduší a hromadí se uvnitř (EEA, 2013). Dnes jsou ovšem již rizika ze znečištění ovzduší v obytných prostorách mnohem více sledovaná. Kvalita ovzduší v budovách je dána několika faktory:

- Stavebním materiálem.
- Užíváním čisticích prostředků.
- Účelem prostoru (ložnice, kuchyň, půda atd.) a způsobem jeho využívání.
- Ventilací (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 hromadící se látky patří tabákový kouř, radon, drobné částice vzniklé spalováním fosilních paliv nebo dřevem, chemické látky, těžké kovy a azbest (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). Za hlavní zdroje znečištění pokládá vaření, spalování uhlí či dřeva, pálení svíček a vonných tyčinek, výpary vosků a leštidel, chemické látky ve stavebních materiálech (př.: formaldehyd v překližce), a také radon v půdě a stavebních materiálech.

### 3] RADIOAKTIVITA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

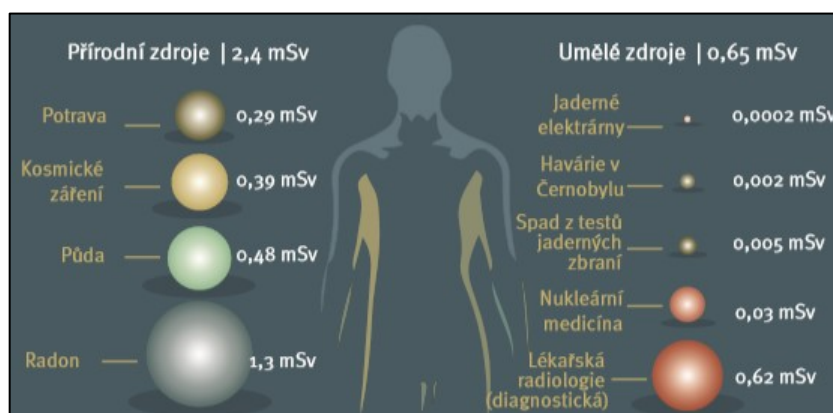
Ionizující záření vzniká přirozeným či umělým rozpadem radioaktivních prvků uran 238, thorium 232, rubidium 87, draslík 40 (Bochicchio et al, 1995). V zásadě jde o tok hmotných částic (případně fotonů) elektromagnetického záření. Toto záření pak interaguje s atomy prostředí a narušuje jejich stavbu atomového jádra. Záření prochází látkou, a tak postupně ztrácí svou energii. 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%)
<b>Celkem</b>	<b>88,3 %</b>	<b>Celkem</b>	<b>11,7 %</b>

[Tab. č. 1]: Odhadované podíly průměrné roční dávky absorbovaného záření (Zdroj: UNSCEAR, 1993).

#### 3. 1. Zdroje ionizujícího záření

Ionizující záření může vznikat **přirozeně** nebo **uměle** [Tab. č. 1]. K přírodním zdrojům radioaktivity řadíme kosmické záření a přírodní radioaktivitu hornin, vody a vzduchu. Naopak mezi umělé zdroje záření patří diagnostická zařízení v medicíně, odpad jaderných elektráren a zkoušky jaderných zbraní. **Průměrná hodnota**, tzv. **efektivní dávka** ozáření z přirozených zdrojů je 2,4 mSv/rok [Obr. Č. 1]. V České republice je tato efektivní dávka 3 mSv, v Německu 4,8 mSv a v Itálii zhruba 5 mSv. Existují ovšem oblasti, kde je riziko ozáření mnohem vyšší. Příkladem jsou oblasti kolem města Ramsar v Iráku (zhruba 260 mSv) či pověstné brazilské pláže Guarapari bohaté na monazitové písky. Tyto vyšší hodnoty jsou dány geologií dané oblasti (UNEP, 2016).



[Obr. Č. 1]: Průměrné expozice obyvatel podle zdrojů záření (Zdroj: UNEP, 2016).

S ozářením se můžeme setkat i u potravin, kde sledujeme přírodní radioaktivní izotop draslíku. Odhadovaná dávka v potravinách se pohybuje v průměru okolo 0,17 mSv [Obr. Č. 2] (UNSCEAR, 1988).



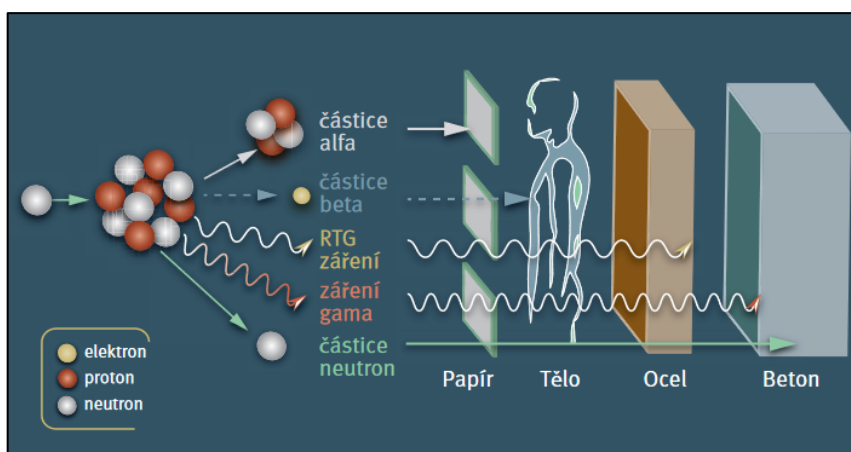
[Obr. Č. 2]: Celosvětové rozdělení radiační expozice. (Zdroj: UNEP, 2016).

### 3. 2. Druhy ionizujícího záření

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

- **Záření alfa** má silné ionizující účinky. Jedná se o proud letících heliových jader. Náboj záření je kladný a lze se vůči němu poměrně snadno chránit, zastaví je obyčejný křídový papír. Nebezpečné je v případě vdechnutí, přes kůži neproniká.
- **Záření beta** jsou částice emitované z jader prvků při přeměnách neutronu a protonu, jsou to 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 nižší než u alfa záření, proto nepředstavuje takové riziko.
- **Záření gama** je elektromagnetické záření tvořené fotony, které má minimální ionizující účinky, naopak pronikavost je silnější než u alfa nebo beta záření. K zastavení je nutná bariéra v podobě 1 metru silného betonu nebo 10 cm mocného olověného plátu.
- **Neutronové záření** je proud elektricky neutrálních částic s různou pronikavostí.

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

Jak již bylo řečeno v úvodu této kapitoly, je ionizující záření ve vyšších množstvích pro lidský organismus škodlivé, dochází k nevratným změnám v buňkách a modifikuje vlákna DNA. Následkem toho může dojít k okamžité smrti nebo vzniku rakoviny. Účinky záření se v čase mění, proto je těžké odhadnout, zda na organismus působí rychle nebo pomalu. Rychlé zdravotní projevy se diagnostikují nejčastěji u jednotlivých případů (př.: akutní nemoc z ozáření), naopak pomalé (př.: rakovina) se zjišťují skrze epidemiologické studie (Davis, 2008c).

Pro přesnější účinky ionizujícího záření byly zavedeny dvě velmi podobné jednotky, které vyjadřují různým způsobem velikost přijaté dávky. První je **absorbovaná dávka**, která se značí **Gy** (gray) a vyjadřuje množství zářivé energie pohlcené v jednom kilogramu tkáně. Nevýhoda této jednotky je, že nerozlišuje typ záření, poněvadž platí, že dávka alfa záření vyvolá větší poškození než stejná dávka od beta či gama záření, proto je nutné absorbovanou dávku u různých typů záření převádět na tzv. **ekvivalentní dávku**, která se měří v **Sv** (sievert) [Tab. č. 2].

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

[Tab. č. 2]: Nejvyšší přípustné dávky záření. \*Jsou označeni pracovníci v jaderné průmyslu, horníci a jiné osoby, které pracují s radioaktivními materiály (Zdroj: upraveno dle Kvasničková, Mikulová et Plachejdová, 1998).

### 3. 3. 1. Rychlé účinky záření na lidský organismus

Rychlé účinky jsou vyvolány poškozením buněk nebo přímo jejich smrtí. Nejčastější se jedná o popáleniny kůže, ztrátu vlasů a ochlupení na těle, zhoršení plodnosti či neplodnost. Účinky jsou dány většinou jednorázovou vysokou dávkou záření, projevy se odvíjí od intenzity záření (L'Annunziata, 2012). 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 či zvracení v kombinaci se střevními obtížemi, dehydratací, únavou, horečkou, bolestí hlavy a nízkým krevním tlakem. Postižený může během prvních dvou týdnů zemřít na selhání žaludku nebo střev (Nias, 1998c). Nižší dávky 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 riziko leukémie (UNEP, 2016).

Kontrolované dávky záření se využívají při léčbě nádorových onemocnění, kde se cíleně ničí 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 není aplikována najednou, ale postupně (UNEP, 2016).

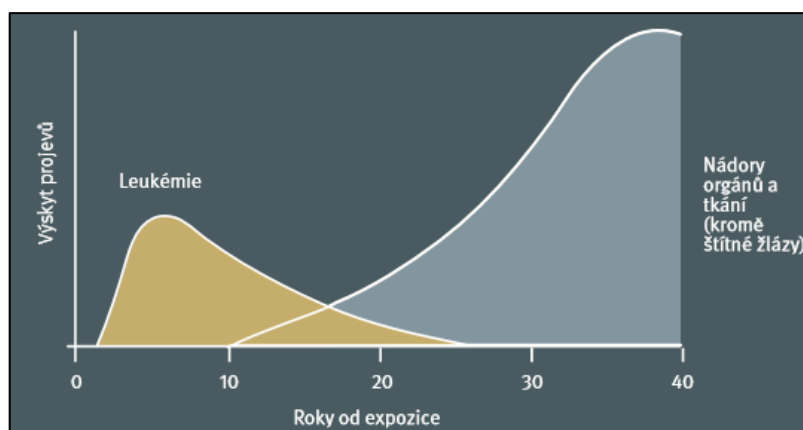
### 3. 3. 2. Pomalé účinky záření na lidský organismus

Pomalé účinky se projevují po dlouhé expozici. Nejčastějšími důsledky radiačního ozáření jsou leukémie nebo novotvary. V tomto ohledu jsou významné epidemiologické studie, které v čase sledují vybranou generaci nebo kohortu (UNEP, 2016).

#### Rakovina

Na rakovinu globálně umírá zhruba 20 % lidí a je druhou nejčastější příčinou úmrtí ve vyspělých zemích hned po kardiovaskulárních onemocněních. U mužů se nejčastěji objevuje rakovina plic, prostaty, střev, žaludku a jater. Ženy trpí nejčastěji rakovinou prsu (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 zmutované buňky běžně tvoří, ale je jich relativně málo, jsou svým způsobem latentní do chvíle, než se začnou nekontrolovatelně dělit, což způsobí růst nádoru a jeho případnou migraci do jiných orgánů (Kunz, 1990). Nejčastěji se jedná o leukémii [Obr. Č. 4], rakovinu štítné žlázy nebo rakovinu kosti (Mohner et al, 2006).



[Obr. Č. 4]: Doba od radiační expozice do doby zjištění rakoviny (Zdroj: UNEP, 2016).

### Jiná onemocnění

Dalším rizikem kromě rakoviny jsou samotná kardiovaskulární onemocnění. Vysoké dávky záření mohou způsobit poškození, ucpání cév nebo infarkt myokardu (Klener, 2000).

Po výbuchu jaderné elektrárny v Černobylu (1986) byl u zaměstnanců bezpečnosti elektrárny zjištěn zvýšený výskyt očního zákalu, poškozené lymfocyty nebo dokonce jejich deficit – častý indikátor akutní formy ozáření (UNEP, 2016).

### Zdravotní problémy u plodů a dětí

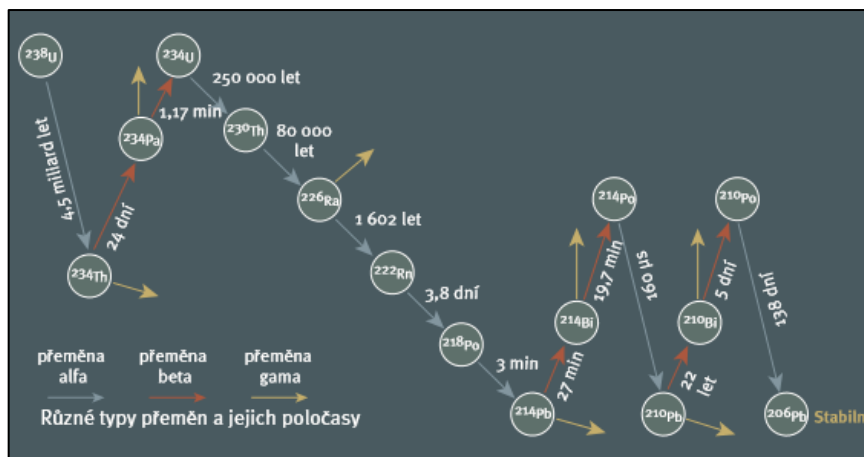
Samotné ozáření může mít vliv i na vývoj plodu během těhotenství. Zdravotní komplikace u dětí můžeme zpravidla rozdělit na **genetické** nebo **vývojové** (Darby et al., 2005):

**Genetické účinky záření** mohou způsobit modifikaci DNA, která je následně předávána dalším generacím. Velká část poškozených zárodků a plodů s modifikovanou DNA nepřežívá, zbylá část narozených umírá do pátého roku života. Až polovina interrupcí je provedena v důsledku genetických modifikací DNA plodu. Genetické abnormality mohou být v chromozomech nebo jako samotné genové mutace

**Vývojové účinky záření** se mohou projevit z kontaminované potravy nebo nápojů, případně přímým ozářením matčina těla. 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 dojít k mutacím, na rozdíl od matky, pro kterou nemusí dávka z ozáření představovat riziko. Náchyllost plodu k ozáření se mění během těhotenství. 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 části jsou mozek, kosti a oči. Po osmém týdnu těhotenství je velmi často postižena CNS (UNEP, 2016).

## 4] RADON

Radon (Rn) je přírodní, bezbarvý, radioaktivní plyn, bez zápachu, bez chuti, těžší než vzduch, ve vodě se velmi špatně rozpouští. Vzniká při rozpadu uranu ( $^{238}\text{U}$ ), 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. 5] (Bochicchio et al, 1995; UNSCEAR, 2000).



[Obr. č. 5]: Uran-radiová rozpadová řada (Zdroj: UNEP, 2016).

V souvislosti s radonem se uvádí i jeho tři izotopy:  $^{222}\text{Rn}$  – radon,  $^{219}\text{Rn}$  – aktinon a  $^{220}\text{Rn}$  – thoron. Z hlediska radonového rizika má význam pouze první zmiňovaný izotop, jelikož aktinon i thoron mají velmi krátký poločas rozpadu (aktinon 3,92s a thoron 55,3s) (Matolín, 2015).

### 4. 1. Zdroje radonu

Radon se může do budov dostat ze tří zdrojů:

- Geologického podloží.
- Stavebního materiálu.
- Podzemní vody.

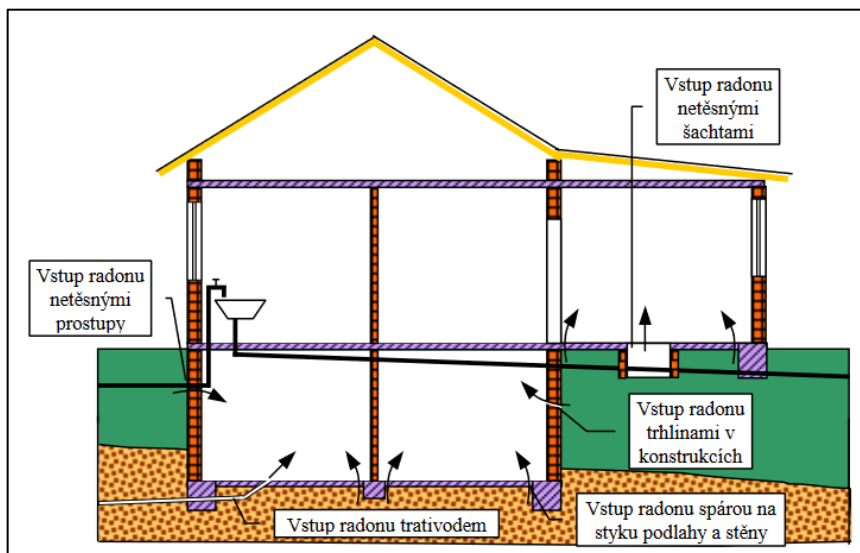
Někdy se v kontextu zdrojů uvádí i radon z venkovního ovzduší nebo ze zemního plynu.

#### 4. 1. 1. Radon a geologické podloží

Geologické podloží je často zdrojem radonu, a tak se doporučují nejrůznější opatření v podobě odvětrávání, aby došlo ke snížení radonového rizika (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. 6]. Koncentrace radonu v půdním vzduchu



se pohybuje mezi  $10\ 000\ \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  –  $100\ 000\ \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Do domu se dostane méně než 1 % (WHO, 2010c). Zbylá část radonu přichází do domu z vnějšího prostředí, kde je koncentrace radonu již nižší (Barnet, 1994).



[Obr. č. 6]: Nejčastější vstupní cesty radonu do domu. (Zdroj: SÚJB, 2018).

Radon nalezneme ve vyšších koncentracích v magmatických a metamorfovaných horninách [Tab. č. 3] (Barnet, 1992). Podloží České republiky je z části právě tvořeno horninami magmatickými nebo metamorfovanými, proto je nutné unikající radon z podloží sledovat (SÚJB, 2018). Pokud je půda propustná, radon se k povrchu dostává snáze (Matolín, 2015).

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. 3]: Převažující kategorie radonového indexu v hlavních horninových typech na území ČR (Zdroj: upraveno dle Barnet, 1991).

Pomocí hornin lze odhadnout míru rizika radonu v půdě i bez měření, stačí správně určit horninový typ (Barnet, 1999). Samozřejmě, 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].

#### **4. 1. 2. Radon ve stavebních materiálech**

Radon ze stavebních materiálů většinou nepřispívá ke zvýšení koncentrace radonu v domech, výjimkou jsou historické stavby na území České republiky. Doklady máme například o radioaktivních škvárobetonech z Rynholce (SÚRO, 2017). Vysoké hodnoty radonu mohou vykazovat materiály vyrobené z kamenitých břidlic, případně stavební materiály vyráběné ze sopečného tufu 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 obsahuje 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 studny neodstraní krátkým transportem veškerý radon, který se do domů dostává nejčastěji skrze vlačnou nebo horkou vodu při praní, mytí a vaření (NRC, 1988). 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 jsou obvykle nízké (cca 0,1 Bq.m<sup>-3</sup>), podobně tomu je tak v oceánech a mořích, kde koncentrace může být ještě nižší (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 byly pozorovány nepatrně vyšší koncentrace radonu ve vzduchu (UNSCEAR, 2008).

#### **4. 1. 5. Zemní plyn jako zdroj radonu**

V podmínkách České republiky nemá zemní plyn vliv na koncentraci radonu. Ve výjimečných případech může docházet k úniku radonu při spalování zemního plynu v budovách (Komárek et al., 1997).

## 4. 2. Způsoby transportu radonu

Radon se může transportovat několika způsoby (Barnet, 1992):

- **Difúze:** tepelný pohyb na základě přechodu z místa s vyšší koncentrací do místa s nižší koncentrací.
- **Konvekce:** změna tlakových a teplotních gradientů v horninovém prostředí (cirkulace podzemních vod, konvekční proudění tepla). Rychlost transportu radonu je vyšší než u difúze.
- **Propustnost podloží:** písky a štěrky všeobecně usnadňují transport k povrchu, naopak jíly plyny zadržují.
- **Tektonické poruchy:** různé zlomy a přesmyky v geologickém podloží mohou způsobit náhlý lokální únik radonu do ovzduší nebo budov.
- **Meteorologické vlivy:** zvýšená teplota může vést k vyššímu úniku radonu z podloží. V letních měsících dochází k poklesu naměřených hodnot půdního radonu, naopak vyšší hodnoty máme v zimním období (promrzávání půdy – uzavírání pórů, radon se 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 (SÚJB), který uděluje povolení jednotlivým firmám. Aktuální seznam firem oprávněných vykonávat měření je k dispozici na internetových stránkách <http://www.sujb.cz>. Provádí se následující měření (v závislosti na požadavcích vlastníků/firem):

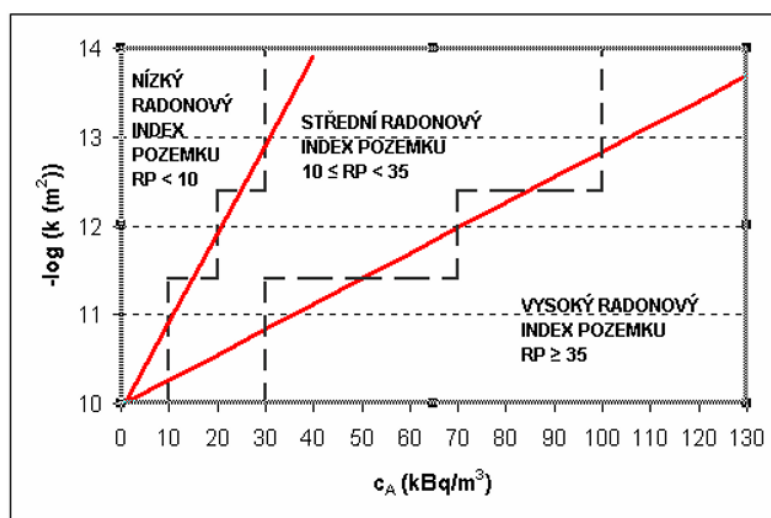
- Radonové riziko pozemku (radonový index pozemku).
- Obsah přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech.
- Obsah přírodních radionuklidů ve vodě.
- Obsah radonu v ovzduší budovy.
- Podrobná analýza zdrojů a migrace radonu.

### 4. 3. 1. Radonový index pozemku

Provádí se vždy přímo na pozemku dle metodiky SÚJB. Postup určení radonového indexu probíhá ve dvou krocích (odběr půdního vzduchu - tzv. **metoda ztraceného hrotu** a **stanovení**

**plynopropustnosti**). Na základě naměřených výsledků objemové aktivity radonu a plynopropustnosti lze stanovit radonový index pozemku. Samotná hodnocení mohou být obohacena i o další parametry týkající se strukturní a regionální geologie okolí (Matolín, 2015).

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 několika úpravami, kde byl původní graf obohacen o tzv. **hranici středního radonového indexu** [Obr. č 7].



[Obr. č. 7]: Schéma hranice středního radonového indexu (Zdroj: SÚRO, 2017).

Na základě výsledků se určí radonový index pozemku [Tab. č 4]. 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 <sup>-3</sup> ) při dané 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. 4]: Stanovení radonového indexu pozemku podle objemové aktivity radonu v půdním vzduchu (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 sušárně a teprve následně se odesílá do specializované laboratoře (dostupné 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 škvárobetonů (Matolín, 2015).

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 (SÚRO, 2017).

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

Obsah radonu se ve většině případů měří až v laboratoři, odebírá se 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. 5].

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. 5]: Koncentrace radonu ve vodě a jejich doporučení (Zdroj: upraveno dle Barnett, 1991).

I když není měření vody pro individuální studny povinné, doporučuje se obyvatelům v oblastech s vyšším radonovým rizikem tato měření provádět (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 (Matolín et Prokop, 1992).

#### 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 (SÚRO, 2017).

#### 4. 4. 1. Protiradonová opatření staveb

Před samotnou stavbou domu je nutno provést několik základních úkonů:

- **Územní řízení:** výsledek o radonovém průřezu pozemku, zda je vhodný. Podobná opatření platí i pro pitnou vodu, pokud je zdrojem vody studna.
- **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. 6].

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

[Tab. č. 6]: 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, 2017).

Při rekonstrukcích se provádí stavební řízení, kdy se měří koncentrace radonu v domě, pokud jsou překročeny hodnoty  $200 \text{ Bq.m}^{-3}$ , doporučuje se použít protiradonová opatření. V kolaudačním řízení se potom provádí kontrolní měření, zda byla koncentrace radonu znovu překročena. U stávajících budov se provádí radonová diagnostika objektu. Hodnotí se stav objektu, dispoziční řešení, izolace a systém ventilace.

#### 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 koncentrací radonu se provádí asanace.

### 4. 5. Historie radonové problematiky ČR

Dlouhou dobu byl radon nepodloženou příčinou vzniku karcinomu plic u horníků. V roce 1952 objevil Bale (zhruba ve stejnou dobu i Běhounek) hlavní příčinu – inhalaci krátkodobých radionuklidů, které vznikají přeměnou radonu, ty se následně po vdechnutí usadí v plicích a dochází k ozáření plicních buněk (SÚRO, 2001). Na základě toho byly provedeny epidemiologické

studie, které se zabývaly vztahem rakoviny plic u vybraných skupin horníků (Darby et al., 1995; SÚRO, 2002).

V roce 1956 byly naměřeny lokální zvýšené koncentrace radonu v domech ve Švédsku (SÚRO, 2002). Až v 70. letech 20. století se objevují další ucelenější zprávy o vyšších koncentracích radonu v Evropě a ve zbytku světa.

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, 2018).

Na začátku 80. let 20. století probíhala v Poříčí u Turnova výroba pórobetonu, kde byla zjištěna mnohonásobně vyšší koncentrace radionuklidů, než bylo povoleno. Důvodem byl vysoký obsah popílků, který vznikal při spalování černého uhlí obohaceného o uran. Proto bylo vydáno rozhodnutí o snížení vyrábění stavebního materiálu obsahujícího radioaktivní dceřiné produkty rozpadové řady uranu, přestože koncentrace v domech/bytech byly překročeny jen minimálně (zhruba u 30 000 domů) (SÚRO, 2014).

Podobný případem bylo i použití škváry z elektrárny v Rynholci u Nového Strašecí. Obsahovala čtyřikrát větší obsah radionuklidů než pórobeton z Poříčí. Od roku 1960 se při výrobě stavebních materiálů škvára používat již 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, 2018), kdy vláda musela pod tlakem veřejnosti nabídnout odkoupení domů nebo jejich 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, 2018).

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/dodavatelů 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, který se zabývá vyhledáváním budov s vyšší koncentrací radonu, preventivními protiradonovými opatřeními, informováním veřejnosti o problematice a samotným výzkumem. Radonový program umožnil také financování protiradonových opatření prostřednictvím okresů a krajských úřadů (SÚRO, 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.

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

Radonový program ČR pro období 2010–2019 navazuje na radonový program z let 2000–2009, vychází z usnesení vlády z roku 1999 (novelizace v roce 2002). 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.
- Prevenci a sanaci stávajících budov s vyšším obsahem radonu v základech domů nebo stavebních materiálech.



- Zpracování metod měření a náprava škod.
- Jasně vymezení strategie informovanosti a 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 do 600 Bq.m<sup>-3</sup>. Cílem není jen snížit hodnoty na referenční hodnotu, ale také stabilizovat a snížit ozáření celkově.

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 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:** zaměřením se na koncentrace radonu v novostavbách a stávajících budovách. Provádění některých preventivních protiradonových opatření při stavbě budov a snížení hladiny radonového záření na hodnoty v souladu se směrnicemi (<200 Bq.m<sup>-3</sup>).

3) **Strategie usměrňování stávajícího ozáření z radonu:** snaha snižovat počet budov s objemovou aktivitou radonu vyšší než  $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . 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 zdravotním riziku, účinnosti prevence, 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.

Informace o radonovém programu byly převzaty z oficiálních webových stránek: <https://www.radonovyprogram.cz>.

## 5] VLIV RADONOVÉHO ZÁŘENÍ NA KARCINOM PLIC

### 5. 1. Karcinom plic

Rakovina plic neboli bronchogenní karcinom označuje zhoubné nádory průdušek nebo plic. Z praktického hlediska není až tak zásadní, zda jde o nádor v oblasti plic nebo průdušek, léčba je mnohdy stejná. Rakovinu plic nebo průdušek můžeme označit jako 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).

#### Dle rozsahu a umístění

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

#### Dle histologie

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

### Dle biologické povahy

Dle biologické podstaty můžeme rakovinu plic rozdělit na:

- **Malobuněčný karcinom plic**, který rychle roste, brzy vytváří metastáze, avšak 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). Mají pomalejší růst, proto se 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 těch pasivních. Zvláště skupiny dětí a mladistvých jsou často tímto rizikem v domácnostech, kde se kouří, ohroženy nejvíce (Martins et Pereira, 1999).

Dalším impulsem ke vzniku karcinomu plic je radon pronikající do obytných prostor skrze základy domu. Obzvláště rizikové jsou domácnosti, kde dochází k minimálnímu odvětrávání (Zatloukal et Petruželka, 2001). Podobně jako kouření nebo radon může karcinom plic vyvolat i azbest, jehož drobné částičky vdechujeme a ty se usazují na plicích a průduškách (Dlouhá, 2008).

Základním zdrojem informací o populační zátěži karcinomu plic zajišťuje Národní onkologický registr České republiky (SVOD). V této databázi se nachází přes 1,5 milionu záznamů o onkologických diagnózách od roku 1977-2014. Všechny informace jsou dohledatelné na Národním portálu epidemiologie zhoubných nádorů v České republice ([www.svod.cz](http://www.svod.cz)).

V roce 2015 byl karcinom plic mezi nejčastějšími zhoubnými nádory v České republice [Tab. č. 7]. U mužů je incidence 42 případů na 100 000 obyvatel. U žen došlo k nárůstu incidence (18 případů na 100 000 obyvatel) oproti roku 1977 (6/100 000). Celková incidence na karcinom roste, důvodem je ovšem nárůst tohoto onemocnění u žen, u mužů naopak incidence klesá nebo stagnuje. (Dušek et al., 2005). Nárůst incidence rakoviny plic pozorujeme ve věkové skupině 55-80 let (Skříčková, 2013).

C34 – ZN průdušky – bronchu a plíce, muži					
Rok	1977	1987	1997	2007	2015
Incidence	74,64	78,66	69,37	56,94	42,06
Mortalita	38,7	70,61	64,8	48,53	34,99
C34 – ZN průdušky – bronchu a plíce, ženy					
Rok	1977	1987	1997	2007	2015
Incidence	5,78	8,8	12,64	17,01	18,16
Mortalita	3,22	7,74	10,6	12,99	13,45
C34 – ZN průdušky – bronchu a plíce, celkem					
Rok	1977	1987	1997	2007	2015
Incidence	35,6	39,04	37,32	34,61	28,73
Mortalita	18,35	34,75	34,08	28,6	22,89

[Tab. č. 7] Incidence a mortalita na karcinom plic pro muže a ženy v ČR. (Zdroj: Svod.cz, 2017).

### 5. 1. 3. Symptomy karcinomu plic

Prvotní příznaky rakoviny plic se objevují až ve chvíli, kdy je nádor v pokročilém stádiu. Pokud se nádor podaří zachytit v iniciálním stádiu, je to díky jinému vyšetření, které odhalí přítomnost abnormálních či přímo maligních buněk. Mezi nejčastější příznaky patří (Skřičková, 2013):

- **Problémy v hrudní oblasti** (chronický kašel, vykašlávání krve, opakující se zápal plic, nespecifikovaná bolest v hrudním koši, dechové obtíže, chraptot, syndrom horní duté žíly, otok hlavy a krku).
- **Mimoplicní příznaky** (indikují rozšíření nádoru a tvorbou metastáz. Nejčastější jsou příznaky spojené s postižením mozku, anémií, lámavostí kostí, žloutenkou atd.).
- **Paraneoplastické příznaky** (vedlejší projevy nádorového růstu. Jsou vázané na vylučování určitých hormonů v těle, což se může projevit jako zánět žil, svalová slabost nebo kožní dermatitida).

### 5. 1. 4. Diagnostika

Diagnostika rakoviny plic probíhá skrze klinické vyšetření, jelikož rutinní prohlídka často nic neodhalí, u pacienta se neprojeví žádné příznaky (Zatloukal et Petruželka, 2001). Příznaky se u rakoviny plic objevují až v pozdějších stádiích. 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 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. K určení finální diagnózy jsou nutná další vyšetření, při kterých se odebírá i část nádorového vzorku. Mezi častá

vyšetření patří bronchoskopie (vyšetření dýchacích cest), odběr nádorové tkáně z lymfatických uzlin atd. (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 rakoviny plic se příliš nevyužívá laboratorních vyšetření krve. To se využívá až při samotné léčbě, kdy se u pacienta sleduje počet nádorových markerů v krvi (Marel et al., 2004).

### 5. 1. 5. Léčba karcinomu plic

Léčba rakoviny plic se odvíjí od samotné diagnostiky. Na základě tzv. výkonnosti pacientů se hodnotí jejich stav dle 6 stupňů [Tab. č. 8] (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. 8]: Stupně stavu výkonnosti nemocných (upraveno dle Skřičková, 2013).

#### Léčba nemalobuněčného karcinomu plic

**Chirurgická léčba** se používá především u malých nádorů, které nevytvorily metastáze nebo nejsou v lymfatických uzlinách. Často se jedná o první nebo druhé stádium (dle klasifikace TNM). Obvykle se provádí operace, pokud tomu zdravotní stav pacienta neodporuje. Podobně tomu je i v dalších stádiích, kdy se před chirurgickým zásahem obvykle nádor zmenšuje pomocí chemoterapie nebo v kombinaci 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** se používá ve fázi, kdy nádor vytvořil metastáze nebo je v pokročilém stádiu. Pro léčbu se využívají cytostatika, která v menší míře poškozují zdravé buňky. Nádory jsou různě citlivé na cytostatika, některé dokáží vyléčit zcela, některé nádor pouze zmenší a hrozí riziko relapsu. Standardní léčba zahrnuje 4-6 cyklů, někdy v kombinaci s radioterapií.

**Radioterapie** se provádí u pacientů, u kterých není možná operace, kvůli četným metastázám. Kombinuje se s chemoterapií.

**Cílená biologická léčba** je forma léčby rakoviny, kdy se blokují a inhibují pochody ve zhoubných buňkách. Dochází k zastavení nekontrolovaného množení či schopnosti tvořit metastáze. (Lynch et al., 2004).

#### 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 standardně pomocí chemoterapie ve 4-6 cyklech, někdy v kombinaci s radioterapií. U některých pacientů se preventivně ozařuje i mozek, kvůli možnému riziku metastáz. Chirurgické odstranění se u malobuněčných nádorů plic běžně neprovádí, výjimkou jsou pouze velmi malé nádory, které se podaří dobře a brzo lokalizovat (Skřičková et al., 2004).

#### Další léčebné formy karcinomu plic

Mnohdy se hovoří o tzv. **paliativní léčbě rakoviny plic**. Nejedná se přímo o léčbu vedoucí k uzdravení, ale zmírňuje příznaky a zlepšuje 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 dýchacích cest atd.

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 (Pešek et al., 2002).

### **5. 1. 6. Pneumoonkologická pracoviště ČR**

Problematikou diagnostiky karcinomu plic a jejich 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 Vědeckým výborem Spojených národů pro účinky atomového záření (UNSCEAR), a to především v novějších pracích z roku 2000 (UNSCEAR, 2000) a 2008 (UNSCEAR, 2008). Dále také Národní rada pro výzkum (NRC, 1988), Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (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).

V minulosti se řada studií opírala o hornické kohorty, naopak dnes se spíše přechází k výzkumům zaměřeným na koncentraci radonu v budovách (WHO, 2009). Během posledních 20 let byla provedena poměrně široká škála výzkumů a studií vlivu radonu na lidský organismus, v této práci jsou vybrané jen některé z nich, jako přehled o zkoumání této problematiky.

### 5. 2. 1. Vybrané hornické studie

V 60. letech 20. století se poprvé otevřeně mluví o důkazech vlivu radonu na vznik karcinomu plic (NRC, 1998). Následně Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) klasifikovala radon jako jednu z dalších karcinogenních látek pro člověka (IARC, 1988). Poté, bylo publikováno i několik prací, které se zabývaly přímo související problematikou. Za zmínku stojí zmínit práce UNSCEAR (2000, 2008), příručku o radonu v budovách od WHO (2009) a publikace od ENS mezi lety 1980–2006, především pak studii z roku 1999 (ENS, 1999).

V roce 1999 ENS v projektu BEIR VI zveřejnil zprávu o společné analýze 11 kohortových studií (ENS, 1999). Tato studie zahrnovala celkem 60 000 horníků, především však z oblasti těžby uranu, méně pak pracovníky v dolech těžících cín, fluorit nebo železo. 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 studii lišila až 10krát. Na základě společné analýzy 11 kohort bylo vypočítáno tzv. **přídavné relativní riziko** (ERR = excess relative risk). Riziko se uvádí v jednotce WLM (working level month), kterou můžeme definovat jako koncentraci produktů přeměny ve vzduchu za dobu trvání expozice v měsících (170 pracovních hodin) (SÚRO, 2004).



Na základě toho bylo odhadnuto přídavné relativní riziko 0,44 % (95 % IS: 0,2 – 1). ERR/WLM klesá s rostoucím časem, kdy nejsme vystaveni expozici, a naopak se zvyšuje s věkem. Samotné riziko je pak značně ovlivněno intenzitou a délkou expozice, avšak studie BEIR VI (ENS, 1999) ukázala jistý inverzní účinek související s mírou efektu expozice na hornících. Osoby vystavené expozici při poměrně nízkých dávkách radonu měly větší ERR než osoby exponované při dávkách vyšších. V některých případech byly k dispozici i údaje o kouření. Posléze byly provedeny samotné analýzy pro skupinu kuřáků a nekuřáků, z kterých vyšlo, že hodnota ERR 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, je nutno vzít v potaz, že kohortové studie jsou značně heterogenní a při vyšším počtu se zvyšují rozdíly. Je nutno tedy přihlídnout i k dalším faktorům (př.: rozdíly v expozici, jiné faktory pracovního rizika, životní styl, genetika aj.) (ENS, 1999). Později byly publikovány další studie založené na stávajících kohortách horníků, kterými se 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.

Za zmínku také stojí uvést německou kohortovou studii horníků Wismut (Grosche et al., 2006; Walsh et al., 2010), která se podobá souhrnné studii BEIR VI (ENS, 1999). Zahrnovala kohortu 59 000 mužů, kteří byli zaměstnáni v uranovém průmyslu ve východním Německu. Šetření ukázalo celkem 3016 úmrtí na rakovinu plic (do roku 2003). Průměrné ERR zde vycházelo 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 zaznamenány jen částečně, proto nebylo možné tento faktor zahrnout do studie.

Případová studie Brueske-Hohlfeld a kol. (2006) pojednává o incidenci rakoviny plic mezi německými horníky, včetně detailních informací o kouření (přesněji o celoživotních kuřácích). ERR vyšlo pro nekuřáky vyšší (0,2 %; 95 % IS: 0,07 – 0,48) než pro bývalé kuřáky (0,1 %; 95 % IS: 0,03-0,23) nebo 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 ho snižuje. 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. Celková hodnota ERR 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 odhadem zprávy BEIR VI (ENS, 1999) používající koncentrační model dle věku při expozici pod 0,5 WL.

### **5. 2. 2. Vybrané rezidenční studie**

Obecně studie rizika rakoviny plic na hornících nelze přímo extrapolovat na expozice radonu v domácnostech. Z toho důvodu řada epidemiologických studií začala zkoumat souvislosti mezi radonem uvnitř budov a rizikem rakoviny plic (ENS 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 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.

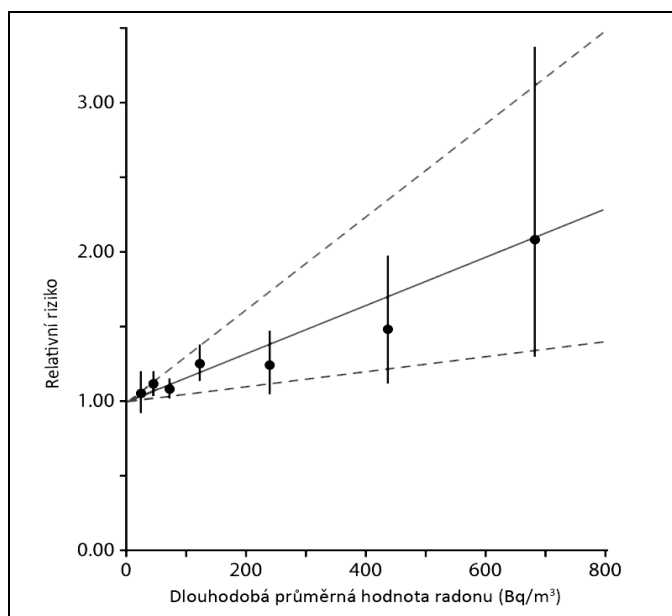
Podrobná analýza výsledků těchto jednotlivých případových kontrolních studií je uvedena ve zprávě UNSCEAR z roku 2008 (UNSCEAR, 2008). Většina studií ukázala pozitivní souvislost mezi expozicí radonu a rizikem rakoviny plic, avšak odhadovaná rizika nedosahovala statistické významnosti v jednotlivých studiích.

Taktéž bylo provedeno několik metaanalýz k objektivnímu shrnutí předchozích studií (Lubin et Boice, 1997; Yoon et al., 2016), 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 data jednotlivých studií a z nich byly provedeny společné analýzy 13 evropských studií (Darby et al., 2005; Darby et al., 2006), 7 severoamerických studií (Krewski et al., 2005; Krewski et al., 2006) a 2 čínských studií (Lubin et al., 2004).

Největší z těchto studií je evropská, publikovaná Darbym a kol. (2005, 2006). Zahrnuje 7 148 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 a více let. 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. Byla provedena podrobná stratifikace pro věk, pohlaví, bydliště a 25 kategorií kouření. Data ve studii byla agregována.

Ve sdružené analýze bylo EER rakoviny plic na 100 Bq.m<sup>-3</sup> 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). Riziko karcinomu plic bylo 1,2krát (95 % IS: 1,03-1,30) vyšší u jedinců s naměřenými koncentracemi radonu 100-199 Bq.m<sup>-3</sup> než u osob s koncentrací <100 Bq.m<sup>-3</sup>. 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 EER na 16 % (95 % IS: 5-31) na 100 Bq.m<sup>-3</sup>. Riziko se významně nelišilo dle věku, pohlaví nebo kouření. Lineární vztah dokládá [Obr. č. 8].



[Obr. č. 8] Vztah relativního rizika k dlouhodobé průměrné hodnotě radonu v domácnostech (Zdroj: upraveno dle Darby et al., 2006).

Darby a kol. (2006) se také zabývali kombinovanými účinky kouření a radonu. [Tab. č. 9] 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 bylo stanoveno EER na 16 % (na 100 Bq.m<sup>-3</sup>) dlouhodobé průměrné koncentrace radonu, která byla nezávislá na kouření.

Koncentrace Rn (Bq.m <sup>-3</sup> )	Riziko úmrtí (1000 stávajících kuřáků)	Riziko úmrtí (1000 nekuřáků)
0	101	4,1
100	116	4,7
200	131	5,4
400	160	6,7
800	216	9,3

[Tab. č. 9] Kumulativní riziko úmrtí na rakovinu plic u osob ve věku 75let (u kuřáků a nekuřáků) s různým koncentrací radonu (Zdroj: upraveno dle Darby et al., 2006).

Celoživotní nekuřáci s dlouhodobou průměrnou koncentrací radonu 0, 400 nebo 800 Bq.m<sup>-3</sup> 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<sup>-3</sup> bylo již 67 případů úmrtí na rakovinu plic a při dávkách 800 Bq.m<sup>-3</sup> byl počet případů úmrtí odhadnut na 93. U stávajících kuřáků byly odhadovány hodnoty 101, 160 nebo 216 úmrtí na 1000 kuřáků. Pro osoby, které přestaly kouřit, jsou rizika související s radonem podstatně nižší než pro kuřáky, ale zůstávají značně vyšší než rizika pro celoživotní nekuřáky. Relativní riziko bylo 25,8krát vyšší.

Krewski a kol. (2005, 2006) shrnovali výsledky ze studií v Kanadě a v USA, které čítaly přes 3 600 případů a téměř 5 000 kontrol. Hladiny radonu v domech byly měřeny po dobu jednoho roku detektory alfa-záření. Vzhledem k tomu, že mezi studii 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<sup>-3</sup>. Nebyly zjištěny žádné rozdíly v riziku podle pohlaví nebo kouření. 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 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 studii nebyly přítomny žádné významné rozdíly. U výsledků naměřených dat bylo zvýšení rizika na 100 Bq.m<sup>-3</sup> naměřené koncentrace radonu 13 % (95 % IS: 1-36). Pokud byla analýza omezena na jedince, kteří změnili bydliště jednou za uplynulé měřící období, riziko se zvýšilo na 33 % (95 % IS: 8-96).

Dle 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<sup>-3</sup> radonu. Dle předpokladů by toto riziko mohlo dokonce vzrůst na 20 %.

Srovnávat studie prováděné v obytných prostorách a na pracovištích (př.: uranové doly, jaderné elektrárny) z pravidla nelze provést, kvůli vysokým rozdílům v expozici radonem, nicméně v případě, že jsou koncentrace radonu nízké (podobné), lze tyto studie porovnávat (WHO, 2009). Příkladem je práce Tomáška a kol. (2008).

I přes nejednoznačnost prováděných studií se přijímá fakt, že koncentrace radonu nad 150 Bq.m<sup>-3</sup> je pro organismus škodlivá. U nižších koncentrací je průkaznost malá (v praxi špatně proveditelné, nutnost velkých populací) [Tab. č. 10].

Relativní riziko při 100 Bq.m <sup>-3</sup>		
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. 10] Relativní riziko při 100 Bq.m<sup>-3</sup> ve vybraných zemích (Zdroj: Klener, 2000).

Výsledky studií je nutné brát s patřičnou rezervou, jelikož vznikají z národních průzkumů, při kterých nejsou stejná metodická pravidla pro určování objemové aktivity radonu v domě, případně obsahu radonu v půdě (Dubois, 2005). V některých zemích byly vybrány lokality podle hustoty zalidnění, ne přímo na základě radiometrických map, jak tomu bylo například v České republice (Manova et Matolín, 1995). Některé země naopak využívaly referenční skupiny, kde hustota zalidnění neměla zásadní význam. (WHO, 2010c) [Tab. č. 11].

Země	Počet domácností	Průměrná OAR (Bq.m <sup>-3</sup> )	Maximum (Bq.m <sup>-3</sup> )
Argentina	-	35	211
Austrálie	-	11	420
Belgie	10 447	69 (48)	4500
Česko	> 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. 11] Průměrná objemová aktivita radonu ve vybraných zemích – data dle UNSCEAR, v závorce data dle WHO (Zdroj: upraveno dle UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2008; WHO, 2009).

Jak naznačuje [Tab. č. 11], v některých zemích jsou hodnoty nejednotné, nemusí se jednat přímo o chybu měření nebo tiskovou, přestože v některých dokumentech se zaměřuje Slovensko a Slovinsko. Vysvětlením rozdílných měření mohou být jiné lokality, počet měřených objektů atd., proto je v zásadě diskutabilní, zda je vhodné či ne uvádět průměrnou hodnotu objemové aktivity radonu za jednotlivé země.

Podobné rozdíly reflektuje i [Tab. č. 12], kde výsledky mohou být značně ovlivněny použitím rozdílného modelu.

Země	Použitý model	Průměrná OAR (Bq.m <sup>-3</sup> )	Atributivní riziko (%)
Francie	BEIR VI lineární model	89	2-12
	BEIR VI, EAC	-	13
	BIER VI, EAD	-	9
	Darby	-	5
Jižní Korea	BEIR VI, Darby	62	8-28
	BEIR VI, EAC	-	-
	BEIR VI, EAD	-	-
	Darby	-	-
Kanada	BEIR VI, EAC	28	8
	EPA – model	42	16
Německo	Lubin model	49	7
	Darby	49	5
Nizozemsko	TSCE model	23	4
Portugalsko	BEIR VI	81	18-28
	BEIR VI, EAC	-	28
	BEIR VI, EAD	-	18
Rumunsko	Darby	62-232	5-17
Švédsko	TSCE model	110	20
	Darby	90	13
Švýcarsko	Darby	78	8
USA	BEIR VI, EAC	46	14
	BEIR VI, EAD	46	10
	EPA-model	46	14
VB	BEIR VI, EAC	20	7
	Darby	21	3

[Tab. č. 12] Přehled studií ve vybraných zemích (použití model, OAR a atributivní riziko) (Zdroj: upraveno dle Ajrouche et al., 2017).

### 5. 2. 3. Studie zaměřené 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. Přežkoumali 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 radonu a leukemií na geografické úrovni, u kohortových studií tomu bylo naopak.

Podobně se touto problematikou zabývali Řericha a kol. (2006), kteří měli k dispozici kohorty českých horníků. Výsledky kohortové studie ukázali incidenci vybraných leukemických onemocnění dle ICD-9, viz. [Tab. č. 13].

Dalšími studii jsou dánská případová studie vlivu radonu na leukémii u dětí a riziko radonu v obytných prostorech (Raaschou-Nielsen et al., 2008) a francouzská ekologická studie výskytu leukémie u dětí (Evrard et al., 2006). V těchto studiích byla asociovaná jistá souvislost leukémie

a radonového záření, nicméně německé studie Mohner a kol. (2006) a Kreuzer a kol. (2008) neukázaly žádnou spojitost mezi leukémií a radonovým zářením.

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

[Tab. č. 13] Incidence vybraných leukemických onemocnění dle ICD-9 (Zdroj: upraveno dle Řeřicha et al., 2006).

Jednotlivé kohortové studie poskytly jen málo důkazů o možných dalších rizicích radonu (jiných než rakovina plic). Důvodem bude především malá četnost jiných onemocnění. Největšími souhrnnými studii jsou v tomto ohledu Darby a kol. (1995) a Wismut (Kreuzer et al., 2008).

V souhrnné studii (Darby et al., 1995) byla pozorována úmrtnost na extrapulmonární rakovinu. Vypočítané hodnoty byly blízké očekávané mortalitě (1,01; 95 % IS: 0,95-1,07). Trend s kumulativní expozicí byl statisticky významný teprve po deseti letech práce v dole. Naopak studie odhalila významné rozdíly mezi vyšetřovanými místy, kde byl nalezen statisticky významný nárůst úmrtnosti na leukémii, rakovinu žaludku a jater.

U žádného ze sledovaných míst nebyla úmrtnost významně spojena s radonovým zářením, pouze u rakoviny pankreatu, kde autoři uvádí tuto skutečnost jako možnou náhodu.

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 rakovinu (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 (Tomášek et al., 1993; 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 mezi radonem v obytných prostorách a roztroušenou sklerózou, avšak sami autoři se staví k výsledkům skepticky.

## 6] METODIKA

### 6. 1. Zdrojová data

Data pro empirickou část diplomové práce pocházejí z tří datových zdrojů:

- SÚRO – Státního ústavu radiační ochrany
- ČSÚ – Českého statistického úřadu
- NZIS – Národního zdravotnického informačního systému

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

V rámci výzkumu této diplomové práce mi byla pracovníci Státního ústavu radiační ochrany (<https://www.suro.cz>) Ing. Ivanou Fojtíkovou poskytnuta data 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 165 283 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 využívaných místnostech). Každá bytová jednotka byla reprezentována průměrem ze dvou současně probíhajících měření. Na základě ročního měření expozice vznikla geometrická řada měření, ze kterých byl vypočítán **geometrický průměr (G)**:

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

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  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ , což znamená, že každá naměřená hodnota v  $\text{Bq}$  je vztažena k objemu vzduchu  $1 \text{ m}^3$ .

#### 6. 1. 2. ČSÚ – Český statistický úřad

Druhým zdrojem byla data z Českého statistického úřadu (2016) (<https://www.czso.cz>), která jsou volně k dispozici nebo na vyžádání přímo od pracovníků Českého statistického úřadu, kteří s datovými soubory přímo pracují nebo je vytvářejí.

### Úmrtnostní tabulky

Údaje o zemřelých podle příčin smrti jsou děleny dle Mezinárodní klasifikace nemocí a přidružených zdravotních problémů ve znění 10. revize (MKN-10) vydanou Mezinárodní zdravotnickou organizací (WHO). Názvy příčin nemocí jsou uvedeny podle aktualizované verze k 1. 1. 2013. Příčiny úmrtí jsou 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. na vnější příčiny (zemřelé následkem úrazu, otravy, sebepoškození apod.) (ČSÚ, 2016). Pro výzkum této práce byly využity demografické ročenky za období 2011-2015 (počet úmrtí na karcinom plic – kód MKN-10: C34).

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 (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).

### Údaje o počtu obyvatel

Data o celkovém počtu obyvatel v okresech za jednotlivá pohlaví k 1. 7. daného roku, tedy střední stav 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 určité 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 nebo 100 000 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 samosprávný celek) (ČSÚ, 2016).

### 6. 1. 3. NZIS – Národní zdravotní informační systém

Posledním datovým zdrojem byla volně dostupná databáze z Národního zdravotního informačního systému (<http://reporting.uzis.cz>). Databáze má celou řadu výstupů, kdy lze dohledat různé demografické a socioekonomické ukazatelé, ukazatelé zdravotní stavu, mortalitu, hospitalizaci atd.

Pro výpočet korelační analýzy byla stažena data incidence na karcinom plic pro jednotlivé okresy (statistika příčin úmrtí). Databáze poskytuje nejen informace za jednotlivé kraje nebo okresy, ale také vývoj v čase, zastoupení dle pohlaví a věku. Incidence je jeden z nejčastěji používaných zdravotních ukazatelů a řadíme ho mezi evropské ukazatele k monitorování zdraví, tzv. **ECHI ukazatelé**.

Národní onkologický registr ČR definuje **incidenci** jako počet nově zjištěných onemocnění (B) v daném časovém období ke střednímu stavu počtu obyvatel (P). Početní podíl se převádí na 100 000 obyvatel.

$$I = B / P * 100\ 000$$

Národní zdravotní informační systém získává data o incidenci z Národního onkologického registru ČR. Samotný onkologický registr je ovšem limitován (obzvláště u okresů) kvalitou a úplností předávaných dat z jednotlivých okresů.

## 6. 2. Zpracování dat a výstupy

Data objemové aktivity radonu nebylo nutno přímo zpracovávat, byla pouze použita pro vytváření map 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 2011-2015) bylo nutné z jednotlivých datových souborů pro okresy vybrat příčinu úmrtí dle klasifikace MKN-10

Zhoubný novotvar průdušky – bronchu a plíce (Novotvary: C00-D48) pro muže a ženy (v diplomové práci dále jako rakovina/karcinom plic). Hlavní město Praha jakožto samosprávné území bylo zpracováno z datových krajských souborů. Údaje o incidenci byly k dispozici kompletně.

### 6. 2. 1. Výpočet základních parametrů

S ohledem ke změně územních celků a dostupnosti přepočtu na aktuální okresní území, byla pro analýzu zpracována data za období 2011–2015. Z těchto dat byl v programu Microsoft Excel 2016 vypočítán **aritmetický průměr** ( $M_x$ ) pro každý okres a samosprávné území Praha.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Aritmetického průměru definujeme jako součet všech naměřených hodnot vydělených jejich počtem (Hendl, 2004).

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 hrubé míry úmrtnosti na danou příčinu byly použity průměrové hodnoty pro jednotlivé okresy (pro muže a ženy).

Vypočítaná data byla následně standardizována metodou **nepřímé standardizace**, která se používá v případě, že neznáme hodnoty věkově specifických úmrtností reálné populace, ale máme k dispozici data věkové struktury ( $P_v$ ). Z toho lze vypočítat **nepřímý standardizovaný index** který porovnává počet zemřelých v dané populaci s teoretickým počtem zemřelých pro danou příčinu. K výpočtu samotného indexu je nutné mít tzv. **standard**, který vypočítáme jako specifickou úmrtnost (pro každé pohlaví zvlášť) větší územní jednotky (ČR), za kterou jsou data věkově specifických úmrtností reálné populace ( $D_m^{2011-2015}$ ) a věková struktura ( $P_m^{2011-2015}$ ) k dispozici. Specifickou úmrtnost (standard) vypočítáme jako (Klufová et Poláková, 2010):

$$Ú_{st} = P_m^{2011-2015} / D_m^{2011-2015}$$

S vypočítaným standardem můžeme dopočítat teoretický počet zemřelých za jednotlivé okresy, a to pouhým vynásobením s věkovou strukturou. Násobíme vždy hodnoty pro stejnou věkovou skupinu (Klufová et Poláková, 2010):

$$D_t = \dot{U}_{st} * P_m^{2011-2015}$$

Z hodnot teoreticky zemřelých vypočítáme **nepřímo standardizovaný index**, kdy počet reálných úmrtí na danou příčinu vydělíme počtem teoreticky zemřelých v daném okrese (Klufová et Poláková, 2010).

$$\dot{U}_i = D_m^{2011-2015} / D_t$$

Tento index se nakonec násobí s vypočítanou hrubou mírou úmrtnosti na danou příčinu, a tak získáme **nepřímo standardizovanou míru úmrtnosti** na danou příčinu (Klufová et Poláková, 2010).

$$\dot{U}_{st} = \dot{U}_i * \dot{U}_p$$

Vypočítané hodnoty byly použity pro tvorbu map v programu ArcGIS 10. 2. 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 incidencí nebo mírou úmrtnosti na rakovinu plic.

Korelační analýza zkoumá vztahy mezi proměnnými graficky nebo jako míru závislosti různých měr. Tyto míry 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. Důležité je při interpretaci korelační analýzy nezapomínat na možnost výskytu matoucí proměnné, která může znesnadnit interpretaci (Hendl, 2004). Korelačních koeficientů je celá řada, nejčastěji se používá Pearsonův korelační koeficient a Spearmanův 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 odlehkým 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. Nabývá hodnot od -1 do 1 (v případě 0 neexistuje závislost). Koeficient se spočítá podle následujícího vzorce (Hendl, 2004):

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

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 (Hendl, 2004).

Míru korelace můžeme kategorizovat na základě rozmezí [Tab. č. 14], která jsou svým způsobem subjektivní. Interpretace hodnot korelačních koeficientů je v sociálních vědách často velmi nejednoznačná (De Vaus, 2002).

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

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).

### 6. 2. 3. Expertní rozhovor

Expertní rozhovor je kvalitativní strukturovaný rozhovor (interview). Smyslem kvalitativních rozhovorů je blíže se vymežit vůči nějakému problému, umožnit hlubší porozumění. Cílem takového rozhovoru je získat odborný pohled kompetentní osoby na danou problematiku. Dotazovaná osoba je v drtivé většině odborník na danou tematiku, akademická kvalifikace není ovšem podmínkou. Rozhovor s expertem může posunout celý výzkum jiným směrem a vyřešit

případné problémy výzkumu. Při samotném rozhovoru má velkou váhu srozumitelnost formulovaných otázek. Ideální délka expertního rozhovoru se pohybuje mezi 45-90 minutami. Důležité je, aby byl expert dostatečně motivován a schopný spolupracovat, sdílet své myšlenky dál (Hendl, 2008).

U expertní rozhovoru rozlišujeme tři základní typy:

1. **Explorativní rozhovor** (náhled na problematiku, rozhovor může být nestrukturovaný).
2. **Systematizující rozhovor** (zaměřuje se na znalosti experta, důležitá je srovnatelnost a agregace informací, struktura otázek je předem dána).
3. **Interview generující teorii** (nutnost více zdrojů, předmětem je fungování expertů, ne jejich znalosti).

Expertní rozhovor se skládá ze dvou základních částí, z čehož druhá je rozdělena do čtyř fází (Hendl, 2008):

#### Příprava experta

Před samotným rozhovorem je nutné kontaktovat odborníka a vysvětlit mu jednotlivé body rozhovoru, jak bude probíhat, co bude jeho cílem atd. Odborník má možnost do struktury rozhovoru zasahovat, respektive má možnost ho pozměnit.

#### Elicitační proces

**První fáze:** výzkumník se snaží od experta získat informace a určitý pohled na předmět výzkumu. Expert se vyjadřuje k obecným otázkám a hodnotí aktuální situaci. V této fázi by si měl výzkumník utřídit koncept rozhovoru a případně ho přizpůsobit přístupu experta.

**Střední fáze:** výzkumník pokládá předem připravené otázky a snaží se získat detailnější odpovědi. Výzkumník by měl udržet určitou úroveň dotazování, aby od experta dostal požadované odpovědi. Důležité je, aby dotazy nebyly až příliš detailní nebo naopak už moc laické s ohledem k úrovni znalostí experta.

**Analýza:** výzkumník analyzuje data pomocí dostupných metod, případně porovnává s odpověďmi dalších dotazovaných odborníků.

**Ověření:** po analýze rozhovoru je možnost provést ještě ověření, tedy tzv. testování pomocí hlasitého myšlení. Princip ověření spočívá v zadání nějakého úkolu expertovi, jeho úkolem je nad



tímto problém nahlas přemýšlet a navrhnout postup a řešení úkolu. Výzkumník může jednání zohlednit při zpětně analýze rozhovoru.

Expertní rozhovor s Dr. Drábovou byl proveden částečně telefonicky a elektronickou cestou, a to z důvodů její časové vytíženosti. Nejprve byla seznámena s tématem diplomové práce a návrhem, jak by expertní rozhovor měl probíhat.

Dobrou přípravou pro vytvoření otázek mi byl elektronický časopis Radon Bulletin, ve kterém jsou rozhovory s Dr. Drábovou, stejně tak dostupné rozhovory v televizi nebo na internetu.

Po úvodním obecné diskuzi následoval samotný rozhovor (otázka-odpověď), kdyby byly Dr. Drábové kladeny jednotlivé otázky, jak je uvedeno ve výsledcích. Následně byly odpovědi analyzovány a porovnány s tím, co je dosud známo a co je zmíněno v této diplomové práci, zda nejsou odpovědi Dr. Drábové s něčím v zásadním rozporu.

Rozhovor měl všechny náležitosti přípravné i elicitací fáze s výjimkou ověření, které není nutné vždy provádět.

## 7] VÝSLEDKY

Z analyzovaných datových souborů [Tab. č. 15] vzešly výsledky v podobě map, tabulek, grafů (bodové grafy a histogramy).

**První část** výsledků jsou 4 mapy, které zachycují rozložení objemové aktivity radonu, procentuální podíl počtu domácností s hodnotami nad  $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  a standardizovaný index úmrtnosti na karcinom plic pro muže a ženy.

Každá mapa má název, měřítko, ukazatel severu a legendu. Barevné škály jednotlivých map jsou zvoleny různě, aby bylo na první pohled zřejmé, že se jedná o vizualizaci jiných datových souborů. Mapa s rozložením objemové aktivity radonu pro jednotlivé okresy ČR a mapa procentuálního podílu počtu domácností s hodnotami objemové aktivity radonu nad  $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  pro jednotlivé okresy ČR mají škálování rozdělené do pěti kategorií (viz. legendy u obou map). Mapy se standardizovaným indexem úmrtnosti mají škálování barevně odlišné a mají pouze 4 kategorie, jelikož se barevné škálování vykresluje dle odlišnosti od středové hodnoty, kterou je průměrná hodnota pro celou ČR. Tato hodnota je stanovena jako 1.

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, histogram četnosti jednotlivých kategorií, které korespondují s legendami map a také komentář k mapám.

**Druhou část** tvoří 4 výstupy korelační analýzy, kde jsou prezentovány výsledky vypočítaných korelačních koeficientů (Pearsonova k. k. a Spearmanova k.k.) společně s grafickým znázorněním lineární závislosti objemové aktivity radonu na incidenci nebo míře úmrtnosti na karcinom plic u mužů a žen. Kritickému zhodnocení korelační analýze je věnována kapitola 8 – diskuze, kde jsou výsledné mapy a výpočty korelačních koeficientů porovnány.

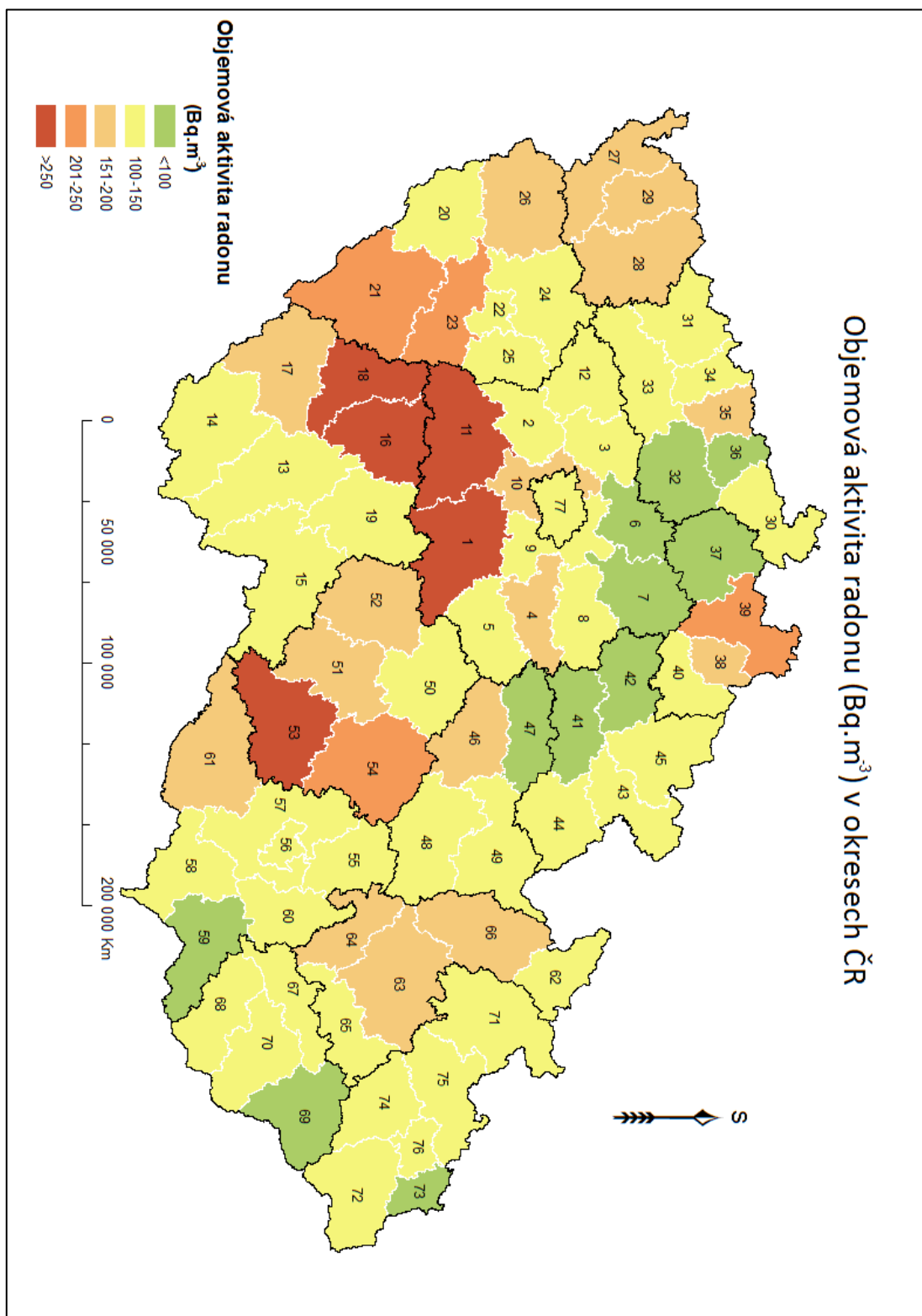
**Třetí část** výsledků zahrnuje sociální pohled na problematiku radonu a zdraví v podobě expertního rozhovoru s odborníci ze Státního úřadu pro jadernou bezpečnost Ing. Danou Drábovou, Ph.D.

Okres	OAR	Bq <sup>400+</sup>	I <sup>M</sup>	I <sup>Z</sup>	iÚ <sup>M</sup>	iÚ <sup>Z</sup>	Ú <sup>M</sup>	Ú <sup>Z</sup>
Hl. město Praha	106	5,15	76,00	50,24	0,84	1,23	51,78	48,82
Benešov	251,3	29,26	64,90	29,64	1,02	0,89	77,63	25,39
Beroun	139,1	9,04	93,12	35,14	1,19	1,09	99,82	35,85
Kladno	126,1	6,07	106,04	49,56	1,36	1,43	131,94	63,18
Kolín	170,3	13,66	102,61	42,21	1,08	0,96	85,16	29,09
Kutná Hora	112,6	1,15	98,70	34,57	1,23	0,88	113,71	25,80
Mělník	94,1	1,69	111,63	46,72	1,34	1,28	121,86	49,08
Mladá Boleslav	90,9	1,14	69,37	31,21	1,03	0,90	71,26	24,39
Nymburk	101,3	0,54	85,96	29,54	0,97	0,78	65,26	18,20
Praha-východ	142,1	9,77	70,69	34,24	1,02	1,06	63,37	28,21
Praha-západ	159,9	12,00	72,69	31,26	1,02	1,04	64,79	27,11
Příbram	315,4	44,45	102,22	40,87	1,27	1,04	117,46	34,75
Rakovník	128,5	6,26	112,30	31,66	1,25	0,95	113,15	28,63
České Budějovice	126,3	5,98	82,43	41,30	0,86	1,06	53,54	34,29
Český Krumlov	130,3	8,53	74,30	35,39	1,00	1,05	66,89	30,94
Jindřichův Hradec	135,1	9,64	93,95	31,68	1,11	0,83	93,48	22,45
Písek	347	46,18	99,14	46,31	0,99	1,10	106,52	57,91
Prachatice	164,4	13,47	84,95	29,77	0,92	0,94	43,66	18,88
Strakonice	299,7	39,61	89,24	29,13	1,15	0,90	68,88	17,85
Tábor	131,6	11,29	91,80	32,92	0,92	0,75	111,06	31,88
Domažlice	148,9	8,87	98,97	49,04	1,03	0,81	53,88	13,95
Klatovy	220,2	25,30	101,70	35,82	1,01	0,81	90,54	24,77
Plzeň-město	122,4	6,35	90,41	40,63	0,92	0,90	253,69	107,50
Plzeň-jih	211,2	24,45	96,08	33,26	0,94	0,76	78,29	21,26
Plzeň-sever	125,2	8,66	96,91	36,49	0,97	0,91	56,20	20,20
Rokycany	125,4	4,85	106,74	35,88	0,94	0,82	27,89	8,78
Tachov	154,8	10,83	109,21	54,54	1,34	1,51	48,14	25,22
Cheb	174,6	15,38	100,51	64,16	1,27	1,57	56,96	37,09
Karlovy Vary	175,1	18,57	110,28	60,86	1,12	1,47	175,32	138,27
Sokolov	176,5	19,75	109,51	61,72	1,42	1,75	138,34	90,40
Děčín	116,2	4,20	109,29	53,55	1,08	1,38	92,73	66,03
Chomutov	116,4	5,76	91,12	60,47	1,27	1,77	151,85	129,52
Litoměřice	92,2	2,28	114,25	56,35	1,36	1,44	135,24	63,85
Louny	111,4	3,55	124,31	53,96	1,48	1,27	128,47	40,85
Most	102,3	5,48	126,27	82,15	1,52	2,07	201,80	162,51
Teplice	170,1	15,15	108,33	60,88	1,40	1,54	103,70	54,38
Ústí nad Labem	90,8	3,39	120,94	62,36	1,46	1,60	234,46	127,09
Česká Lípa	90,6	1,31	105,33	47,43	1,30	1,32	90,73	41,55
Jablonec nad Nisou	190,4	19,33	86,65	42,11	1,11	1,14	69,44	33,21
Liberec	200,2	25,62	95,46	42,55	1,12	1,11	117,25	51,37
Semily	112,6	4,59	70,16	27,57	0,72	0,92	28,35	20,11

Okres	OAR	Bq <sup>400+</sup>	I <sup>M</sup>	I <sup>Z</sup>	iÚ <sup>M</sup>	iÚ <sup>Z</sup>	Ú <sub>st</sub> <sup>M</sup>	Ú <sub>st</sub> <sup>Z</sup>
Hradec Králové	95,6	1,03	90,80	40,28	0,89	0,79	125,95	43,61
Jičín	91,8	0,59	97,92	39,00	0,91	0,98	62,21	32,01
Náchod	115,1	2,82	84,39	38,29	0,88	0,86	54,56	22,94
Rychnov n. Kněžnou	126	5,27	87,58	26,55	0,98	0,69	33,20	7,14
Trutnov	149,2	10,51	96,57	41,87	1,08	1,03	109,52	44,59
Pardubice	91,1	0,63	72,72	32,56	0,95	0,93	109,10	46,15
Svitavy	115,3	3,47	81,56	32,45	0,89	0,91	43,10	19,77
Ústí nad Orlicí	129,1	4,13	53,36	25,63	0,74	0,92	48,68	32,35
Havlíčkův Brod	135,6	6,99	67,48	19,25	0,87	0,61	34,42	7,07
Jihlava	173	11,21	79,75	33,92	1,02	0,91	73,21	25,23
Pelhřimov	151,1	9,18	59,21	24,68	0,87	0,66	61,99	15,12
Třebíč	252,6	30,32	73,46	28,15	0,88	0,66	56,54	13,59
Žďár nad Sázavou	215,1	23,28	80,95	23,17	0,96	0,49	59,94	6,48
Blansko	130,3	5,28	56,74	26,76	0,72	0,73	56,84	25,60
Brno-město	118,5	2,00	69,76	43,36	0,83	0,98	171,49	113,26
Brno-venkov	143,2	6,18	75,43	23,74	0,97	0,77	113,86	31,78
Břeclav	107,1	1,87	79,45	30,76	1,02	0,87	76,89	25,61
Hodonín	92,7	0,93	67,47	18,69	0,95	0,50	47,40	5,98
Vyškov	147	6,75	88,23	25,94	1,01	0,62	27,79	4,60
Znojmo	180,1	9,73	79,03	29,64	0,96	0,76	67,28	18,11
Jeseník	149,2	7,14	78,54	42,68	1,11	0,92	11,16	3,26
Olomouc	171,8	12,89	83,56	36,83	0,94	0,96	76,48	35,35
Prostějov	186,8	14,02	75,87	29,98	0,78	0,68	53,99	18,47
Přerov	141,2	7,04	79,66	38,21	1,00	0,95	37,27	15,05
Šumperk	165,3	10,38	69,54	33,93	0,85	0,82	42,89	17,63
Kroměříž	108,9	2,20	72,96	24,46	0,92	0,58	42,22	7,80
Uherské Hradiště	107,8	1,92	68,71	20,49	0,80	0,60	164,57	42,57
Vsetín	95,7	1,12	69,24	24,77	0,76	0,61	33,61	9,78
Zlín	103	1,84	63,11	21,53	0,67	0,45	17,03	3,34
Bruntál	133,6	8,81	94,68	43,03	1,02	1,07	57,82	27,66
Frydek-Místek	101,8	1,85	75,01	23,92	0,84	0,70	99,34	30,35
Karviná	84,5	0,23	96,22	43,24	1,17	1,01	176,78	59,31
Nový Jičín	110,1	3,43	74,07	30,84	0,85	0,73	51,92	17,14
Opava	100,2	2,44	84,90	34,34	0,99	0,80	126,67	36,97
Ostrava-město	100,8	1,88	104,26	46,07	1,24	1,12	165,80	63,63

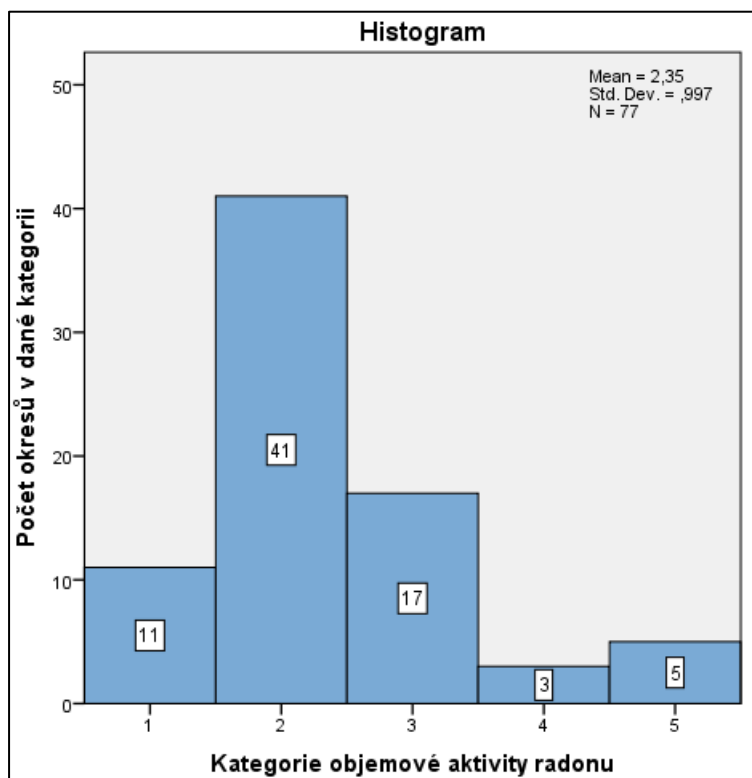
[Tab. č. 15]: Přehledová tabulka s údaji o naměřené objemové aktivitě radonu (OAR) v Bq.m<sup>-3</sup>, podílu domácností s OAR nad 400 Bq.m<sup>-3</sup> (Bq<sup>400+</sup>), incidenci karcinomu plic (I), indexu standardizované úmrtnosti na karcinom plic (iU) a standardizované míře úmrtnosti na karcinom plic (Ú). Pro rozlišení pohlaví mají jednotlivé ukazatelé horní index M (muži) nebo Z (ženy).

## 7. 1. Mapové výstupy



[Obr. č. 9]: Objemová aktivita radonu (Bq.m<sup>3</sup>) 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, 72 - Frýdek-Místek, 3- Karviná, 74-Nový Jičín, 75-Opava, 76- Ostrava-město); **Hlavní město Praha** (77 – Praha).

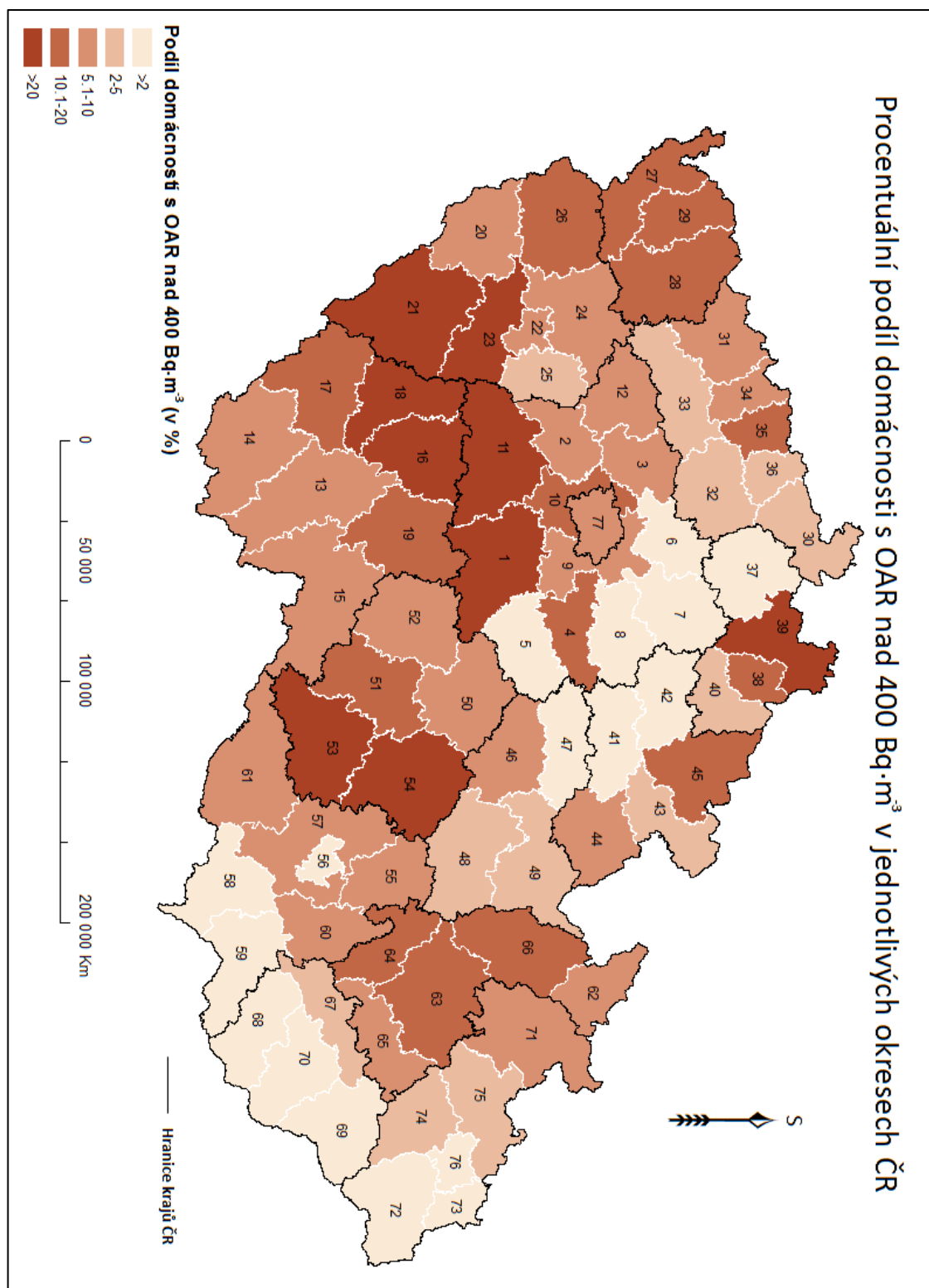


[Obr. č. 10]: Počty okresů v jednotlivých kategoriích OAR.

Jak ukazuje mapa objemové radonové aktivity, jsou vidět místa, která mají vyšší koncentrace radonu a naopak. Nejvyšší hodnoty přes 200 Bq.m<sup>-3</sup> mají okresy Liberec, Žďár nad Sázavou, Třebíč, Benešov, Příbram, Písek a Strakonice. Naopak méně než 100 Bq.m<sup>-3</sup> mají oblasti v Polabí jako je Mělník, Mladá Boleslav, Hradec Králové, Jičín a další. Mimo tuto oblast jsou

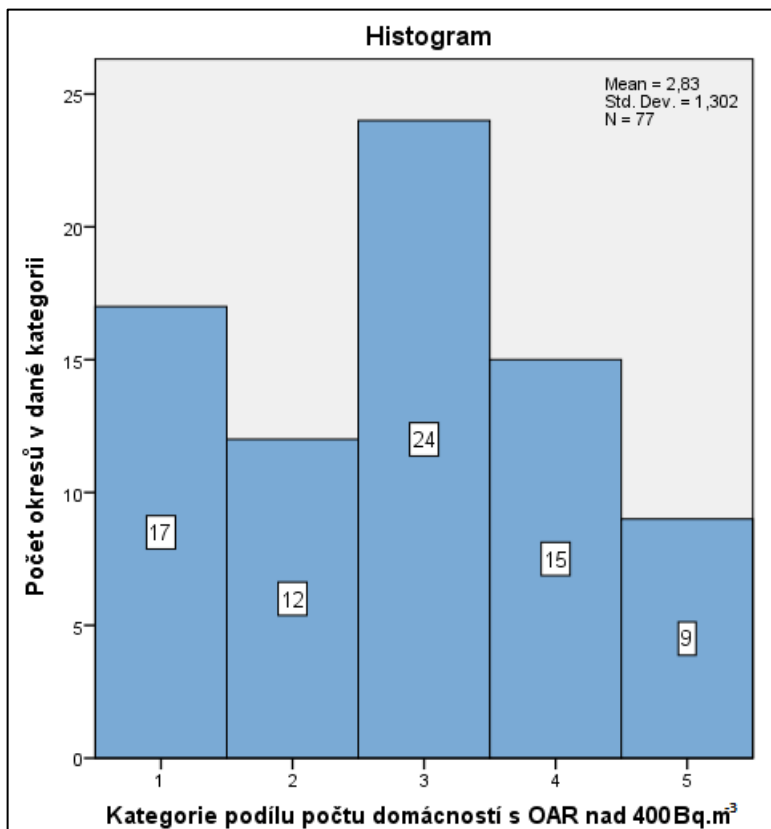
nižší koncentrace na Moravě, nejméně v okresech Hodonín, Vsetín a Nový Jičín.

Zbytek České republiky má hodnoty obvykle v rozmezí 100–150 Bq.m<sup>-3</sup>. Průměrná hodnota objemové aktivity radonu v ČR se pohybuje okolo 145 Bq.m<sup>-3</sup>. Podobnou distribuci znázorňuje i samotný histogram [Obr. č. 10].



[Obr. č. 11]: Procentuální podíl domácností s OAR nad 400 Bq·m<sup>-3</sup> v jednotlivých 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, 72 - Frýdek-Místek, 73- Karviná, 74-Nový Jičín, 75- Opava, 76- Ostrava-město); **Hlavní město Praha** (77 – Praha).



[Obr. č. 12]: Kategorie podílu počtu domácností s OAR nad 400 Bq.m<sup>-3</sup>.

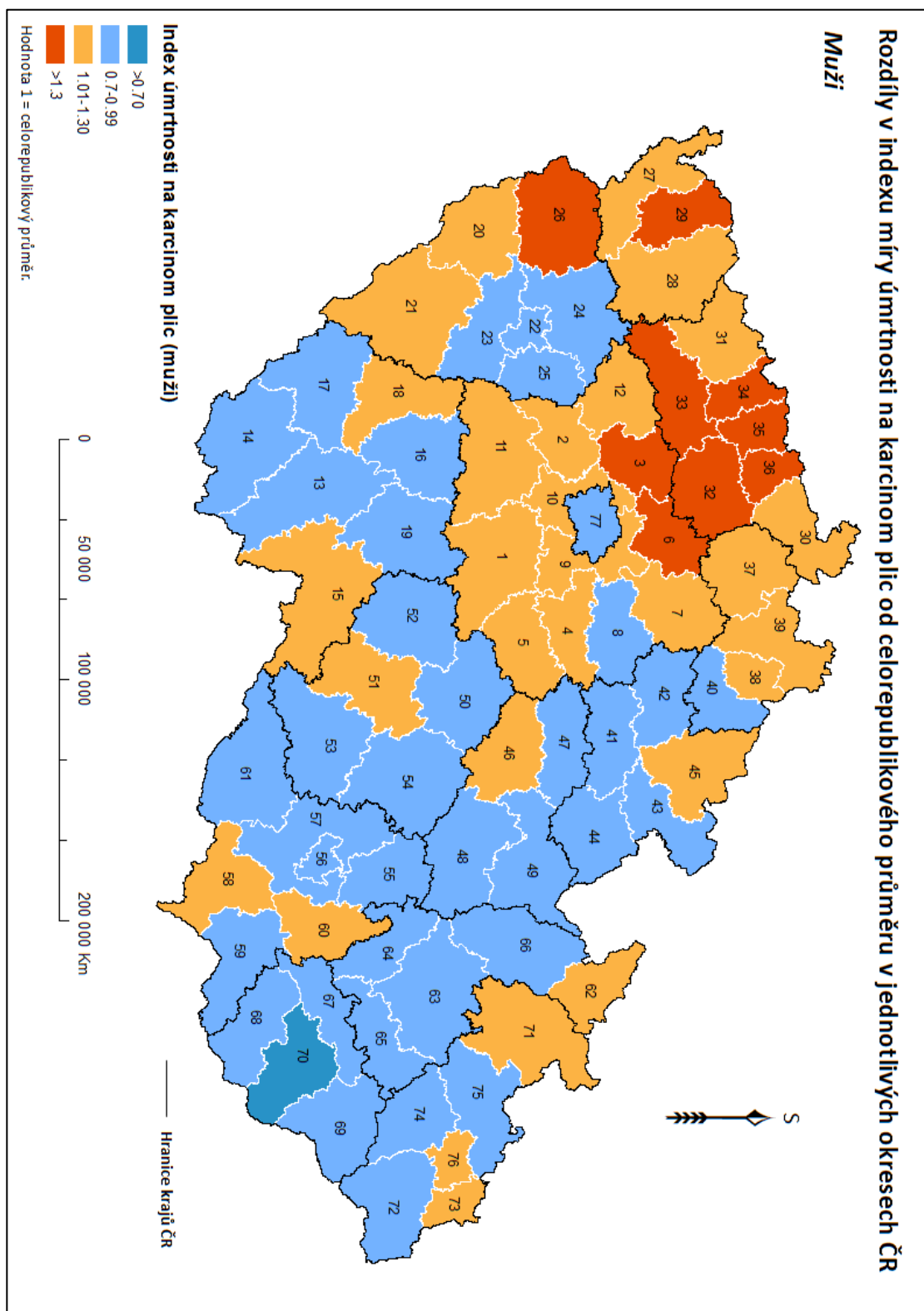
Mapa procentuálního podílu domácností s OAR nad 400 Bq.m<sup>-3</sup> v okresech ČR ukázala velmi podobný trend jako předchozí mapa s distribucí objemové aktivity radonu.

Lze tedy říci, že průměrně vyšší hodnoty odpovídají okresům s procentuálně vyšším podílem domácností s OAR nad 400 Bq.m<sup>-3</sup>.

Největší podíl domácností s OAR nad 400 Bq.m<sup>-3</sup> mají okresy Benešov, Liberec, Příbram, Písek, Strakonice, Klatovy, Plzeň-jih, Třebíč a Žďár nad Sázavou. Nejnižší hodnoty nalezneme v Polabí a na jihu a jihovýchodě Moravy.

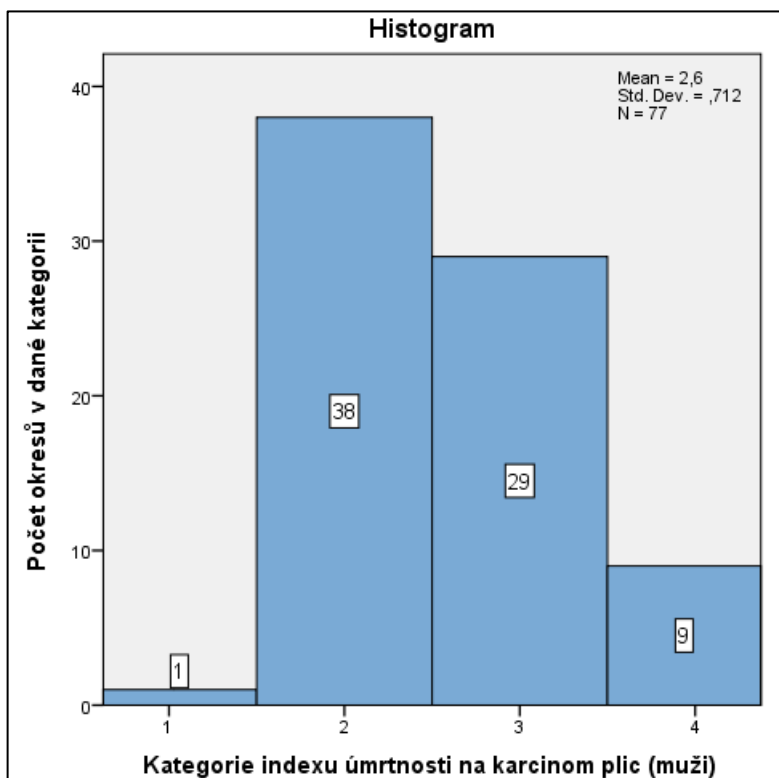
Průměrná hodnota procentuálního podílu domácností s OAR nad 400 Bq.m<sup>-3</sup> se pohybovala mezi 5-10 % [Obr. č. 12].





[Obr. č. 13]: Rozdíly v indexu míry úmrtnosti na karcinomu plic od celorepublikového průměru v jednotlivých okresech ČR (muži): **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, 72 - Frýdek-Místek, 73- Karviná, 74-Nový Jičín, 75-Opava, 76- Ostrava-město); **Hlavní město Praha** (77 – Praha).

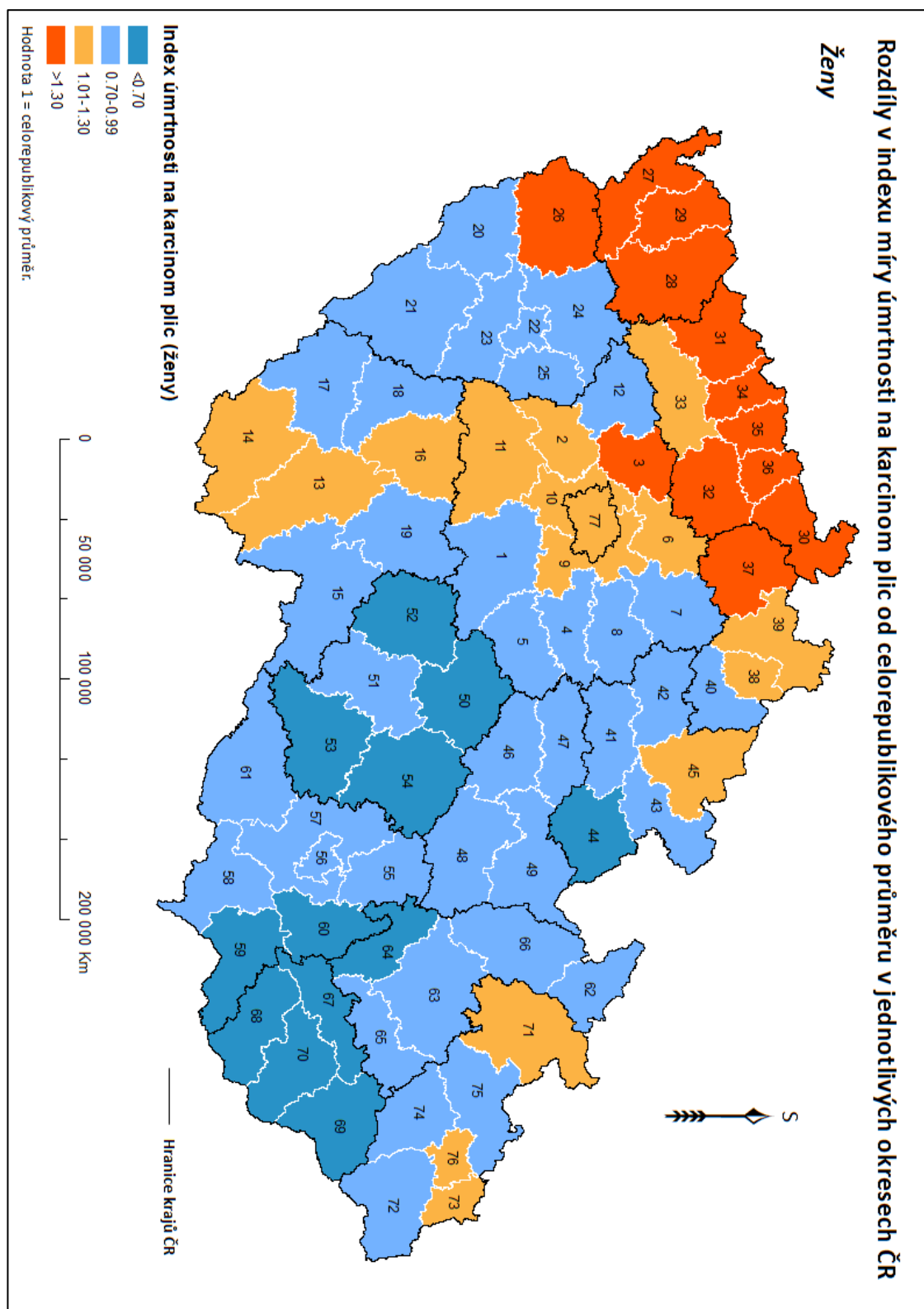


[Obr. č. 14]: Četnost indexu úmrtnosti na karcinom plic (muži) dle jednotlivých kategorií.

Mapa indexu úmrtnosti na karcinom plic u mužů se rozdělila na dvě oblasti. Jednu s vyšším indexem úmrtnosti, než je český průměr, kam bychom zařadili okresy severních a severozápadních Čech, téměř celé střední Čechy s výjimkou Prahy a Nymburku a některé části západních Čech (Domažlice,

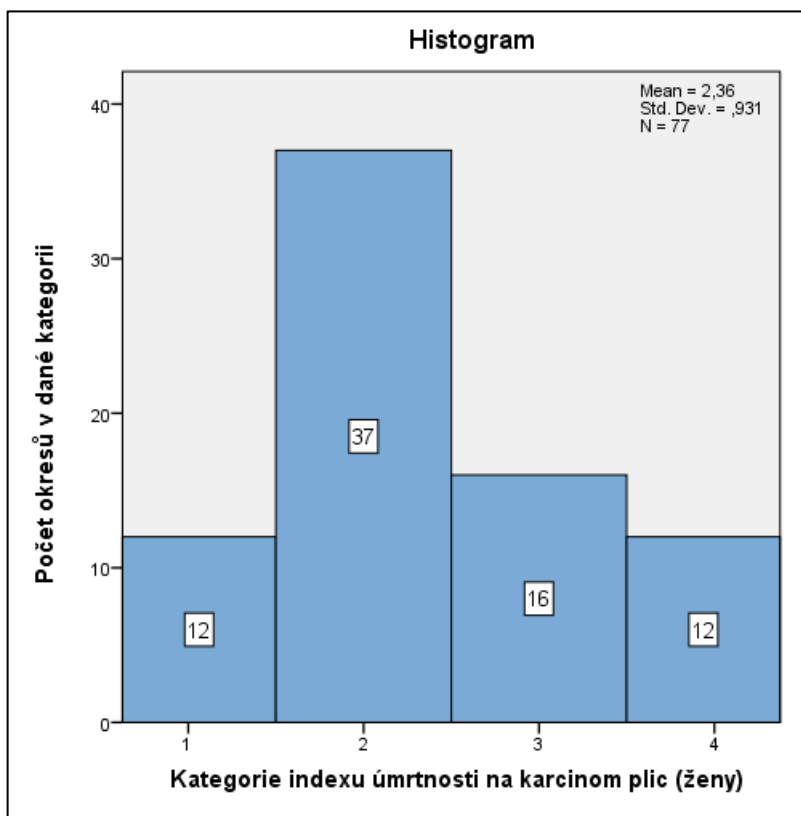
Tachov). Na Moravě jsou místa s vyšším indexem úmrtnosti na karcinom plic omezena lokálně, případně jejich hodnoty nejsou až tak zásadně odlišné od hodnoty 1 (hodnota odpovídající celorepublikovému průměru). Čím je hodnota vyšší, tím je vyšší riziko v daném okresu v porovnání s celorepublikovým průměrem (to platí i pro nižší hodnoty).

Distribuční histogram poukazuje na vysokou četnost ve druhé a třetí kategorii, respektive 67 okresů (87%) má index v rozmezí 0,7 – 1,3. Nejvyšších hodnot index úmrtnosti na karcinom plic u mužů dosahoval v okresech Teplice, Sokolov, Louny, Most aj. (1,4 – 1,5). Nejnižší hodnoty bychom naopak našli v okresech Zlín, Semily nebo Blansko. Index úmrtnosti na karcinom plic u mužů má relativně rovnoměrné rozložení.



[Obr. č. 15]: Rozdíly v indexu míry úmrtnosti na karcinom plic od celorepublikového průměru v jednotlivých okresech ČR (ženy): **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),

**Královehradecský 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, 72 - Frýdek-Místek, 73 - Karviná, 74 - Nový Jičín, 75 - Opava, 76 - Ostrava-město); **Hlavní město Praha** (77 - Praha).



[Obr. č. 16]: Četnost indexu úmrtnosti na karcinom plic (ženy) dle jednotlivých kategorií.

Mapa indexu úmrtnosti na karcinom plic u žen ukázala nepatrně odlišný trend než u mužů. Velká část České republiky má nižší hodnotu indexu úmrtnosti na karcinom plic, než je průměr za ČR (48%) [Obr. č. 16], což indikuje poměrně výrazná ohniska vyšších hodnot indexu úmrtnosti na karcinom plic, respektive

jedno velké ohnisko na severu a severozápadě Čech, mírně zvýšené hodnoty lze pozorovat i ve středních a jižních Čechách.

Naopak Morava má až na výjimky (Ostrava a Karviná) nižší hodnoty indexu úmrtnosti na karcinom plic u žen, než je celorepublikový průměr, dokonce části jako je Zlínský kraj, jsou pod hranicí 0,7, podobné trend vykazuje i Vysočina.

Nejvyšší index míry úmrtnosti mají Most, Sokolov a Cheb (1,7 – 2). Naopak nejnižší hodnoty nalezneme v okresech Zlín, Hodonín nebo Žďár nad Sázavou (0,45-0,5). U žen lze pozorovat tedy mnohem větší rozdíly než u mužů.

## 7. 2. Korelační analýza

Ze získaných datových zdrojů byla provedena korelační analýza mezi objemovou aktivitou radonu a dalšími dvěma proměnnými (incidence a standardizovaná úmrtnost), zvláště pro muže a ženy. Souhrnná korelace za obě pohlaví nebyla provedena z důvodu velkých rozdílů u incidence a úmrtnosti na karcinom plic.

### 7. 2. 1. Objemová aktivita radonu a incidence karcinomu plic

**Popisná statistika (MUŽI)**

	Průměr	Sm. odchylka	N
Objemová aktivita radonu ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) – OAR	143,77	52,18	77
Incidence (na 100 tisíc ob.) u mužů – $I^M$	87,93	16,53	77

[Tab. č. 16]: Popisná statistika korelovaných datových souborů (objemová aktivita radonu a incidence karcinomu plic u mužů).

**Pearsonův korelační koeficient**

		OAR	$I^M$
OAR	Pearson k. k.	1	0,024
	Sig. (2-tailed)		0,833
	N	77	77
$I^M$	Pearson k. k.	0,024	1
	Sig. (2-tailed)	0,833	
	N	77	77

[Tab. č. 17]: Pearsonův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a incidencí karcinomu plic u mužů.

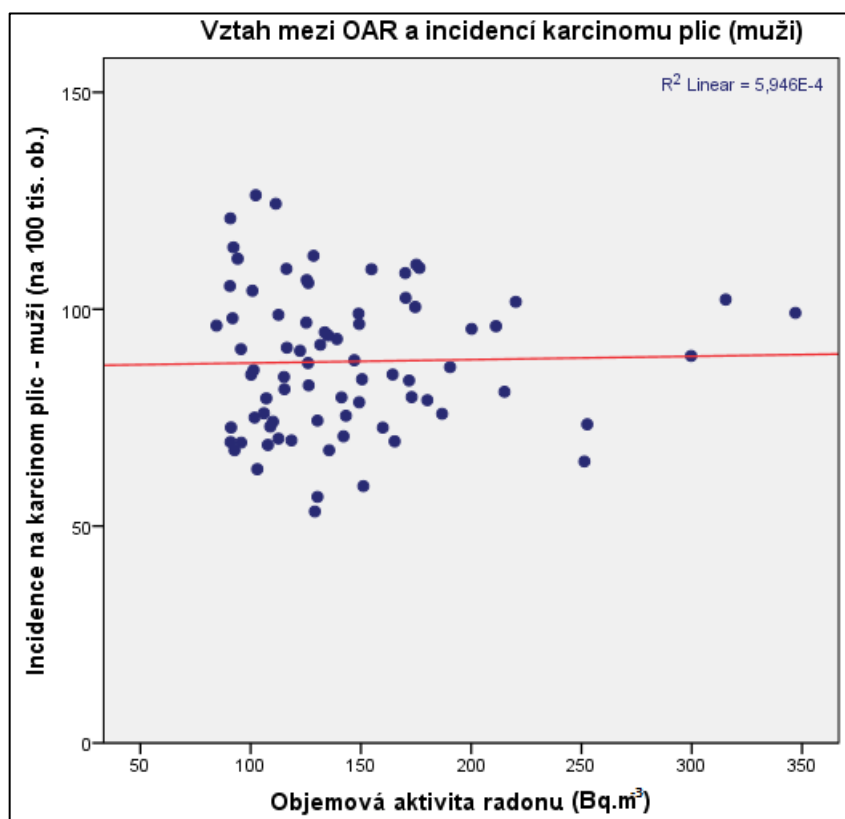
Pearsonův korelační koeficient objemové aktivity radonu a incidence karcinomu plic u mužů byl stanoven na hodnotu 0,024, což indikuje velmi slabou až nulovou korelaci. Mezi korelovanými proměnnými není statisticky signifikantní vztah.

**Spearmanův korelační koeficient**

		OAR	$I^M$
OAR	Spearman k. k.	1	0,011
	Sig. (2-tailed)		0,926
	N	77	77
$I^M$	Spearman k. k.	0,011	1
	Sig. (2-tailed)	0,926	
	N	77	77

[Tab. č. 18]: Spearmanův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a incidencí karcinomu plic u mužů.

Hodnota Spearmanova korelačního koeficientu vyšla 0,011, nepatrně nižší hodnota než u Pearsonova korelačního koeficientu, značí opět velmi nízkou korelaci. Výsledek není statisticky signifikantní.



[Obr. č. 17]: Vztah mezi OAR (Objemová aktivita radonu) a incidencí na karcinom plic u mužů.

Grafu vztahu mezi objemovou aktivitou radonu a incidencí karcinomu plic u mužů ukazuje, že lineární vztah není příliš silný, nižší hodnoty se sice koncentrují relativně blízko sebe, ale bez viditelné závislosti. V grafu [Obr. č. 17] jsou také patrné odlehle hodnoty, které nekorespondují s vyznačenou křivkou.

#### Popisná statistika (ŽENY)

	Průměr	Sm. odchylka	N
Objemová aktivita radonu (Bq.m <sup>-3</sup> ) – OAR	143,77	52,18	77
Incidence (na 100 tisíc ob.) u žen – I <sup>2</sup>	38,04	12,30	77

[Tab. č. 19]: Popisná statistika korelovaných datových souborů (objemová aktivita radonu a incidence karcinomu plic u žen).

#### Pearsonův korelační koeficient

		OAR	I <sup>2</sup>
OAR	Pearson k. k.	1	-0,028
	Sig. (2-tailed)		0,808
	N	77	77
I <sup>2</sup>	Pearson k. k.	-0,028	1
	Sig. (2-tailed)	0,808	
	N	77	77

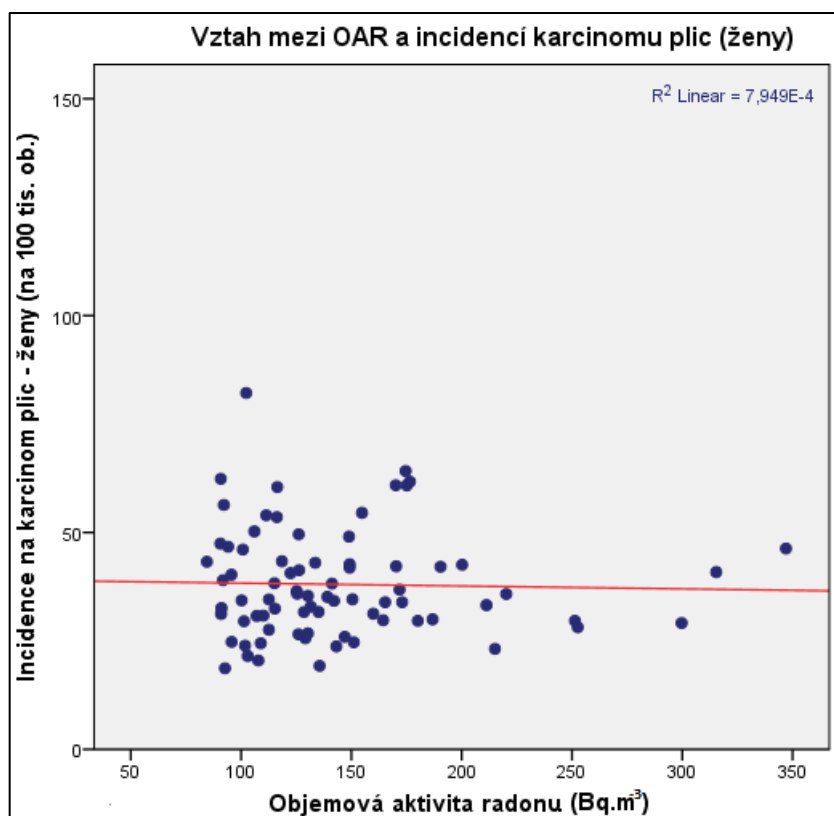
[Tab. č. 20]: Pearsonův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a incidencí karcinomu plic u žen.

Pearsonův korelační koeficient objemové aktivity radonu a incidence karcinomu plic u žen vyšel -0,028, tedy téměř žádná až nepatrně negativní asociaci. Mezi korelovanými proměnnými nebyl prokázán statisticky signifikantní vztah.

		OAR	I <sup>2</sup>
OAR	Spearman k. k.	1	-0,022
	Sig. (2-tailed)		0,852
	N	77	77
I <sup>2</sup>	Spearman k. k.	-0,022	1
	Sig. (2-tailed)	0,852	
	N	77	77

[Tab. č. 21]: Spearmanův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a incidencí karcinomu plic u žen.

Výsledek Spearmonova korelačního koeficientu neukázal výrazné odlišnosti od hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu. Hodnota -0,022 značí žádnou až nepatrně negativní asociaci.



[Obr. č. 18]: Vztah mezi OAR (Objemová aktivita radonu) a incidencí na karcinom plic u žen.

Vztah mezi objemovou aktivitou radonu a incidencí karcinomu plic u žen není lineární, nicméně oproti mužům jsou hodnoty blíže k lineární křivce. V grafu [Obr. č. 18] lze opět vidět i řadu odlehlých hodnot.

## 7. 2. 2. Objemová aktivita radonu a standardizovaná míra úmrtnosti

**Popisná statistika (MUŽI)**

	Průměr	Sm. odchylka	N
Objemová aktivita radonu (Bq.m <sup>-3</sup> ) – OAR	143,77	52,18	77
Standardizovaná míra úmrtnosti (muži) – Ú <sub>st</sub> <sup>M</sup>	87,203	49,153	77

[Tab. č. 22]: Popisná statistika korelovaných datových souborů (objemová aktivita radonu a standardizovaná míra úmrtnosti na karcinom plic u mužů).

**Pearsonův korelační koeficient**

		OAR	Ú <sub>st</sub> <sup>M</sup>
OAR	Pearson k. k.	1	-0,117
	Sig. (2-tailed)		0,312
	N	77	77
Ú <sub>st</sub> <sup>M</sup>	Pearson k. k.	-0,117	1
	Sig. (2-tailed)	0,312	
	N	77	77

[Tab. č. 23]: Pearsonův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic u mužů.

Korelační analýza mezi objemovou aktivitou radonu a standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic neukázala výraznou závislost, naopak mírně negativní asociaci (-0,117). Mezi korelovanými proměnnými však není statisticky signifikantní vztah.

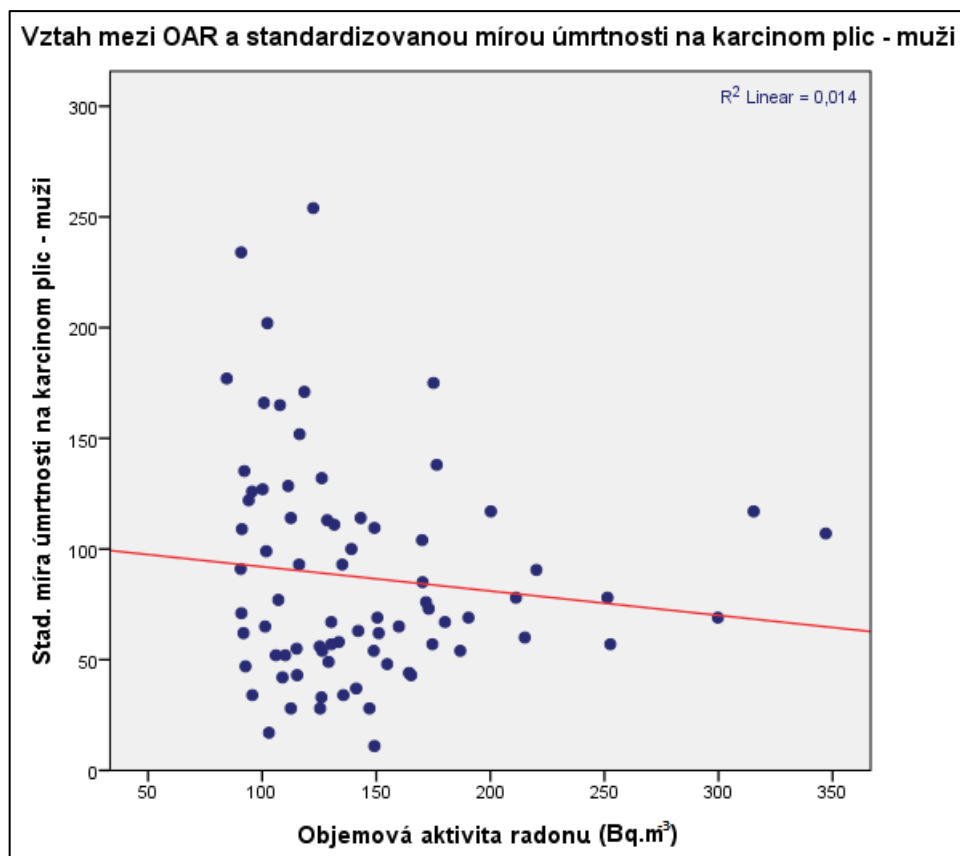
**Spearmanův korelační koeficient**

		OAR	Ú <sub>st</sub> <sup>M</sup>
OAR	Spearman k. k.	1	-0,132
	Sig. (2-tailed)		0,252
	N	77	77
Ú <sub>st</sub> <sup>M</sup>	Spearman k. k.	-0,132	1
	Sig. (2-tailed)	0,252	
	N	77	77

[Tab. č. 24]: Spearmanův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic u mužů.

Spearmanův korelační koeficient vypočítal podobné hodnoty jako Pearsonův korelační koeficient, tudíž lze tím pouze potvrdit předchozí výsledky. Hodnota -0,131 poukazuje na slabou negativní asociaci, opět bez statistické signifikance.





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

Vztah mezi objemovou aktivitou radonu a standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic u mužů není lineární, dokonce lze pozorovat i značnou rozkolísanost v porovnání s grafem pro incidenci karcinomu plic u mužů. Na [Obr. č. 19] lze taktéž vidět i řadu odlehklých hodnot.

#### Popisná statistika (ŽENY)

	Průměr	Sm. odchylka	N
Objemová aktivita radonu ( $Bq.m^3$ ) – OAR	143,77	52,18	77
Standardizovaná míra úmrtnosti (ženy) – $Ú_{st}^Z$	37,435	32,183	77

[Tab. č. 25]: Popisná statistika korelovaných datových souborů (objemová aktivita radonu a standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic u žen).

#### Pearsonův korelační koeficient

		OAR	$Ú_{st}^Z$
OAR	Pearson k. k.	1	-0,124
	Sig. (2-tailed)		0,282
	N	77	77
$Ú_{st}^Z$	Pearson k. k.	-0,124	1
	Sig. (2-tailed)	0,282	
	N	77	77

[Tab. č. 26]: Pearsonův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a standardizovaným indexem úmrtnosti na karcinom plic u žen.

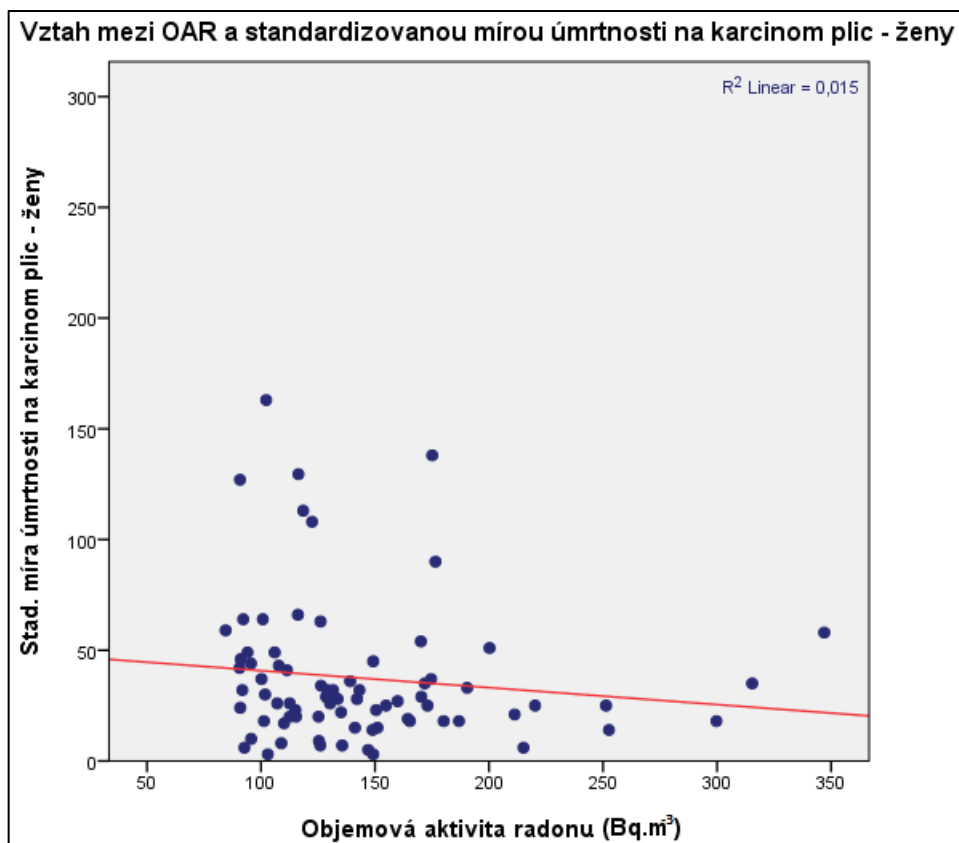
Podobně jako u mužů, tak i u žen korelační analýza neprokázala výraznou asociaci mezi proměnnými. Test statistické významnosti neukázal signifikantní vztah mezi objemovou aktivitou radonu a standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic u žen.

**Spearmanův korelační koeficient**

		OAR	Ú <sub>st</sub> <sup>Z</sup>
OAR	Spearman k. k.	1	-0,191
	Sig. (2-tailed)		0,097
	N	77	77
Ú <sub>st</sub> <sup>Z</sup>	Spearman k. k.	-0,191	1
	Sig. (2-tailed)	0,097	
	N	77	77

[Tab. č. 27]: Spearmanův korelační koeficient mezi objemovou aktivitou radonu a standardizovaným indexem úmrtnosti na karcinom plic u žen.

Ani použití Spearmanova korelačního koeficientu nezměnilo míru asociace mezi objemovou aktivitou radonu a standardizovanou mírou úmrtnosti na karcinom plic. Korelační analýza vyšla jako statisticky nesignifikantní.



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

[Obr. č. 20] vykazuje podobnou rozkolísanost jako u mužů. V porovnání s incidencí karcinomu plic u žen jsou hodnoty značně rozptýlené a vzdálené od vyznačené lineární křivky.

### 7. 3. Expertní rozhovor

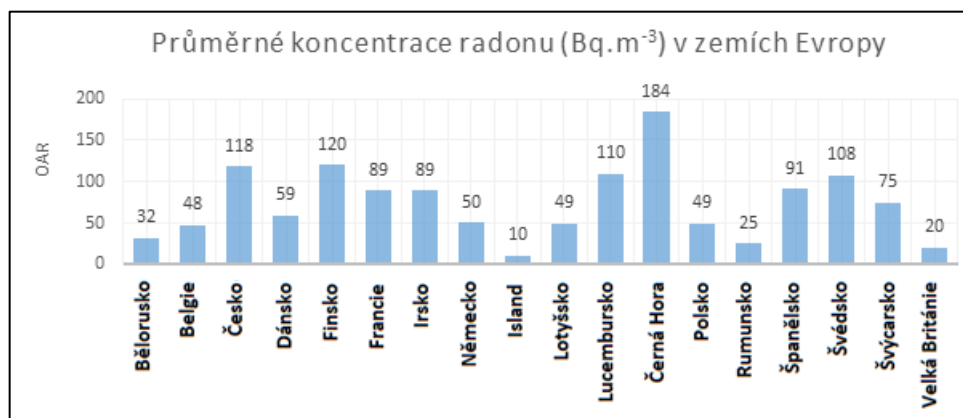
Expertní rozhovor s dr. Danou Drábovou byl s ohledem k jejím časovým možnostem zprostředkován skrze telefonickou a částečně elektronickou komunikaci. Během rozhovoru bylo položeno 16 otázek týkajících se radonové problematiky a zdraví. Na dotazy odpovídala dle vlastního uvážení a zkušeností, případně dodala materiály v podobě obrázků.

#### 1. Představuje podle Vás radon riziko pro lidské zdraví, kterému bychom se měli věnovat?

*Život je obecně riziková záležitost. Předpokládáme, že přírodní radioaktivní pozadí, jehož je radon součástí, může být jedním z rizikových faktorů, které k životu patří. Pozornost radonu bychom měli věnovat kvůli tomu, že v některých případech může docházet k jeho kumulaci až na koncentrace, které mohou lidské zdraví ohrozit. Takže ano, pozornost bychom mu měli věnovat v případech, kdy může ohrozit lidské zdraví, z hlediska prevence i regulace.*

#### 2. Je dle Vás ČR rizikovou oblastí, oproti jiným zemím?

*ČR patří k zemím s vyšší průměrnou koncentrací OAR v ovzduší budov [Obr. č. 21].*



[Obr. č. 21]: Průměrná koncentrace radonu (Bq.m<sup>-3</sup>) v zemích Evropy. (Zdroj: upraveno dle UNSCEAR, 2006).

#### 3. Jak by se měl člověk před radonem chránit (prevence)?

*Člověk by si měl počínat tak, aby nevytvářel situace zmíněné v bodě 1. Preventivními opatřeními mohou být různé stavební úpravy, režim větrání apod. Legislativa ČR v sobě má zakotveny určité základní principy, které by měly pomoci zabránit tomu, aby lidé nebydleli v domech nebo nepobývali či nepracovali na místech, kde by koncentrace radonu dosahovala hodnot, které na základě současných znalostí považujeme potenciálně za rizikové pro lidské zdraví.*

#### 4. Může mít radon při nízkých koncentracích pozitivní vliv na lidské zdraví?

*Mechanismus pozitivního vlivu radonu na lidské zdraví není potvrzen.*

**5. Myslíte si, že se ČR dostatečně angažuje v protiradonové ochraně?**

*Regulaci v ČR považují za rozumnou a dostatečnou.*

**6. Co je podle Vás větší rizikový faktor pro vznik karcinomu plic kouření (ne pasivní) nebo radonové záření?**

*Jednoznačně kouření.*

**7. Jsou dle Vás lidé v ČR dostatečně seznámeni s problematikou radonu?**

*Podle sociologických průzkumů, které byly prováděny v rámci Radonového programu ČR, má povědomí o radonu přibližně 80 % respondentů (dospělých). Je otázka, jestli toto povědomí využijí, pokud se dostanou do situace podle bodu 3. V každém případě k tomu mají dostatek dostupných informací.*

**8. Myslíte si, že lidé přistupují v ČR obezřetně k případným protiradonovým opatřením spojeným s výskytem radonu v domě (případně jeho základech nebo ze samotného stavebního materiálu)?**

*Otázka není jednoznačná – je myšleno, zda se lidé obávají těch opatření? Na základě hodnocení dosavadního přístupu lidí k realizaci preventivních opatření se dá říci, že je to jako v případě jiných rizikových faktorů – někteří se chovají zodpovědně a ochranná opatření realizují, někteří i vyšší hodnoty koncentrace radonu v domě ignorují.*

**9. Přispívá podle Vás člověk k šíření radonu nebo obecně radionuklidů v přírodě nebo ve svém okolí?**

*K šíření ne, ale může vytvářet případy, kdy dochází ke koncentrování radonu – typicky např. v domech s nedostatečnou ochranou proti pronikání radonu z podloží nebo stavby domů ze stavebních materiálů se zvýšeným obsahem radionuklidů,*

**10. Je dle Vás v ČR nějaká oblast vysoce riziková s ohledem k radonu a zdravotním následkům?**

*Rizikovitost oblastí z hlediska možnosti pronikání radonu do staveb posuzujeme podle charakteru podloží – viz. [www.geology.cz](http://www.geology.cz). Hodnocení zdravotních následků je velmi komplikované, protože je třeba brát v úvahu řadu faktorů, včetně toho, že zdravotní účinek není pro radon specifický. Vzhledem k rozmanitosti geologických podmínek v ČR a životních návyků obyvatel nepředpokládáme, že by se dal obecně očekávat prokazatelný soulad rizikovitosti podloží a výskytu zdravotních následků ve vztahu k radonu.*

**11. Bude radon v blízké budoucnosti pro člověka více nebezpečný než doted?**

*Není důvod, pokud se člověk bude chovat zodpovědně - viz. bod 3.*

**12. V posledních letech se často hovoří v médiích o riziku výbuchů jaderných elektráren, kdyby skutečně k takovému výbuchu došlo, může se běžný obyvatel nějakým způsobem zachránit?**

*Prevenci radiačních havárií a zajištění bezpečnosti jaderných zařízení je věnována při stavbě těchto zařízení a při jejich provozu samozřejmě prioritní a obrovská pozornost. I přesto – jak víme z nedaleké minulosti – k takovým událostem může dojít. Přípravě na tyto situace se věnuje oblast havarijní připravenosti a odezvy na radiační havárii. Jsou připraveny postupy, popsané zejména v havarijních plánech, které by směřovaly k tomu, aby dopady takové události na zdraví a životy lidí a na životní prostředí, byly co nejmenší. Obecně platí, že následky dosavadních havárií jaderných zařízení byly a jsou v porovnání s jinými průmyslovými haváriemi a přírodními katastrofami velmi malé. Takže ano, existují a jsou pro případ takové události připravena účinná opatření. Lidé v okolí jaderných elektráren jsou o nich pravidelně důkladně informováni, informace jsou dostupné pro kohokoli na webu SÚJB či Hasičského záchranného sboru.*

**13. ČR je dle údajů WHO jedna z prvních zemí v počtu úmrtí na novotvary, myslíte si, že to může nějakým způsobem souviset s přirozenou radioaktivitou nebo je příčina jinde?**

*Při hledání příčin podle pořadí závažnosti není důvod začínat radioaktivitou.*

**14. Jaký je Váš názor na problematiku radonu a vzniku karcinomu plic, myslíte si, že radon může být příčinou?**

*To, že radon příčinou být může, bylo statisticky prokázáno. Předmětem zkoumání je, jak velké je jeho riziko v závislosti na dalších faktorech (koncentrace, doba expozice, související rizika...).*

**15. Myslíte si, že může radon způsobovat i jiná onemocnění než karcinom plic?**

*To zatím není ani potvrzeno, ani vyvráceno.*

**16. Jsou dle Vás rizikovou skupinou pro vznik karcinomu plic v důsledku radonového záření spíše muži nebo ženy (pokud si myslíte, že riziko je stejné, zkuste to odůvodnit třeba nějakou vlastní úvahou)?**

*Mechanismus působení radonu se u mužů a žen neliší, rozdíl, ale mohou být způsobeny jiným životními návyky (např. procento kuřáků) nebo profesním spektrem (např. práce v podzemí).*

## 8] DISKUZE

Diskuze je rozdělena do třech částí. První část hodnotí mapové výstupy, druhá část je věnována korelační analýze a třetí část zahrnuje shrnutí expertního rozhovoru s Dr. Danou Drábovou.

### 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. Srovnání s mapami v [Př. 1] a [Př. 2] tento vztah potvrzuje.

#### 8. 1. 2. Procentuální podíl počtu domácností s OAR nad 400 Bq.m<sup>-3</sup>

Podobně jako mapa objemové aktivity radonu, tak i mapa procentuálního podílu počtu domácností s objemovou aktivitou radonu nad 400 Bq.m<sup>-3</sup> ukázala, že místa s průměrnou vyšší koncentrací radonu mají zároveň i vyšší maximální naměřené hodnoty.

#### 8. 1. 3. Mapy míry úmrtnosti na karcinom plic

Pokud se podíváme na mapu indexu míry úmrtnosti na karcinom plic u mužů, zjistíme, že prostorové rozložení je poměrně variabilní a vytváří se oblasti se zvýšenými či sníženými hodnotami. Vyšší hodnoty indexu oproti celorepublikovému průměru vidíme především v oblasti severních a severozápadních Čech. Zvýšené hodnoty můžeme pozorovat i ve Středočeském kraji, s výjimkou Prahy. Právě lokality severních a severozápadních Čech byly v minulosti a v zásadě i dnes oblastmi těžby hnědého uhlí, což může indikovat právě vyšší hodnoty indexu míry úmrtnosti oproti zbytku České republiky. Významnou roli pak může hrát i samotná těžba uranu v oblasti Liberecka, Karlovarska či Příbramska. Vyšší hodnoty na Moravě můžeme dát do souvislosti s těžbou černého uhlí (Karviná, Ostrava). Oblasti jako Jesenicko či Břeclavsko není nutné dávat přímo do souvislosti s nějakými vlivy, hodnoty se liší od celorepublikového průměru minimálně, tudíž těmto rozdílům nemusíme přikládat zásadní váhu.

Naopak hodnoty nižší, než je celorepublikový průměr, nalezneme především na jihu Čech, Plzeňsku, Praze, Podkrkonoší, a především na Moravě. Důvodem může být lepší ovzduší, nízká těžba či odlišný životní styl.

Mapa indexu míry úmrtnosti na karcinom plic u žen vykazuje plošně oddělenou oblast, kde vyšší hodnoty v porovnání s celorepublikovým průměrem najdeme v oblasti severních a

severozápadních Čech a směrem od Liberecka na jih Čech. Na Moravě jsou zvýšené hodnoty pouze na několika místech, nejvýrazněji na Ostravsku a Karvinsku. Důvodem může být horší kvalita ovzduší, těžba černého uhlí atd.

Pro muže i ženy jsou v zásadě vymezené podobné oblasti se zvýšeným nebo sníženým indexem míry úmrtnosti na karcinom plic v porovnání s celorepublikovým průměrem. V takovém případě se nebude jednat o náhodu, ale o vliv jiného faktoru (př.: kvalita ovzduší, životní styl atd.).

## 8. 2. Korelační analýza

Výsledky korelační analýzy neukázaly souvislost mezi objemovou aktivitou radonu a incidencí nebo mírou úmrtnosti na karcinom plic u mužů a žen. Korelace naopak ukázala nízkou negativní asociaci mezi korelovanými proměnnými, což by znamenalo, že čím vyšší je objemová aktivita radonu, tak tím nižší riziko karcinomu plic u mužů a žen hrozí. Přehledové hodnoty korelační analýzy shrnuje tabulka [Tab. č. 28]. Mezi korelovanými proměnnými se nepodařilo najít statisticky signifikantní vztah.

	<b>Muži</b>	<b>Ženy</b>
<b>Incidence – Pearsonův kor. koeficient</b>	0,024	-0,028
<b>Incidence – Spearmanův kor. koeficient</b>	0,011	-0,022
<b>Stand. míra úmrtnosti – Pearsonův kor. koeficient</b>	-0,117	-0,124
<b>Stand. míra úmrtnosti – Spearmanův kor. koeficient</b>	-0,132	-0,191

[Tab. č. 28]: Vypočítané hodnoty korelační analýzy pro muže a ženy.

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 Spearmanův korelační koeficient, který měl potvrdit nebo vyvrátit výsledky Pearsonova korelačního koeficientu.

Dalším problémem korelačních analýz jsou samotná zdrojová data, která mohou být zatížena různými typem zkreslení (bias), ať už při samotném sběru dat nebo agregaci na vyšší referenční jednotky (okresy, kraje). To je ovšem problém všech ekologických studií zaměřujících se na spojitost mezi radonem a karcinomem plic (UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2008; Puškin, 2003). Výsledky jsou často náchylné ke zkreslení, proto mají tyto studie nižší výpovědní hodnotu.

Výsledky korelace poukazují 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 do souvislosti karcinom plic nejen s radonem, ale i kouřením a azbestem. Problémem prací postavených na

korelacích je ten, že kouření má mnohem větší vliv (až 4krát) na vznik karcinomu plic než právě radon, což neumožní odhalit případnou asociaci.

Přestože se v této práci nepodařilo prokázat přímo závislost korelovaných proměnných, tak u souhrnná studie BIER VI z roku 1999 (ENS, 1999) se podařilo prokázat, že se zvyšující se koncentrací objemové aktivity radonu se zvyšuje riziko úmrtí na karcinom plic. Nutné je ovšem dodat, že jednotlivé studie BIER VI byly značně odlišné.

Podobně inverzní vliv expozice odhalili ve své práci Walsh a kol. (2010). Důvodem bude patrně stejný důvod jako v případě této diplomové práce. Kouření bylo zahrnuto jen částečně. Podobný problém ve své práci zaznamenali Brueske-Hohlfeld a kol. (2006), přestože měli údaje o kouření. Jejich případová studie na kohortách německých horníků odhalila sub-multiplikativní účinek obou expozic (radon a kouření), což znamená, že se riziko obou účinku nenásobilo, ale naopak snižovalo.

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

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

Úskalím praktické části diplomové práce jsou získaná data objemové aktivity radonu, která neříkají nic o tom, zda osoby v jednotlivých domácnostech jsou či nejsou kuřáci, zda jsou aktivními nebo pasivními kuřáky, jak často se v daném prostředí vyskytují, jak dlouho tam žijí atd. U jednotlivých měření vlastně není ani záznam o tom, zda v dané domácnosti jsou stálí obyvatelé po celou dobu měření.

Aby měla podobná studie relevantní výsledky, byla by nutná multidisciplinární spolupráce mezi příslušnými orgány (SÚRO, SZÚ aj.).



### 8. 3. Expertní rozhovor

Expertní rozhovor s dr. Danou Drábovou přinesl jiný (odborný) pohled na problematiku radonu a jeho vlivu na vznik karcinomu plic. Dr. Drábová bere problematiku radonu s jistým nadhledem, zastává názor, že bychom měli radonu věnovat pozornost, ale není důvod se ho přímo obávat.

Sama si je vědoma faktu, že Česká republika má vyšší koncentrace radonu oproti jiným zemím, přesto považuje prevenci v České republice za dostačující, stejně tak si myslí, že veřejné povědomí o radonu je u české populace dostačující.

Podobně jako mnoho studií (viz. kapitola 5. 2. Radon a karcinom plic) týkajících se radonu a karcinomu plic, tak i Dr. Drábová potvrzuje, že hlavní rizikovým faktorem pro vznik karcinomu plic je kouření.

Na dotazy týkající se možných dalších rizik ohledně radonu odpovídá, že tyto informace nejsou vyvráceny nebo potvrzeny, nicméně řada studií se účinky radonu zabývala a došla k zajímavým závěrům souvislosti radonu s leukémií (Řeřicha et al., 2006).

Dle jejích slov je hodnocení zdravotních následků způsobených radonem velmi komplikované a vliv má mnoho faktorů, jak je ostatně uvedeno v podkapitole 8. 2. Korelační analýza. Prokazatelný vliv radonu uvádí pouze v souvislosti s karcinomem plic, dokonce zastává názor, že v počtu úmrtí na karcinom plic nehraje roli pohlaví, ale spíše životní styl.

Dr. Drábová se rozhodně nedrží striktně nějakých stanovisek a je otevřena diskuzi, snaží se nad problematikou radonu přemýšlet více komplexně a v mnoha rovinách, což je u expertního rozhovoru velmi důležité.

## 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 spolu korelují jen velmi málo bez ohledu na pohlaví, dokonce se projevila nízká negativní asociace, avšak statisticky nevýznamná.

Přestože výše zmíněné proměnné spolu nekorelují, má 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 podařilo potvrdit vliv geologického podloží na výskyt vyšších koncentrací radonu.

Pro obyvatel České republiky není radon přímým rizikem, lze se bránit základními opatřeními, která jsou uvedena na stránkách Státního ústavu pro radiační ochranu (<http://www.suro.cz>), kde lze nalézt všechny potřebné informace, jak chránit nejen sebe, ale také svůj domov.

Informace související přímo s opatřeními proti radonu v ČR, poskytuje webový portál <http://www.radonovyprogram.cz>. Na těchto stránkách se mohou lidé dozvědět nejen o radonovém riziku a jeho účincích na zdraví, ale také o možnostech státních příspěvků a dotací.

Obyvatelé České republiky by neměli podléhat panice a mediálním zprávám o katastrofických účincích radonu, jak i v expertním rozhovoru naznačila Dr. Drábová. Radon není hrozba, lze se proti němu poměrně efektivně chránit. Hlavním rizikem pro vznik karcinomu plic je kouření (a to i pasivní) a špatný životní styl, který může vznik rakoviny nejen vyvolat, ale také značně urychlit.

Závěrem bych doporučil všem obyvatelům České republiky, aby se i nadále zajímali o problematiku radonu, chránili své domovy základními opatřeními (ventilace domu, testování kvality vody ve studny atd.), zlepšili svůj životní styl, a tak snížili riziko karcinomu plic v České republice.

## 10] ZDROJE

### 10. 1. Literatura

AJROUCHE, R., IELSCH, G., E CLÉRO, E. et al. (2017): Quantitative Health Risk Assessment of Indoor Radon: A Systematic Review. *Radiation Protection Dosimetry* [online]. 177(1-2), 69-77. Dostupné z: <http://academic.oup.com/rpd/article/177/1-2/69/4161654>.

ARCHER, V. E., COONS, T., SACCOMANNO, G. et al. (2004): Latency and the lung cancer epidemic among United States uranium miners. *Health Physics* [online]. 2004, 87(5), 480-489. Dostupné z: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00004032-200411000-00004>.

AUSTIN, J., BRIMBLECOMBE, P., STURGES, W. T. (2002): *Air pollution science for the 21st century*. Elsevier, Boston.

BARNET, I. (1991): Radon risk mapping of the Czech Republic – results. in *Radon investigations II*. Česká geologická služba, Praha.

BARNET, I. (1992): *Radon v geologickém prostředí*. Česká geologická služba, Praha.

BARNET, I. (1994): Radon risk classification 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*. Český geologický ústav, Praha. 4-15.

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

BAUMOVÁ, V., HAMERSKÝ, M. (2001): *Životní prostředí ve městech ČR: hlavní problémy životního prostředí ve městech: sborník z konference pořádané Regionálním klubem Mladých konzervativců v Brně 22.10.2001*, Bachant, Brno.

BOCHICCHIO, F., MCLAUGHLIN, JP., PIERMATTEL, S. (1995): *Radon in indoor air*. Brussels: European Commission, Dostupné z: [http://www.inive.org/medias/ECA/ECA\\_Report15.pdf](http://www.inive.org/medias/ECA/ECA_Report15.pdf) [cit. 3. 6. 2017].

BØLVIKEN, B., CELIUS, E. G., NILSEN, R. et al. (2003): Radon: A Possible Risk Factor in Multiple Sclerosis. *Neuroepidemiology* [online]. 22(1), 87-94. Dostupné z: <https://www.karger.com/Article/FullText/67102>.

BRUSKE-HOHLFELD, I., SCHAFFRATH, R. A. et al. (2006): Lung cancer risk among former uranium miners of the Wismut company in Germany. *Health Phys.* 90,208–216.

DARBY, S., WHITELY, e., HOWE, G. R. et al. (1995): Radon and Cancers Other Than Lung Cancer in Underground Miners: a Collaborative Analysis of 11 Studies. *JNCI Journal of the National Cancer Institute* [online]. 87(5), 378-384. Dostupné z: <https://academic.oup.com/jnci/article-lookup/doi/10.1093/jnci/87.5.378>.

DARBY, S., HILL, D., AUVINEN, A. et al. (2005): Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* [online]. 330(7485), 223-. Dostupné z: <http://www.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmj.38308.477650.63>.

DARBY, S., HILL, D., AUVINEN, A. 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. *SJWEH* [online]. 32(1) 1-84. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16538937>.

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

DE VAUS, D. A. (2002): *Social surveys*. Sage, London.

DLOUHÁ, B. (2008): Azbest v pracovním prostředí, <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/azbest-v-pracovnim-prostredi> [cit. 1. 6. 2017].

DUBOIS, G. (2005): An overview of radon surveys in Europe, [https://www.researchgate.net/publication/260095238\\_An\\_overview\\_of\\_radon\\_surveys\\_in\\_Europe](https://www.researchgate.net/publication/260095238_An_overview_of_radon_surveys_in_Europe) [cit. 18. 6. 2017].

DUŠEK, L., MUŽÍK, J. KUBÁSEK, M. a kol. (2005): *Epidemiologie zhoubných nádorů v České republice* [online]. Dostupné z: WWW: <http://www.svod.cz/>, [cit. 20. 3. 2018].

EEA – European Environment Agency (2008): Environment and health, Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/themes/human/intro> [cit. 7. 6. 2017].

EEA – European Environment Agency (2013): Indoor air quality, Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2013/articles/indoor-air-quality> [cit. 5. 6. 2017].

ENS - European Nuclear society (1980): The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIR III). The National Academies Press, Washington.

ENS - European Nuclear society (1988): Health Effects of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters (BEIR IV). The National Academies Press, Washington.

ENS - European Nuclear society (1990): Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIR V). The National Academies Press, Washington.

ENS - European Nuclear society (1998): Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Phase 1 (BEIR VII). The National Academies Press, Washington.

ENS - European Nuclear society (1999): The Health Effects of Exposure to Indoor Radon (BEIR VI). The National Academies Press, Washington.

ENS - European Nuclear society (2006): Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Phase 2 (BEIR VII). The National Academies Press, Washington.

EVARD, A-S., HÉMON, D., BILLON, S. et al. (2006): Childhood leukemia incidence and exposure to indoor radon, terrestrial and cosmic gamma radiation. *Health Physics* [online]. 90(6), 569-579. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00004032-200606000-00007>.

GROSCHKE, B., KREUZER, M., KREISHEIMER, M. et al. (2006): Lung cancer risk among German male uranium miners: a cohort study, 1946–1998. *British Journal of Cancer* [online]. 95(9), 1280-1287. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/6603403>.

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*. 6(6), 417. University of Southern California, Los Angeles.

- HAVRÁNEK J. a kolektiv (1990): Hluk a zdraví. Avicenum, Praha.
- HAZELTON, W. D., 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*, 156 (1), 78–94.
- HENDL, J. (2004): Přehled statistických metod zpracování dat. Portál, Praha.
- HENDL, J. (2008): Kvalitativní výzkum. 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 – State of the Art Reviews*. 16. 331-344.
- CHEVILLARD, A., CIAIS, P., KARSTENS, U. et al. (2016): Transport of  $^{222}\text{Rn}$  using the regional model REMO: a detailed comparison with measurements over Europe, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 54:5, 850-871.
- IARC – International Agency for Research on Cancer (1988): Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human. WHO, Lyon.
- KELLER, G., HOFFMANN, B., FEIGENSPAN, T. (2001): Radon permeability and radon exhalation of building materials. *Science of The Total Environment* [online]. 272(1-3), 85-89. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969701006696>.
- KLEIN, O., BENCKO, V. (1996): Ekologie člověka a zdraví. Univerzita Karlova, Praha.
- KLENER, V. (2000): Principy a praxe radiační ochrany. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha.
- KLUFOVÁ, R., POLÁKOVÁ, Z. (2010): Demografické metody a analýzy: demografie české a slovenské populace. Wolters Kluwer, Praha.
- KOMÁREK, L., PROVAZNÍK, K., CIKRT, M. (1997): Radon. Fortuna, Praha.

KREUZER, M., KREISHEIMER, M., KANDEL, M. et al. (2006): Mortality from cardiovascular diseases in the German uranium miners cohort study, 1946–1998. *Radiation and Environmental Biophysics* [online]. 45(3), 159-166. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00411-006-0056-1>.

KREUZER, M., WALSH, L., SCHNELZER, M. et al. (2008): Radon and risk of extrapulmonary cancers: results of the German uranium miners cohort study, 1960–2003. *British Journal of Cancer* [online]. 2008, 99(11), 1946-1953. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/6604776>.

KREUZER, M., GROSCHE, B., SCHNELZER, 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* [online]. 49(2), 177-185. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00411-009-0249-5>.

KREWSKI, D., LUBIN, J., ZIELINSKI, J. M. et al. (2005): Residential Radon and Risk of Lung Cancer. *Epidemiology* [online]. 16(2), 137-145. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00001648-200503000-00001>.

KREWSKI, D., LUBIN, J., ZIELINSKI, J. M. et al. (2006): A Combined Analysis of North American Case-Control Studies of Residential Radon and Lung Cancer. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* [online]. 69(7-8), 533-597. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15287390500260945>.

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. Fragment, Havlíčkův Brod.

LANGHOLZ, B., THOMAS, D., XIANG, A. et al. (1999): Latency analysis in epidemiologic studies of occupational exposures: application to the Colorado Plateau uranium miners cohort. *Am. J. Ind. Med.*, 35: 246-256.

L'ANNUNZIATA, M. F. (2012): Handbook of radioactivity analysis, Academic Press, San Diego.

LAURIER, D., VALENTY, M., TIRMARCHE, M. (2001): Radon exposure and the risk of leukemia: a review of epidemiological studies. *Health Phys.* 81:272–288.

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*. 89(1):49-57.

LUBIN, J. H., WANG, Z. Y., BOICE, J. D. et al. (2004). Risk of lung cancer and residential radon in China: Pooled results of two studies. *International Journal of Cancer* [online]. 109(1), 132-137. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ijc.11683>.

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. *New England Journal of Medicine* [online]. 350(21), 2129-2139. Dostupné z: <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJMoa040938>.

MÄKELÄINEN, I., ARVELA, H., VOUTILAINEN, A. (2001): Correlations between radon concentration and indoor gamma dose rate, soil permeability and dwelling substructure and ventilation. *Science of The Total Environment* [online]. 272(1-3), 283-289. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969701007057>.

MÁNOVÁ, M., MATOLÍN, M. (1995): Radiometrická mapa ČR 1:500 000. Dostupné z: [http://www.geology.cz/demo/cd\\_geocr500/stranky/p\\_radiometricka.html](http://www.geology.cz/demo/cd_geocr500/stranky/p_radiometricka.html) [cit. 7. 6. 2017].

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*. 64, 289–294.

MARTINS, S. J., PEREIRA, J. R. (1999): Clinical Factors and Prognosis in Non-Small Cell Lung Cancer, *America Journal of Clinical Oncology*, 22 5, 453.

MATOLÍN, M. (2015): Stanovení radonového indexu pozemků – učební texty pro absolventy kurzu, Karlova Univerzita, Praha.

MATOLÍN, M., PROKOP, P. (1992): Variation of radon volume activity in soil air in a year climatic cycle. In: *Radon investigations in Czechoslovakia III*. Česká geologická služba, Praha.

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



MÖHNER, M., LINDTNER, M., OTTEN, H. et al. (2006): Leukemia and exposure to ionizing radiation among German uranium miners. *American Journal of Industrial Medicine* [online]. 49(4), 238-248. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ajim.20289>.

MÖHNER, M., LINDTNER, M., OTTEN, H. (2008): Ionizing radiation and risk of laryngeal cancer among german uranium miners. *Health Physics* [online]. 95(6), 725-733. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00004032-200812000-00008>.

MURRAY, R. K. (2002): *Harperova Biochemie*. H & H. Jinočany.

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

NRC – National Research Council (1988): *Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters*. The National Academies Press, Washington, DC.

NUTBEAM, D. (1998): *Health promotion glossary*. Oxford University, Great Britain. Dostupné z: <http://www.ais.up.ac.za/med/scm870/nutbeam.PDF> [cit. 26. 5. 2017].

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

PFISTER, D. G., JOHNSON, H. D., AZZOLI, CH. G. et al. (2004): American Society of Clinical Oncology Treatment of Unresectable Non–Small-Cell Lung Cancer Guideline: Update 2003. *Journal of Clinical Oncology* [online]. 22(2), 330-353. Dostupné z: <http://ascopubs.org/doi/10.1200/JCO.2004.09.053>.

PUSKIN, J. S. (2003): Smoking as a confounder in ecologic correlations of cancer mortality rates with average county radon levels. *Health Physics*: 84(4), 526-532.

RAASCHOU-NIELSEN, O., ANDERSEN, C., E., ANDERSEN, H. P. et al. (2008): Domestic Radon and Childhood Cancer in Denmark. *Epidemiology* 19(4), 536-43.

ŘEŘIČHA, V., KULICH, M., ŘEŘIČHA, R., et al. (2006): Incidence of Leukemia, Lymphoma, and Multiple Myeloma in Czech Uranium Miners: A Case–Cohort Study. *Environmental Health Perspectives* [online]. 114(6), 818-822. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1480508/>.

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

SKŘIČKOVÁ, J. (2013): Nádory plic a průdušek: jak léčit nádory plic a průdušek? <https://www.linkos.cz/files/brozury/Nadory-plic-2017.pdf> [cit. 27. 5. 2017].

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 Phys.* 77(3): 265–275.

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost (2018): Opatření proti radonu ve stávajících budovách, <https://www.suro.cz/cz/publikace/radonova-problematika/kniha300.pdf> [cit. 7. 6. 2017].

SÚRO – Státní úřad radiační ochrany (2001): Periodikum RADON bulletin [online] – červen 2001. SÚRO, Praha: Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/publikace/radonova-problematika/radon6-2001.pdf> [cit. 3. 6. 2017].

SÚRO – Státní úřad radiační ochrany (2002): Periodikum RADON bulletin [online] – červen 2002. SÚRO, Praha: Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/publikace/radonova-problematika/radon6-2002.pdf> [cit. 2. 6. 2017].

SÚRO – Státní úřad radiační ochrany (2004): Periodikum RADON bulletin [online] – listopad 2004. SÚRO, Praha: Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/publikace/radonova-problematika/radon11-2004.pdf> [cit. 4. 6. 2017].

SÚRO – Státní úřad radiační ochrany (2004): Periodikum RADON bulletin [online] – prosinec 2014. SÚRO, Praha: Dostupné z: [https://www.suro.cz/cz/publikace/radonova-problematika/Radon\\_2014.pdf](https://www.suro.cz/cz/publikace/radonova-problematika/Radon_2014.pdf) [cit. 4. 6. 2017].

SÚRO – Státní úřad radiační ochrany (2017): Periodikum RADON bulletin [online] – prosinec 2017. SÚRO, Praha: Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/publikace/radonova-problematika/Radon2017web.pdf> [cit. 1. 6. 2017].

SÚRO – Státní ústav radiační ochrany (2017): Radon včera a dnes, Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/historie-radonove-problematiky/radon-vcera-a-dnes> [cit. 25. 5. 2017].

SZÚ – Státní zdravotní ústav (2014): Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí. Souhrnná zpráva za rok 2013, [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/souhrnna\\_zprava/Szu\\_14\\_CD.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/souhrnna_zprava/Szu_14_CD.pdf) [cit. 6. 6. 2017].

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.

Tomasek L, Darby, S. C., Swerdlow, A. J., Placek, V., et al (1993): Radon exposure and cancers other than lung cancer among uranium miners in West Bohemia. *Lancet*. 341,919–923.

Tomasek, L., Rogel, A., Tirmarche, M., 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. *Radiat Res*. 169:125–137.

UNEP – United Nations Environment Programme (2016): Radiation: effects and sources, [http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/-Radiation\\_Effects\\_and\\_sources-2016Radiation\\_-\\_Effects\\_and\\_Sources.pdg.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/-Radiation_Effects_and_sources-2016Radiation_-_Effects_and_Sources.pdg.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [cit. 2. 6. 2017].

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1988): Report to the General Assembly, with annexes: Sources, effects and risks of ionizing radiation, [http://www.unscear.org/docs/publications/1988/UNSCEAR\\_1988\\_Report.pdf](http://www.unscear.org/docs/publications/1988/UNSCEAR_1988_Report.pdf) [cit. 25. 5. 2017].

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1993): Sources and effects of ionizing radiation, [http://www.unscear.org/docs/publications/1993/UNSCEAR\\_1993\\_Report.pdf](http://www.unscear.org/docs/publications/1993/UNSCEAR_1993_Report.pdf) [cit. 1. 6. 2017].

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000): Sources and effects of ionizing radiation, [http://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR\\_2000\\_Report\\_Vol.I.pdf](http://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Report_Vol.I.pdf) [cit. 26. 5. 2017].

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, [http://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR\\_2008\\_Report\\_Vol.I.pdf](http://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I.pdf) [cit. 26. 5. 2017].

VILLENEUVE, P. J., LANE, R. S. D., MORRISON, H. I. (2007): Coronary heart disease mortality and radon exposure in the Newfoundland fluorspar miners' cohort, 1950–2001. *Radiation and Environmental Biophysics*. 46(3), 291-296.

VILLENEUVE, P. J., MORRISON, H. I. (1997): Coronary heart: Disease mortality among Newfoundland fluorspar miners. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 23. 221-6.

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*. 173, 79-90.

WHO – World Health Organization (2009): *Handbook on indoor radon: a public health perspective*,  
[http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673\\_eng.pdf;jsessionid=AE21068F18D919FFEB06CB42C88CC1EC?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673_eng.pdf;jsessionid=AE21068F18D919FFEB06CB42C88CC1EC?sequence=1) [cit. 7. 6. 2017].

WHO – World Health Organization (2010c): *guidelines for indoor air quality: selected pollutants*,  
[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf) [cit. 7. 6. 2017].

WILKINSON, R. G., MARMOT, M. G. (2005): *Fakta & souvislosti: sociální determinanty zdraví*. Institut zdravotní politiky a ekonomiky, Kostelec nad Černými lesy.

YOON, J. Y. et al. (2016): Indoor radon exposure and lung cancer: a review of ecological studies. *Annals of Occupational and Environmental Medicine* [online]. 2016, 28(1). Dostupné z: <http://aoemj.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40557-016-0098-z>.

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

## 10. 2. Elektronické zdroje

### Citace zdrojů dat:

ČSÚ (2016): Demografická ročenka okresů - 2006 až 2015. Český statistický úřad, Praha [www.czso.cz](http://www.czso.cz) [cit. 19. 3. 2018].

ČSÚ (2016): Věkové složení obyvatelstva 2011–2015. Český statistický úřad, Praha [www.czso.cz](http://www.czso.cz) [cit. 19. 3. 2018].

ÚZIS (2016): Incidence – zhoubné novotvary průdušnice, průdušek a plic (C33–C34) 2015. Regionální zpravodajství Národního zdravotnického informačního systému, Praha <http://reporting.uzis.cz/cr/index.php> [cit. 21. 3. 2018].

### Citace zdrojů map:

ARCDATA PRAHA, ZÚ, ČSÚ (2016): ArcČR 500 - digitální geografická databáze, verze 3.3. [www.arcdata.cz](http://www.arcdata.cz) [cit. 25. 3. 2018].

## 10. 3. Webové stránky

<http://www.alfa-radon.com>

<https://www.czso.cz>

<http://www.demografie.info>

<https://www.eea.europa.eu>

<http://www.europeanlung.org/>

<https://www.euronuclear.org>

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

<https://www.geology.cz>

<http://www.iaea.org>

<https://www.radonovyprogram.cz>

<http://www.radonabydleni.cz>

<https://www.sujb.cz>

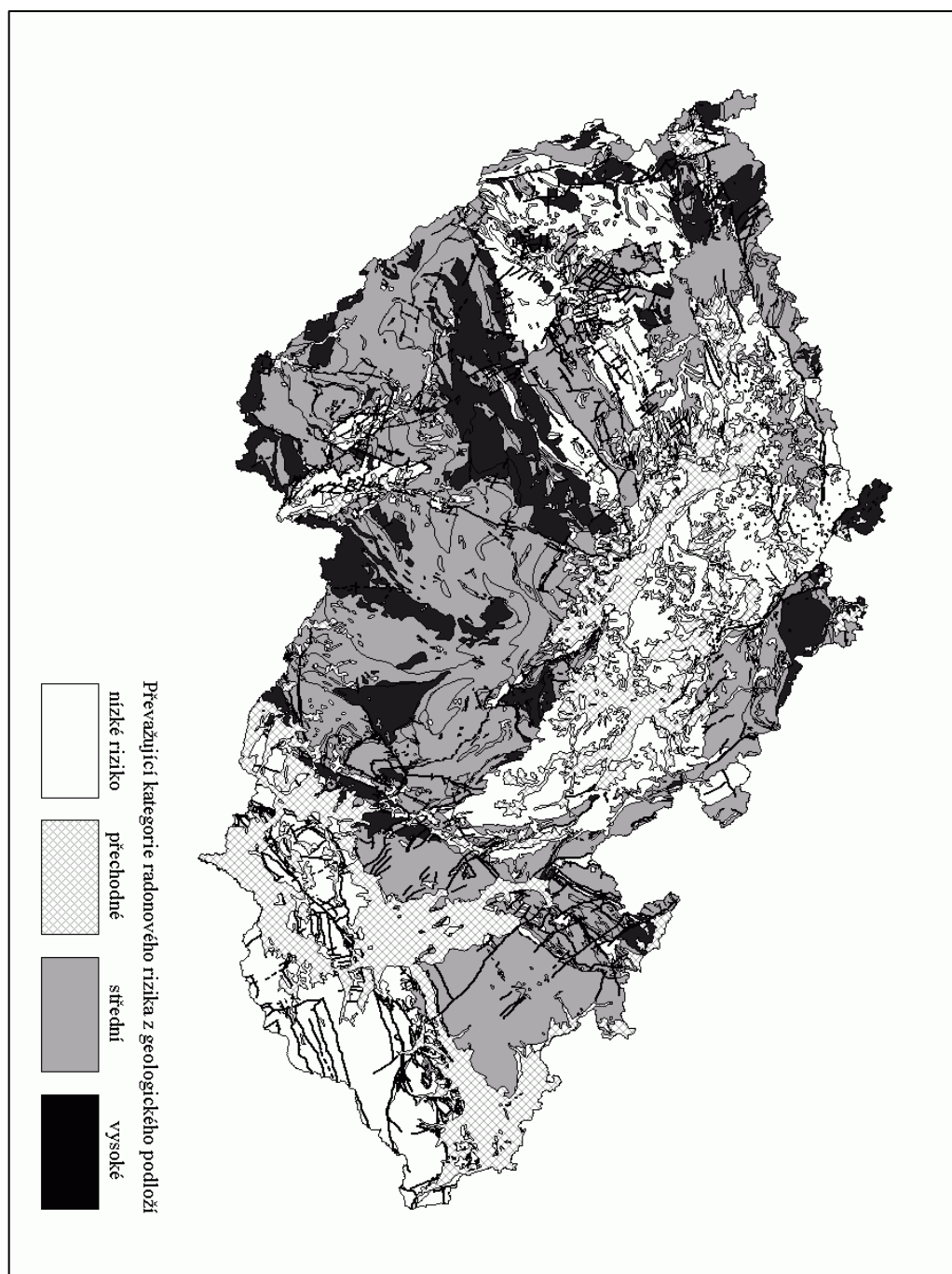
<http://www.unscear.org>

<https://www.suro.cz>

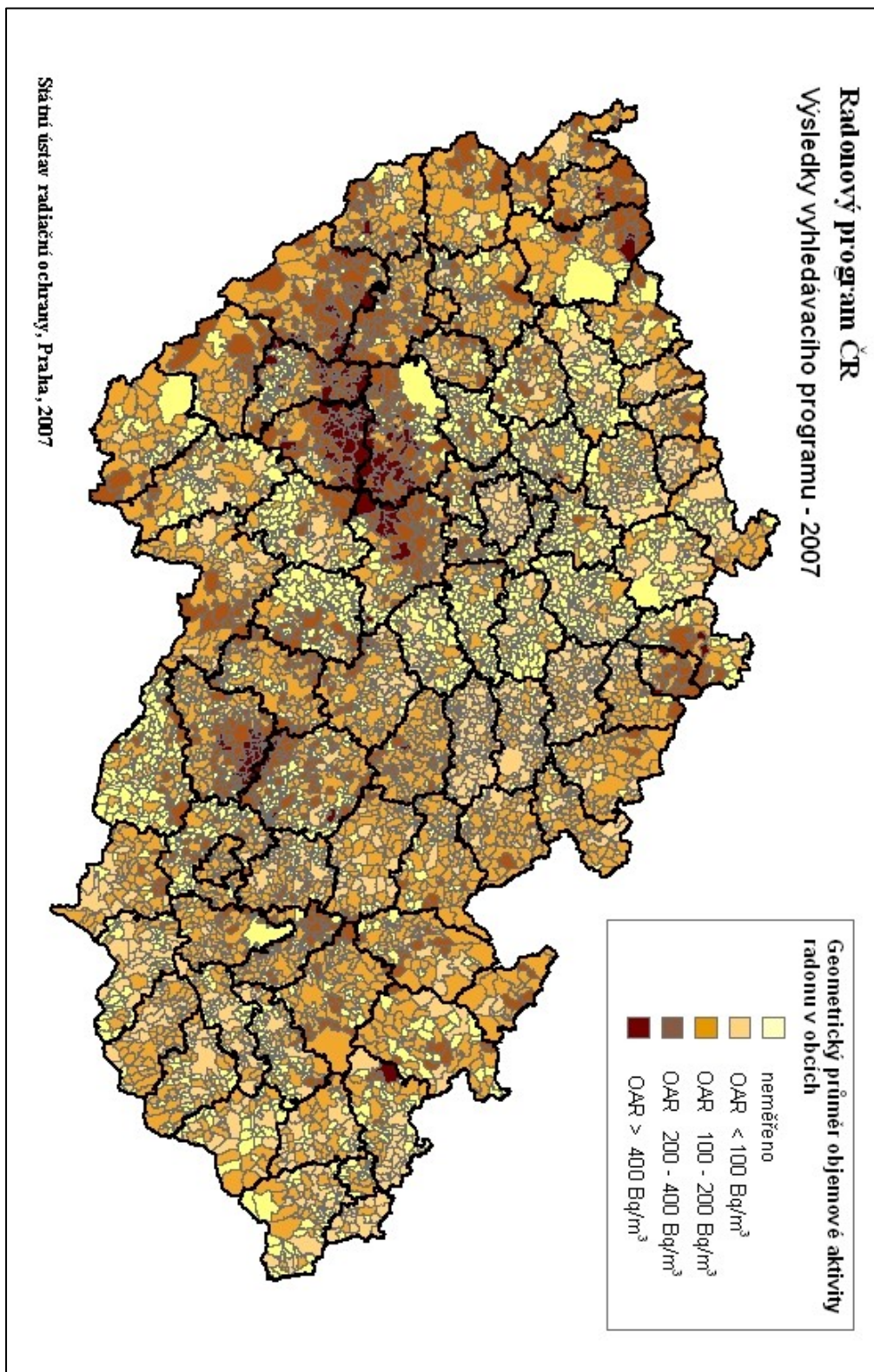
<http://www.who.int>

<http://reporting.uzis.cz>

## 11] PŘÍLOHY



[Př. 1]: Mapa – Převažující kategorie radonového indexu z geologického podloží, (Zdroj: SÚRO, 2007).



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