



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

**Komparace mapy radonového indexu ČR a nově určených oblastí
s možným zvýšeným ozářením z radonu podle vyhlášky č. 422/2016 Sb.**

**Comparison of Czech Radon Index Map and Newly Identified Areas
That May Be Subject To Increased Exposure to Radon According to the
Decree No. 422/2016 Coll.**

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva

Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Vedoucí práce: doc. Ing. František Podzimek, CSc.

Bc. Kristýna Stočesová



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Stočesová** Jméno: **Kristýna** Osobní číslo: **434005**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Komparace mapy radonového indexu ČR a nově určených oblastí s možným zvýšeným ozářením z radonu podle vyhlášky č. 422/2016 Sb.

Název diplomové práce anglicky:

Comparison of Czech Radon Index Map and Newly Identified Areas That May Be Subject To Increased Exposure to Radon According to the Decree No. 422/2016 Coll.

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude zhodnocení souladu údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR s přehledem oblastí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Teoretická část bude zaměřena na radon, jeho zdravotní účinky a stručnou historii řešení radonové problematiky v českých právních předpisech. Budou zde uvedeny hlavní principy ochrany před ozářením z radonu uvedené v zákoně č. 263/2016 Sb., atomový zákon. V praktické části bude provedena analýza údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR a jejich komparace s přehledem obcí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., kde by mělo hrozit zvýšené ozářením z radonu. Pokud bude komparací zjištěn nesoulad mezi porovnávanými údaji, budou v diskuzi uvedeny návrhy na úpravu metodiky pro výběr oblastí s možným zvýšeným ozářením z radonu.

Seznam doporučené literatury:

- [1] PODZIMEK, František, Radiologická fyzika: Fyzika ionizujícího záření, ed. 1., Praha: ČVUT Praha, 2017, ISBN 978-80-01-05319-5
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ, Principy a praxe radiační ochrany, ed. 1., Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000, ISBN 80-238-3703-6
- [3] WHO, WHO Handbook on Indoor Radon, ed. 1., Geneva: World Health Organization, 2009, ISBN 978-92-4-154767-3

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. František Podzimek, CSc.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **29.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2020**

prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr.h.c.
podpis vedoucí(ho) katedry

prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student(ka) bere na vědomí, že je povinnen(a) vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

1.8.2019

.....
Datum převzetí zadání

Gločková

.....
Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Komparace mapy radonového indexu ČR a nově určených oblastí s možným zvýšeným ozářením z radonu podle vyhlášky č. 422/2016 Sb. vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

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

V Praze dne 9. 8. 2019

.....
Kristýna Stočesová

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucím své práce paní RNDr. Haně Kubátové, Ph.D. a panu doc. Ing. Františkovi Podzimkovi, CSc. za jejich čas, cenné rady, a především za neocenitelnou ochotu a trpělivost při vedení diplomové práce. Dále Jakobovi Skořepovi za odborné konzultace a pomoc při zpracování dat na základě algoritmu. A v neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a nejbližším za morální podporu.

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je zhodnocení souladu údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR s přehledem oblastí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Teoretická část je zaměřena na radon, jeho zdravotní účinky, stručnou historii řešení radonové problematiky v českých právních předpisech a problematiku navazující na řešené téma.

V praktické části je provedena analýza údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR a jejich komparace s přehledem obcí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., kde by mělo hrozit zvýšené ozáření z radonu. Provedenou komparací byl zjištěn nesoulad ve dvou ze tří řešených krajů (Ústeckém a Středočeském). Na základě těchto výsledků je navrženo provedení prostorové analýzy a doplnění těchto oblastí do přílohy č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Klíčová slova

Radon; komparace; převažující radonový index; mapa radonového indexu; Ústecký kraj; Středočeský kraj; Praha.

Abstract

The subject of the thesis is to evaluate the compliance of the data given in the map of the radon index of the Czech Republic with an overview of the areas listed in Annex 25 to Decree No. 422/2016 Coll., On Radiation Protection and Radionuclide Source Security.

The theoretical part titled is focused on radon, its health effects, a brief history of solving radon issue in Czech legal regulations and issues related to the solved subject.

In the practical part there is an analysis of the data given in the map of the radon index of the Czech Republic and their comparison with the overview of the municipalities listed in Annex 25 to Decree No. 422/2016 Coll., where there should be an increased radiation exposure from radon. The comparison made a discrepancy in two of the three solved regions (Ústecký and Středočeský). Based on these results, it is proposed to carry out a spatial analysis and to supplement these areas in Annex 25 to Decree No. 422/2016 Coll.

Keywords

Radon; Comparison; the predominant radon index; radon index map; Ústecký Region; Středočeský Region; Prague.

Obsah

1	Úvod	9
2	Současný stav	10
2.1	Radonová problematika	10
2.1.1	Vlastnosti radonu	10
2.1.2	Radon – přírodní radionuklid a ZIZ	14
2.1.3	Zdroje radonu v budovách.....	18
2.1.4	Transport radonu v budově	21
2.1.5	Měření radonu v budovách	22
2.1.6	Biologické účinky radonu.....	28
2.1.7	Historie řešení radonové problematiky	33
2.2	Radonový program v ČR	35
2.2.1	Zpráva o plnění úkolů Radonového programu České republiky za léta 2000–2004	38
2.2.2	Závěrečná zpráva o plnění úkolů Radonového programu České republiky za období 2000–2009.....	39
2.2.3	Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán	42
2.3	Řešení radonové problematiky v současné legislativě	43
2.3.1	Zákon č. 263/2016 Sb., Atomový zákon ve vztahu k radonu	46
2.3.2	Vyhláška č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje ve vztahu k radonu	47
2.3.3	Metodika zařazení obcí do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje	51
2.3.4	RIA – radonový index obce	52
2.4	Mapa radonového indexu ČR	55
2.4.1	Obsah radonu v podloží dle typu hornin	58
2.4.2	Radonový index pozemku	60
2.4.3	Radonový index stavby	61
2.4.4	Srovnání radonu v podloží a v objektech.....	61
3	Cíl práce	65
3.1	Cíl práce	65
3.2	Stanovené hypotézy	65
4	Metodika	66
4.1	Použitá metodika analýzy údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR	66

4.2	Komparace údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR s přehledem obcí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.....	70
5	Výsledky	72
5.1	Středočeský kraj	72
5.1.1	Okres Benešov.....	73
5.1.2	Okres Příbram.....	75
5.1.3	Okres Rakovník.....	77
5.1.4	Okres Praha-západ	78
5.1.5	Okres Praha-východ	79
5.1.6	Okres Beroun.....	81
5.1.7	Okres Kolín	82
5.1.8	Okres Kladno	82
5.1.9	Okres Mělník	83
5.1.10	Okres Kutná Hora.....	83
5.1.11	Okres Nymburk.....	83
5.1.12	Okres Mladá Boleslav	84
5.2	Ústecký kraj.....	84
5.2.1	Okres Chomutov.....	85
5.2.2	Okres Most	86
5.2.3	Okres Teplice	86
5.2.4	Okres Děčín	87
5.2.5	Okres Litoměřice	87
5.2.6	Okres Ústí nad Labem	88
5.2.7	Okres Louny.....	88
5.3	Praha.....	88
5.4	Vyhodnocení hypotéz.....	92
6	Diskuze	93
7	Závěr	99
	Seznam použitých zkratk	100
	Bibliografie.....	102
	Seznam obrázků	108
	Seznam tabulek	109
	Seznam Příloh.....	110

1 ÚVOD

Radon nevidíme, necítíme a většina lidí ani neví, že je všude kolem nás a má vliv na naše životy. Mnohdy se bojí ozáření z lékařských zdrojů, ale radiační zátěž ze zdrojů přírodních, kam řadíme právě i radon, je mnohonásobně větší. Přitom samotná příprava na řešení radonové problematiky se v České republice zahájila až v roce 1978.

Vzhledem k vystudovanému bakalářskému oboru radiologického asistenta je mi problematika ionizujícího záření, jeho účinků a vlivu na lidský organizmus poměrně blízká a patří do oblasti mého zájmu. V roce 2017 vešel v platnost nový Atomový zákon č. 263/2016 Sb. (dále jen zákon 263/2016 Sb.) a vyhláška č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (dále jen vyhláška č. 422/2016 Sb.), kde byly nově stanoveny oblasti s možným zvýšeným ozářením z radonu. Na základě této skutečnosti jsem se rozhodla, že by mohlo být zajímavé a zároveň přínosné zhodnotit soulad vytyčených oblastí s možným zvýšeným ozářením z radonu s údaji uvedenými v mapě radonového indexu na území České republiky, a právě proto jsem si zvolila diplomovou práci na toto téma.

Zhodnocení zmíněných údajů je součástí praktické části diplomové práce. Práce zároveň obsahuje kapitolu s názvem Současný stav, kde se zabývám nejen legislativním ukotvením dané problematiky, ale také historií řešení, hlavními principy ochrany před ionizujícím zářením, jeho účinky na zdraví a stručnými fyzikálními základy, které se vztahují k problematice týkající se radonu a jsou pro poskytnutí komplexní informace pro účely této práce nezbytné.

Zjistím-li nesoulad při komparaci vybraných oblastí a mapy radonového indexu, budou v diskuzi navržena možná řešení, jak upravit metodiku výběru, aby bylo stanovení rizikových oblastí přesnější.

2 SOUČASNÝ STAV

2.1 Radonová problematika

V periodické soustavě prvků se radon nachází v 6. periodě a 18. skupině jako jeden ze vzácných plynů pod značkou Rn. Radon je přirozeně se vyskytující prvek, který patří do skupiny vzácných plynů, má několik známých izotopů, ale žádný z nich není stabilní. Řadíme ho mezi přírodní radionuklidy a je zdrojem ionizujícího záření (ZIZ). Jádra jeho izotopů jsou nestabilní a díky tomu se v průběhu času rozpadají na nové stabilnější prvky, při tomto procesu, který nazýváme radioaktivní přeměna, vzniká současně ionizující záření. Mají vlastnosti chemicky netečných plynů stejně jako například krypton nebo helium. Jejich chování se vyznačuje snadnou difúzí a rozpustností v tekutinách. (WHO, 2009 stránky 3-14) (Wade, 2009 stránky 5-20) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 499-509)

V atmosférickém vzduchu jsou zastoupeny ve velmi malé míře, hlavním zdrojem jsou horniny. Vyskytují se především ve formě plynu, vycházejícího ze zemského podloží skrze skály a půdy, mají tendenci se koncentrovat v uzavřených prostorech. V podobě půdního plynu jsou považovány za jeden z nejpodstatnějších zdrojů radonu v objektech. Radon obecně je také hlavním elementem podílejícím se na celkovém ozáření populace. (Martin, a další, 2012 stránky 6-24) (WHO, 2009 stránky 3-14)

2.1.1 Vlastnosti radonu

Na povrchu naší Země nebo v jejím nitru se vyskytují tzv. primordiální radionuklidy, ty mají extrémně dlouhý poločas přeměny a patří mezi ně například izotop ^{235}U , ^{238}U nebo ^{232}Th . Jejich přeměnou vznikají tzv. dceřiné radionuklidy, jako je například ^{226}Ra (z ^{238}U) a následně ^{222}Rn (z ^{226}Ra). Zmíněné primordiální radionuklidy jsou rovněž počátečními izotopy tří základních rozpadových řad (každá

dý pro jednu rozpadovou řadu), ze kterých následně vznikají další produkty přeměny, a které se na Zemi přirozeně vyskytují. Patří mezi ně uran-radiová rozpadová řada, uran-aktiniová rozpadová řada a Thoriová rozpadová řada. Čtvrtá známá řada (Neptuniová) se již v přírodě nevyskytuje, obsahuje izotopy s krátkým poločasem přeměny. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 499-509)

Právě ze zmíněných tří základních rozpadových řad může pocházet radon (Rn), který má 39 známých radioaktivních nestabilních izotopů s nukleovými čísly 193-231. (OSN, 2016 stránky 28-31)

Izotop	Poločas přeměny	Přeměna
²³⁵ U	7,04×10 ⁸ r	α
²³¹ Th	25,52 h	β ⁻
²³¹ Pa	3,276×10 ⁴ r	α
²²⁷ Ac	21,772 r	β ⁻
²²⁷ Th	18,68 d	α (1,38 %)
²²³ Fr	22,00 min	β ⁻
²²³ Ra	11,43 d	α
²¹⁹ Rn	3,96 s	α
²¹⁵ Po	1,781×10 ⁻³ s	α
²¹¹ Pb	36,1 min	β ⁻
²¹¹ Bi	2,14 min	β ⁻
²¹¹ Po	0,516 s	α (99,72 %)
²⁰⁷ Tl	4,77 min	β ⁻
²⁰⁷ Pb	<i>stabilní</i>	

Obrázek 1 Uran-aktiniová rozpadová řada (Masarykova univerzita, 2019 str. 2)

Izotop	Poločas přeměny	Přeměna
²³⁸ U	4,468×10 ⁹ r	α
²³⁴ Th	24,10 d	β ⁻
^{234m} Pa	1,17 min	β ⁻
²³⁴ U	2,455×10 ⁵ r	α
²³⁰ Th	7,538×10 ⁴ r	α
²²⁶ Ra	1600 r	α
²²² Rn	3,8235 d	α
²¹⁸ Po	3,10 min	α
²¹⁴ Pb	26,8 min	β ⁻
²¹⁴ Bi	19,9 min	β ⁻
²¹⁴ Po	164,3×10 ⁻⁶ s	α (0,02 %)
²¹⁰ Tl	1,30 min	β ⁻
²¹⁰ Pb	22,20 r	β ⁻
²¹⁰ Bi	5,012 d	β ⁻
²¹⁰ Po	138,376 d	α
²⁰⁶ Pb	<i>stabilní</i>	

Obrázek 2 Uran-radiová rozpadová řada (Masarykova univerzita, 2019 str. 1)

Izotop	Poločas přeměny	Přeměna
^{232}Th	$1,405 \times 10^{10}$ r	α
^{228}Ra	5,75 r	β^-
^{228}Ac	6,15 h	β^-
^{228}Th	1,9116 r	α
^{224}Ra	3,66 d	α
^{220}Rn	55,6 s	α
^{216}Po	0,145 s	α
^{212}Pb	10,64 h	β^-
^{212}Bi	60,55 min	β^-
^{212}Po	$0,299 \times 10^{-6}$ s	α
^{208}Tl	3,053 min	β^-
^{208}Pb	<i>stabilní</i>	

Obrázek 3 Thoriová rozpadová řada (Masarykova univerzita, 2019 str. 1)

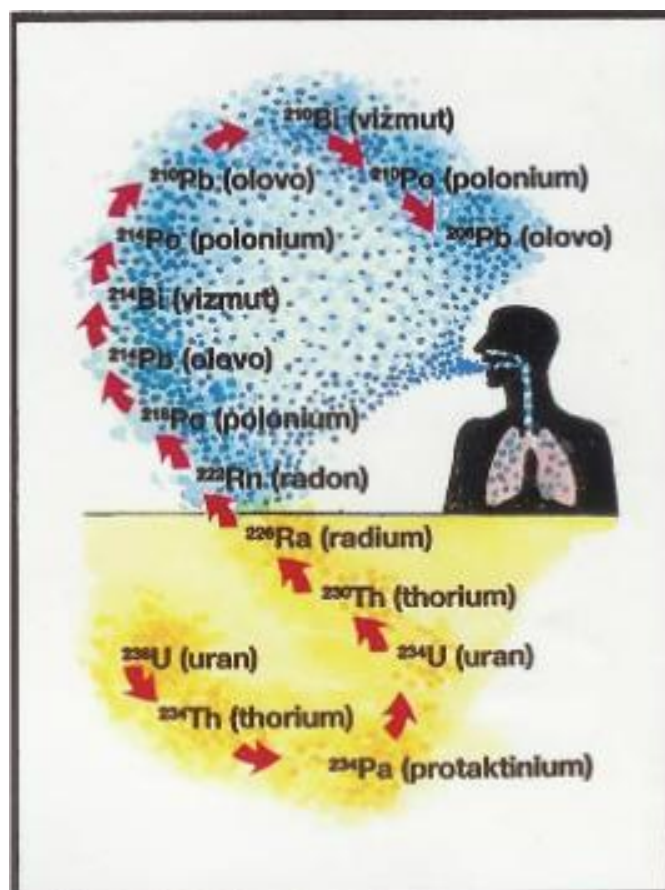
Nejstabilnější izotopy jsou ^{222}Rn (poločas přeměny 3,82 dne), ^{211}Rn (14,6 hodin), ^{210}Rn (2,4 h), ^{224}Rn (107 minut) a ^{209}Rn (28,8 min). Všechny ostatní izotopy mají poločasy kratší než 26 minut, většina pod 1 minutu, jak je viditelné z obrázků výše. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 499-509) (Masarykova univerzita, 2019 stránky 1-3)

Především z tohoto důvodu je z hlediska radonové problematiky nejvýznamnější izotop ^{222}Rn . Tento izotop se vyskytuje ve formě radioaktivního plynu bez barvy a zápachu, pochází z uran-radiové rozpadové řady, vzniká rozpadem z radia – ^{226}Ra a oba tyto prvky jsou produktem postupné přeměny z izotopu uranu – ^{238}U , jeho zásoby jsou z pohledu historie celého lidstva konstantní. (Klener Vladislav a kol., 2000) (Masarykova univerzita, 2019 stránky 1-3)

Při spontánní radioaktivní přeměně ^{226}Ra na ^{222}Rn jsou emitovány částice alfa a vzniká tak druh ionizujícího záření – záření α . Záření alfa má silné ionizační

účinky, přičemž částice záření α mají krátký dolet ve vzduchu. V praxi to znamená, že ve vzduchu tato pronikavost dosahuje pouze několik centimetrů a záření lze odstínit pouze listem papíru. Ovšem dojde-li k vnitřnímu působení záření na organismus může to mít negativní účinek na zdraví. Další vlastností, která charakterizuje izotop ^{222}Rn je poločas rozpadu, tedy doba, za kterou se přemění polovina nerozpadlých jader prvku z celkového počtu. U ^{222}Ra je tato doba stanovena na 3,82 dne pak vznikají tzv. krátkodobé přeměnné dceřiné produkty především: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po . Izotopy, které zaujímají své místo po rozpadu radonu a mají krátký poločas rozpadu jsou taktéž významné z hlediska ozáření lidského organismu. Jedná se o těžké prvky, které jsou ve velké míře jsou zachyceny na povrchu aerosolových částic ve vzduchu, dále se s nimi pohybují, jsou vdechovány a následně mají negativní vliv na organismus. (Turner, 2007 stránky 83-102) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 499-509) (Kubinyi, a další, 2018 stránky 25-35)

Obrázek 4 vložený níže znázorňuje migraci prvků uran-radiové rozpadové řady (mezi kterými je i izotop ^{222}Rn a jeho dceřiné produkty) ze zemského podloží směrem na povrch a jejich následnou inhalaci člověkem. Na základě výše uvedených údajů a jejich významnosti bude **ve zbytku práce bude termín radon užíván se smyslu izotopu ^{222}Rn** , protože především tento izotop je nejvýznamnější pro danou problematiku. (Matoušek, a další, 2007) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 499-509) (Ullmann, 2019) (Podzimek, 2013 stránky 145-150)



Obrázek 4 Znárodnění inhalace radonu a jeho produktů (VŠB-TUO, 2013 str. 5)

2.1.2 Radon – přírodní radionuklid a ZIZ

Radon, jakožto prvek přírodního původu řadíme mezi přírodní radionuklidy. Přírodním ZIZ (zdroje ionizujícího záření) jsou pak právě přírodní radionuklidy a dále také kosmické záření a kosmogenní radionuklidy. (Podzimek, 2013 stránky 145-150) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 499-509) (Burian, a další, 2010 stránky 344-348)

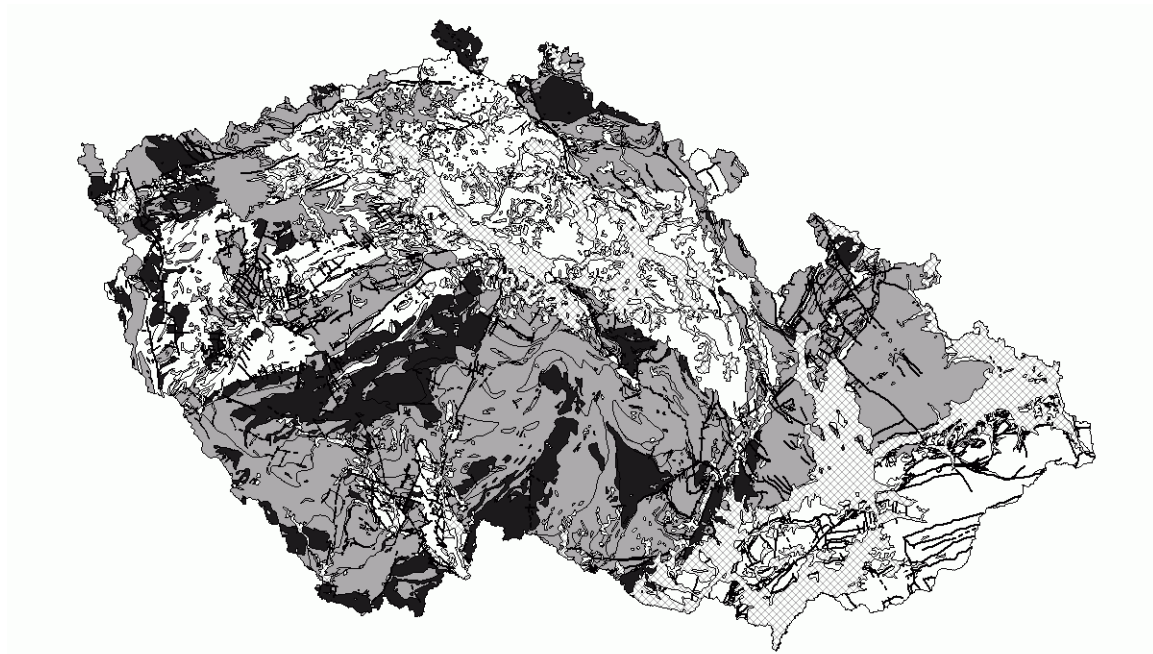
S ionizujícím zářením, které pochází z umělých zdrojů se člověk setkává ve většině případů cíleně. Oproti tomu přírodní ZIZ, do kterých řadíme i radon, jsou každodenní součástí života celosvětové populace a nelze se jim nikterak vyhnout. I přes tuto skutečnost jsou přírodní ZIZ širokou veřejností často opomíjeny a hlavní pozornost populace se zaměřuje především na ty umělé. Jedná se o určitý paradox, protože jsou to právě přírodní zdroje, které způsobují největší radiační

zátěž. Jak dokazuje následující obrázek 5. (Podzimek, 2013 stránky 145-150) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 499-509) (Ullmann, 2019)



Obrázek 5 Poměr radiční zátěže z umělých a přírodních zdrojů IZ (OSN, 2016 str. 27)

Ozáření z přírodních zdrojů je nerovnoměrné. Některé oblasti na Zemi mohou mít radiční zátěž až o dva řády převyšující světový průměr, jinde jsou hodnoty podprůměrné, na některých místech jsou dávky, které mohou obdržet tamní obyvatelé dokonce na hranici vzniku deterministických účinků. Stejně tomu tak je v případě výskytu radonu na území České republiky. Na níže uvedené radonové mapě (obr. 6) si můžeme všimnout, že výskyt není homogenní. Černobílá škála značí, jak je geologické podloží bohaté na radon – čím tmavší barva, tím obohacenější půda radonem. (Podzimek, 2013 stránky 145-150) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 499-509) (Ullmann, 2019)



Obrázek 6 Mapa radonového indexu (SÚRO, v.v.i., 2019a)

Přírodní radionuklidy můžeme rozdělit podle jejich původu na:

- primordiální (primární) radionuklidy – původní radionuklidy jejichž vznik byl zahájen už v raných stádiích vzniku vesmíru, původní počet těchto prvků byl mnohem vyšší, než jaký známe dnes, ale díky kratšímu poločasu přeměny je již nelze detekovat a pravděpodobně jsou již některé zcela vymřelé, dochovaly se pouze ty, které mají dostatečně dlouhý poločas přeměny, jako je například ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Rb apod.,
- sekundární radionuklidy – tyto radionuklidy vznikaly z těch původních, které tvořily rozpadové řady, těmi nejznámějšími, se kterými se zároveň můžeme dnes setkat v přírodě, je uran-radiová řada vznikající z ^{238}U (právě z této rozpadové řady pochází radon) a thoriová ^{232}Th . (Podzimek, 2013 stránky 145-150) (JIRANEK, 2011 stránky 30-32) (OSN, 2016 stránky 27-32)

Skupině primárních a sekundárních radionuklidů říkáme terestriální, protože jsou obsaženy v zemské kůře naší planety. Právě ozáření z těchto radionuklidů je nejvýznamnější, mohou působit jak vnitřní kontaminaci, tak vnější ozáření. (Podzimek, 2013 stránky 145-150) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 499-509)

Výskyt radonu v geologickém podloží

Největší podíl radonu bývá v horninách a obdobné koncentrace můžeme také nalézt v půdách, které se nad těmito horninami nachází. Rozdíl v druhu podloží je v tom, že v různých typech hornin jsou odlišné koncentrace radonu, u půdy můžeme očekávat jistou nestabilitu, a tím může dojít k narušení rovnováhy produktů přeměnné řady. Radon se z podloží může uvolňovat do podzemních vod, ovzduší, do potravin pěstovaných nejen v zemědělství, ale také na soukromých zahradách a ovlivňuje též stavebnictví a stavební materiál. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542) (OSN, 2016 stránky 27-32)

Výskyt radonu ve vodách

Jak bylo již zmíněno, radionuklidy, které jsou obsaženy v horninách a půdách, se mohou uvolňovat do podzemních vod. Jedná se o složitý proces a závisí na určitých faktorech, přesněji na geochemických, fyzikálních a hydrologických poměrech. Aktivita roste s hloubkou, u povrchu bude aktivita nižší než v hloubce, a to z důvodu koncentrace podzemní vody, která je v dlouhodobém kontaktu s horninami s obsahem radonu. Výjimkou může být nadzemní tok vody, do kterého byla vypuštěna důlní voda, která pocházela například z těžby uranu, pak můžeme očekávat podobnou koncentraci radionuklidů jako v podzemní vodě. Podzemní vody s obsahem radonu mohou být však využity i ve prospěch lidského zdraví, příkladem toho jsou lázně v Jáchymově. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542) (SÚRO, v.v.i., 2019)

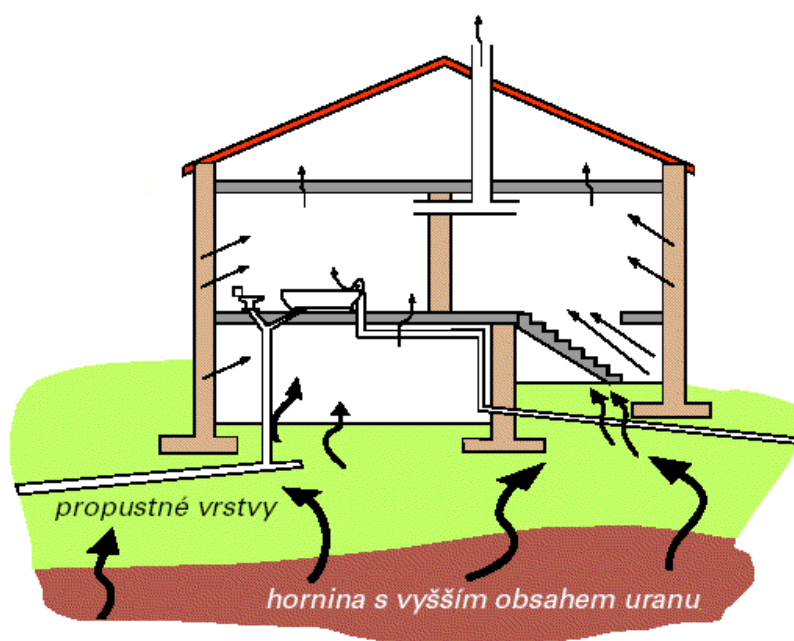
Výskyt radonu v ovzduší

Pomocí difúze se do ovzduší uvolňují radionuklidy z půdy a hornin, kde může docházet k přeměně na další radioaktivní prvky. Takto uvolněné radionuklidy představují problém především ve starších zástavbách, kde dochází vlivem špatné

nebo chybějící protiradonové úpravě ke kumulaci radionuklidů a expozici obyvatel stavby. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

2.1.3 Zdroje radonu v budovách

Mezi hlavní zdroje radonu v domě patří – geologické podloží domu, použitý stavební materiál, voda v domě, venkovní vzduch, zavedený zemní plyn (je-li zaveden). (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)



Obrázek 7 Zdroje radonu v domě (ALFA-RADON; RNDr. Tomáš Rössler, Ph.D., 2017)

A protože snížit obsah radonu v domě níže, než jaká je jeho koncentrace v okolním vzduchu není možné, je spodní hranice aktivity radonu v objektu určena právě podle koncentrace v okolním vzduchu, tzn. v rozmezí 5-10 Bq/m³. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Radon pocházející z geologického podloží

Pro stanovení kategorie radonového rizika (indexu) v základové půdě, jsou stanoveny dva parametry, které jsou zkoumány – aktivita radonu v půdním vzduchu a propustnost základové půdy pro plyny (platí, že čím větší propustnost,

tím vyšší riziko). Pro zjednodušení se používají kategorie rizika základových půd. Ty jsou stanoveny podle objemové aktivity radonu v půdním vzduchu při nízké, střední a vysoké propustnosti – radonové riziko stavebního pozemku:

- nízké riziko – propustnost nízká do 30 kBq/m³, střední do 20 kBq/m³ a vysoká do 10 kBq/m³,
- střední riziko – propustnost nízká od 30–100 kBq/m³, střední od 20–70 kBq/m³ a vysoká od 10–30 kBq/m³,
- vysoké riziko – propustnost nízká nad 100 kBq/m³, střední nad 70 kBq/m³ a vysoká nad 30 kBq/m³. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Měření objemové aktivity radonu se provádí odebíráním plynu (pomocí sondy) z hloubky 0,8 m při nejmenším počtu 15 odebraných vzorků, přičemž rozhodující je 3. kvartil souboru. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Samotné riziko, zjištěné na základě měření, je však zatím pouze potenciální. V domě by se projevilo pouze v případě špatné izolace domu od podlahy a z ní aktivního nasávání vzduchu. V případě, že by objekt a jeho izolační bariéra nebyly porušeny, půdní vzduch by tak byl nasáván pouze difúzí (viz kapitola 2.2.1), tento proces nezpůsobuje vysoké koncentrace radonu v domě. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Ovšem stav objektů v ČR má velmi rozsáhlou škálu, proto se naměřené hodnoty pohybují v rozpětí od 10-10 000 Bq/m³. Závažnost poškození začíná u drobných trhlin v betonovém základu až po absenci jakéhokoliv podkladu. Jedná se například o domy s podlahou z udusané hlíny ve sklepních prostorách nebo přízemní místnosti se dřevěnou podlahou v nepodsklepených budovách. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Cesty vstupu radonu do objektu můžeme rozdělit na:

- bodové – sem řadíme například vsakovací jámky, studny ve sklepě, drenážní otvory a suché guly,
- lineární – kanálky topení v podlaze, neutěsněné prostory od instalace, praskliny mezi stěnou a podlahou,
- plošné a objemové – absence izolace u podlahy, zvětralé pojivo u základového zdiva. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Většina těchto nedostatků se týká hlavně starších staveb, staveb z nekvalitního materiálu, staveb s neodborně provedenou izolací, problematiky sedání staveb a poškození vzniklých v důsledku otřesů. Dalším problémem je aktivní nasávání radonu (půdních plynů), tento jev vzniká na základě podtlaku v domě, například jako důsledek rozdílných teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím – teplý vzduch stoupá a uniká ven, současně je nasáván studený vzduch a vzduch půdní s radonem. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Radon ze stavebního materiálu

Stavební materiál, který se běžně používá pro výstavbu budov, jako je malta, omítka, pórobeton, cihly apod., je vyroben z přírodních materiálů, které obsahují přírodní radionuklidy, mezi kterými je i uran a prvky jeho rozpadové řady, tedy i radon a jeho dceřiné produkty. Část aktivity se poté uvolňuje do vnitřního prostředí stavby. Ta část, která neunikne z materiálu ven se přemění a je zdrojem záření ve stěnách. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Radon ve vodě

Na ozáření osob radonem obsaženým ve vodě je možné pohlížet dvojím způsobem. Na lidský organizmus může působit uvolněný radon z vody, který je následně inhalován a celkově zvyšuje aktivitu v ovzduší objektu. Další cesta půso-

bení je přímé požití kontaminované vody. Mezi faktory, které ovlivňují koncentraci uvolněného radonu z vodních zdrojů, patří: množství objemové aktivity radonu ve vodě, množství vody, která je v daném domě spotřebována, počet osob žijících v domácnosti, způsob využití zavedené vody (sprchování, praní, mytí nádobí). V době používání vody se aktivita prudce zvýší a klesá na základě míry odvětrávání. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

2.1.4 Transport radonu v budově

Problematiku transportu radonu v domě lze rozdělit na dvě části – mechanismus cesty vstupu radonu do objektu a postup šíření prvku v objektu. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Mechanismus vstupu radonu do domu

Rozlišujeme dvě cesty vstupu radonu do domu:

- difúzi – jedná se o transport látky z míst s vyšší koncentrací do míst s nižší koncentrací – v radonové problematice se jedná o transport radonu, který je obsažen v půdním vzduchu a radonu z podloží, skrze základní vrstvu domu do jeho vnitřku,
- konvekci – v tomto případě se jedná o transport látky z místa s vyšším tlakem do místa s nižším tlakem, na základě toho jevu nastává například nasávání radonu z podloží trhlinou v základech domu. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Samotné šíření v budově

Po nasátí radonu do prostoru místnosti se v ní díky přirozené cirkulaci vzduchu celkem rovnoměrně rozptýlí. Ovšem transport radonu v celé budově je komplikovanější problém, závisí na šíření zdrojů radonu v budově a proudění vzduchu v ní. Svou roli hraje také roční období, protože například v topné sezóně

ovlivňuje šíření radonu tlakové pole vzniklé rozdílem teplot v místnostech celého objektu a venkovním prostředím. V období mimo topnou sezónu není průnik radonu skrze podloží tak markantní a již zmíněný komínový efekt nastává jen během noci. V období vyšších venkovních teplot může nastat až úplné převrácení tlakových gradientů a následnému zatlačování vzduchu do podloží. Ve víceposchodových budovách se radon šíří hlavně skrze schodiště a nedostatečně utěsněné prostory u topení a spáry stropu (dřevěný strop). Je pravidlem, že objemová aktivita radonu klesá postupně s přibývajícím podlažím. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

2.1.5 Měření radonu v budovách

Základní měření radonu v domě je poměrně jednoduchý proces, který je nezbytný pro posouzení koncentrace radonu v domácnostech. Měření musí být založeno na standardizovaných protokolech, aby bylo zajištěno přesné a objektivní měření. Vnitřní koncentrace radonu se liší podle konstrukce budov a větracích návyků. Zmíněné koncentrace jsou rozdílné nejen v závislosti na ročním období, ale také ze dne na den, a dokonce z hodiny na hodinu. Kvůli těmto výkyvům vyžaduje odhad průměrné roční koncentrace radonu ve vzduchu spolehlivé měření probíhající, dle WHO, po dobu alespoň tří měsíců. Delší doba měření vede k přesnějšímu stanovení koncentrace. Krátkodobá měření poskytují pouze hrubý údaj o skutečné koncentraci radonu. (WHO, 2009 stránky 21-49)

S ohledem na výše popsanou problematiku, pronikání, chování a transport radonu v domě, není možné provést měření okamžité koncentrace radonu v budově – výsledek by byl neobjektivní. Větší význam mají průměrné naměřené hodnoty, získané z celkového měření po delší časový úsek. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Měření by mělo trvat minimálně 24 hodin vzhledem k rozdílnému chování koncentrace radonu během dne a noci. Avšak nejpřesnější a nejvíce vypovídající je měření, které probíhá celý rok. Zde jsou brány v potaz také změny ročních období. Pokud je třeba získat hodnoty v krátkém časovém období mělo by se měření provádět alespoň jeden týden za dodržení ustálených podmínek. Cílem je předcházení možnému podhodnocení výsledků (mezi tyto podmínky řadíme například omezení ventilace, uplatnění významu rozdílných teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím a zamezení použití technologií, které můžou snižovat koncentraci radonu v budově). Problémem tohoto měření může být snaha ovlivnit výsledné hodnoty, například větráním nebo naopak utěsněním místností. Výsledkem toho jsou uměle vysoké nebo nízké hodnoty. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Velký význam má kontinuální měření, tedy měření objemové aktivity radonu v místnostech v čase. Díky tomu lze stanovit koncentraci radonu v budově v době pobytu osob a tím také odůvodnit objektivitu dat. Dále se z tohoto měření dá odvodit například aktivita za předem stanoveného větrání, a snižuje se tak šance úmyslného ovlivňování dat. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

V případě, že jsou naměřené hodnoty v objektu vyšší, než jaká je zákonem stanovena únosná mez (stará zástavba 400 Bq/m^3 , nové domy 200 Bq/m^3), přistupuje se k tzv. radonové diagnostice. Jedná se o soubor dalších měření se současnou inspekcí v objektu. Ta má za cíl objevit zdroje radonu, jeho transport v domě, zhodnotit radonové riziko z podloží a podíl na celkovém výsledku. Výstupem tohoto měření je návrh protiradonových opatření. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Reálný průběh měření začíná zpravidla od jednoduchých a finančně nenáročných metod, v případě zjištění vyšších hodnot se přistupuje k nákladnějším, jako je právě radonová diagnostika. Mezi jednoduché metody řadíme měření pomocí

stropních detektorů. Toho měření probíhá jeden rok. Další metoda je měření elektretovými detektory, které probíhá jeden týden – je vyžadováno především při kolaudaci domu nebo prodeji starého domu. Měření se provádí zpravidla v místnostech, kde očekáváme větší koncentraci radonu (místnosti se špatnou izolací a větráním nebo přízemní místnosti se špatnou izolační úpravou). Obecně se ale doporučuje provádět měření ve všech místnostech, které jsou v suterénu nebo nejsou podsklepeny, dále alespoň ve třetině místností v prvním podlaží a vždy alespoň v jedné místnosti ve vyšších podlažích. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Nejčastěji používané detektory pro tato měření jsou již zmíněné **elektretové detektory** – ty fungují na principu vybíjení nabitého disku, který je v komůrce, do níž vstupuje pomocí difúze radon. Dochází k ionizaci vzduchu a vybíjení disku. Detektor dokáže stanovit průměrné hodnoty koncentrace a používá se k měření dlouhému od 1 dne do maximálně pár týdnů. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Dalším typem používaného detektoru je **stopový detektor** – funguje na principu zaznamenávání stop, které jsou tvořeny v jeho materiálu. Po dopadu emitovaných částic radonem a jeho produktů přeměny (alfa částic). Tyto detektory se používají k ročním měřením. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Kontinuální detektory/monitory – podle předem stanovených intervalů dochází ke kontinuálnímu měření radonu a zároveň také produktů jeho přeměny. U tohoto detektoru se využívá buď prostupu radonu do komory detektoru, prostřednictvím difúze, kde se akumulují dceřiné produkty radonu na polovodičový detektor. Lze také využít citlivé ionizační komory. Tyto monitory jsou využívány především k provádění podrobnějších analýz, např.: analýza přísunu radonu do objektu nebo analýza vlivu větrání na koncentraci. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542) (Jiránek, a další, 2012 stránky 12-15)

Posledním nejpoužívanějším detektorem jsou **Lucasovy komory**. Tento detektor je využíván ke stanovení okamžitých hodnot aktivity radonu, konkrétně u vyhodnocování vzorků půdního vzduchu. Detektor je tvořen komůrkami, jejichž vnitřní povrch je tvořen scintilačním materiálem. Ten při dopadu alfa částic vyzařuje scintilace. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Stavební opatření jako ochrana před ozářením z radonu

Řešení radonové problematiky je důležité jak při výstavbě nových domů, zde se opatření provádějí především formou prevence, tak ve stávajících budovách (sanace objektů). Primární strategie protiradonových opatření – prevence a sanace objektů – se zaměřují na utěsnění vstupních cest radonu a na odvrácení rozdílů tlaku vzduchu mezi vnitřním a vnějším prostorem pomocí různých technik. V mnoha případech poskytuje kombinace strategií nejvyšší snížení koncentrací radonu. (WHO, 2009 stránky 41-56)

Po měření radonu v budově následuje vyhodnocení zahrnující doporučení, které by mělo vést ke snížení koncentrace radonu v objektu. Je třeba říci, že protiradonové opatření u nových a starých staveb se bude lišit. Tento fakt vychází ze skutečnosti, že staré stavby mohou být postaveny z nevyhovujících materiálů a na základě starých technologických postupů. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Nové stavby

Protiradonová opatření jsou zaměřena především na prevenci a ochranu proti pronikání radonu z podloží. Hlavní faktor, na základě kterého jsou protiradonová opatření realizována, je kategorie radonového rizika pozemku. Pozemky jsou rozděleny do kategorií s nízkým, středním a vysokým rizikem. U pozemků, které mají riziko stanovené na úroveň nízkou, není nutné provádění žádných speciálních protiradonových opatření. Pozemky se středním radonovým

rizikem musejí mít ve všech místnostech, které jsou v přímém kontaktu se zemí, provedenu řádnou protiradonovou izolaci, která bude plnit také funkci hydroizolace. Dle ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží se za protiradonovou izolaci považuje každá kvalitní hydroizolace, jejíž podmínkou je dlouhá životnost a dostatečné tloušťka. Tloušťka, kterou by měla izolace mít, se určuje na základě výpočtu projektanta, který provádí výpočet podle změřené difúze radonu. Tento proces se provádí pro každý objekt zvlášť. Izolace musí být následně položena po celé ploše, výjimku netvoří ani stěny – to znamená, že musí být položena i pod nimi. U pozemků, u kterých byla určena kategorie radonového rizika na hodnotu vysokou, je třeba dodržet stejné opatření, která byla nařízena u pozemku se středním rizikem. Dále je nutné opatření doplnit o odvětrávání s drenáží vedoucí pod celým objektem nebo může být drenáž nahrazena odvětráváním vzduchovou mezerou pod samotnou izolací. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542) (Neznal, a další, 2009 stránky 34-83) (Jiránek, a další, 2012 stránky 7-8)

Cílem použité drenáže nebo odvětrávací mezery je dosáhnout poklesu koncentrace a zamezit kumulaci radonu pod základovou deskou nebo vyvinout podtlak v podloží. Soustava proděravěných trubek, které mohou být například z plastového, keramického nebo kameninového materiálu, tvoří drenážní systém, který se klade do štěrku pod základovou desku. Tento systém zajistí odvětrávání pod celou zastavěnou plochou. Vzduchová mezera se vytváří pomocí plastové tvarované fólie, ta vytváří nejen vzduchovou mezeru, ale rovněž také protiradonovou izolaci. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542) (Neznal, a další, 2009 stránky 34-83)

Staré stavby

U staveb, které jsou již postaveny je nutné provést analýzu zdrojů radonu a jeho transportu v objektu Tato analýza plní funkci základního nástroje pro stanovení

protiradonových opatření. Nedílnou součástí při stanovení opatření je také celková kondice objektu, rozdělení obytných místností s ohledem na podloží, možnosti větrání a těsnost obvodových stěn. Podkladem pro analýzu a následný projekt pro protiradonové opatření je kompletní protiradonová diagnostika celého objektu. Ta zahrnuje také stavebně-technický průzkum, zhodnocení stavu kontaktních konstrukcí a určení hlavního zdroje radonu, kterým může být například voda, podloží nebo nevhodný stavební materiál. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Provádění opatření proti zdroji radonu z podloží je nejsnazší v případě, kdy je stavba podsklepena. V této situaci většinou postačí utěsnění netěsností u vstupních cest radonu do domu a zvýšení odvětrávání. Mezi konkrétní prováděná opatření řadíme například: ucpání otvorů v konstrukcích, prostupů mezi stropem sklepních prostor a přízemím, utěsnění trhlin, zajištění řádného těsnění dveří vedoucích ze sklepa a zajištění jeho odvětrávání. V případě, že koncentrace radonu přesahuje výrazně směrnou hodnotu, zvažujeme, na základě stavu budovy a propustnosti podloží, nainstalování bodového odvětrávání podloží nebo případně rekonstrukci podlah s instalací protiradonové izolace a zároveň zavedení nucené ventilace. Velmi efektivní je způsob odvádění radonu z podloží pod budovou pomocí aktivního odvětrávání. Je tak umožněn pohyb vzduchu pod celou plochou objektu a téměř vždy dochází k odvětrávání vzduchu pomocí ventilátoru. Tento typ opatření je velmi oblíbený hlavně pro jeho nízké pořizovací náklady. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Oproti tomu opatření prováděná na základě výměny podlahových krytin jsou časově i finančně náročná, přičemž je zapotřebí, aby činnost prováděla kvalifikovaná osoba. Neodborně provedená výměna nemusí mít žádný efekt a celou situaci může naopak ještě zhoršit. K tomuto kroku přistupujeme v případech, kdy jsou obytné prostory v přímém kontaktu s podložím a stav jejich

podlah je ve špatném stavu, tzn. chybějí sklepní prostory. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Dalším typem jsou opatření prováděná proti radonu ze stavebních materiálů. Jednou z možností je odstranění látek, které radon a jeho produkty uvolňují. Jedná se o nenosné konstrukce, mezi které řadíme například příčky, štuky, izolace, omítky a násypy podlahových krytin pocházející ze škváry. Nosné stěny, které není možné zbourat, se ošetřují speciálními elastickými nátěry, které alespoň částečně sníží exhalaci radonu. Místo nátěrů lze využít také tapety v PVC. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Opatření prováděná za účelem zamezení vniku radonu z vody do objektu, jsou rozdělena podle zdroje, ze kterého je voda do domu přivedena. Budeme-li opatření uvažovat pro hromadné zásobování (například obecní vodovod) je nejlepší odstranění radonu ještě před samotným přivedením vody. Toho lze dosáhnout například pomocí aeračních věží (provzdušňovací zařízení určené k odstranění nežádoucích látek). Pro domácí studny a jiné individuální zdroje je to však nákladné opatření. Doporučuje se tedy snížit nutnou spotřebu vody a zvýšit odvětrávání místností, kde předpokládáme kumulaci uvolněného radonu (koupelna – sprchování, koupání, kuchyně – mytí, vaření). (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542) (VODASERVIS s.r.o., 2019)

2.1.6 Biologické účinky radonu

Cesty působení radonu

Působí-li na živý organismus ionizující záření, může se tomu tak stát ze dvou směrů – vnitřní kontaminace a vnější ozáření. Směr vnějšího ozáření je jakékoliv působení ionizujícího záření na organismus z prostředí kolem něj. Pro radon je ale mnohem podstatnější působení na základě vnitřní kontaminace. Jedná se v podstatě o kontaminaci radionuklidy, které vysílají ionizující záření.

Tyto radionuklidy se přitom nacházejí přímo v těle samotného organismu, ten je tedy ozařován ze svého vlastního nitra. Je několik cest, kterými se radon do těla může dostat:

- ingescí – v tomto případě se jedná o požití radionuklidu, který se přes ústa dostává dále do zažívacího traktu (například požití vody s obsahem radonu),
- inhalací – radioaktivní materiál se do těla dostane vdechnutím přes nos nebo ústa a dostává se do plic a zároveň je část materiálu vždy polknuta, tento radionuklid může být ve formě plynu, aerosolu nebo páry,
- poraněním, absorpcí přes kůži – tyto cesty vstupu do organismu jsou však pro radon nepravděpodobné. (JIRANEK, 2011 stránky 30-32) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 153-234)

Po proniknutí radioaktivního materiálu do živého organismu je značně problematické určit jeho přesné chování. Pohyb radionuklidu se odvíjí od jeho formy a současně od fyzikálních a chemických vlastností. Záleží také na vstupní cestě, kterou se do těla organismu dostal. Z pohledu kinetiky a následného odhadu obdržené dávky je nejpodstatnější cestou vniku právě inhalace a ingesce. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 153-234)

Stanovit celkovou obdrženou dávku z vnitřního ozáření/kontaminace je značně složité. Svou roli zde hraje hned několik faktorů. Mezi hlavní problémy, které nám odhad dávky komplikují, patří především:

- nemožnost přímého měření vnitřního ozáření,
- odlišná distribuce radionuklidů v těle, ozáření tkáně může být silně nehomogenní, a to i v jednotlivých tkáních,
- doba působení radionuklidu – záleží na druhu radionuklidu, jeho poločasu rozpadu a na biologických vylučovacích procesech, případně

na kombinaci výše zmíněného, obdržená dávka tak narůstá kontinuálně s časem, dokud není radionuklid vyloučen z těla ven,

- vstupní cesta radionuklidu do organismu,
- samotná distribuce radionuklidu v těle se pak může měnit s časem, obdrženou dávkou a kinetiku může měnit také přítomnost dceřiných radionuklidů, jejichž vlastnosti mohou být rozdílné od radionuklidů mateřských. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 153-234)

Všechny výše zmíněné faktory lze řešit pomocí matematických vzorců chování radionuklidů v organizmech, jejichž vznik byl umožněn na základě pokroku v oblasti výpočetní technologie, kdy i složitější výpočty zvládne osobní počítač. Modely jsou pak schopny podat realističtější obraz a brát ohled i na další skutečnosti, jako jsou například biologické procesy. Dokáží brát v potaz individuální rozdíly. Hlubší probrání této problematiky je ovšem nad rámec této práce. V některých případech můžeme míru vnitřní kontaminace odhadnout na základě údajů o měření v prostředí. Děje se tak například v pracovním prostředí, kde se monitoruje obsah radionuklidů uranu, radonu a jejich aerosolů, v ovzduší. Měření obdržené dávky zaměstnanců, probíhá pomocí osobního dozimetru. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 153-234)

Dávky, které jedinec za svůj život obdrží, se kumulují a celková obdržená efektivní dávka (vyjadřuje radiační zátěž) se tak neustále zvyšuje. V následující tabulce číslo 1 jsou pro představu uvedena data, která ukazují průměrnou roční efektivní dávku ozáření obyvatel. Je zcela zřetelné, že největší podíl na obdržené roční efektivní dávce má právě radon a jeho produkty přeměny. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 153-234) (Ullmann, 2019)

Tabulka 1 Ozáření obyvatel z přírodních zdrojů (Klener Vladislav a kol., 2000 str. 247)

Zdroj ozáření	Roční efektivní dávka [mSv]	
	Typické	Zvýšené
Kosmické záření	0,39	2
Zemské záření gama	0,46	4,3
Radionuklidy v těle	0,23	0,6
Radon a produkty přeměny	1,3	10
Celkem – zaokrouhleno	2,4	-

Zdravotní účinky radonu

Každá interakce IZ (ionizující záření) s živou hmotou nastartuje určité procesy, které nejsou pouhým okem znatelné a může trvat i roky, než se dostaví následky. Takovýmto příkladem jsou stochastické účinky (účinky vyvolané změnami v ozářených buňkách s poškozenou DNA, které zásah přežily). Z poškozené buňky se v průběhu času může rozvinout nádorové onemocnění, a protože dávky obdržené v průběhu celého života jedince se sčítají, znamená to, že pravděpodobnost vzniku stochastických účinků se s časem a dalšími obdrženými dávkami zvyšuje. Poškození buněk se nemusí projevit pouze jako rakovinové onemocnění daného jedince, ale může mít také charakter dědičných poškození v důsledku ozáření, které se mohou projevit u dalších generací. (Podzimek, 2013) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 153-234) (Rosina, a další, 2013 stránky 156-166)

Konkrétně u radonu a jeho produktů přeměny dochází po inhalaci k usazování vdechnutých částic v dýchacím ústrojí – přesněji v plicních sklípcích. Vdechnuté částice se usadí v plicní výstelce, na kterou působí ionizujícím zářením. Buňky, které zajišťují regeneraci tkáně plicní výstelky, a které průběhu života lidského jedince se dělí, jsou tímto působením poškozeny nebo usmrceny. Účinky tohoto procesu se kumulují a společně s časem se zvětšuje pravděpodobnost vzniku ra-

kovinového onemocnění (zmiňované stochastické účinky). Vzhledem k tomu, že i jedna alfa částice může způsobit genetické poškození buňky, je možné, že poškození související s radonem může nastat na jakékoli úrovni expozice. To znamená, že nevzniká již buňka plicní výstelky, ale buňka rakovinová, která se dále množí a vzniká právě onen nádor (tato doba může být dlouhá 10–30 let). Nádor postupně postihuje plíce, prorůstá jimi a pokud nedojde ke včasnému podchycení onemocnění, může metastázovat. V takovémto případě je prognóza velmi nepříznivá a končí až smrtí. Je prokázáno, že dlouhodobé vystavení organismu působení radonu přispívá ke vzniku rakovinového onemocnění. Na základě statistik se odhaduje, že 80 % onemocnění je způsobeno kouřením a 20 % právě radonem a jeho produkty. (Mucha, 2019) (SÚRO, v.v.i., 2019)

Zdravotní účinky radonu a s nimi související rakovina plic, byla zkoumána několik desetiletí. Zpočátku se výzkum zaměřil na horníky vystavené vysokým koncentracím radonu v pracovním prostředí. Nicméně počátkem osmdesátých let bylo provedeno několik průzkumů koncentrací radonu v objektech a výsledky těchto průzkumů spolu s odhady rizik založenými na studiích důlních pracovníků poskytly nepřímý důkaz o tom, že radon může být důležitým faktorem při vzniku rakovinového onemocnění plic. (WHO, 2009 stránky 3-20)

Studie o radonovém onemocnění plic a rakoviny plic v Evropě, Severní Americe a Asii upozornily, že radon způsobuje v běžné populaci značný počet rakovinového onemocnění plic. Analýzy ukazují, že riziko rakoviny plic se zvyšuje úměrně s rostoucí expozicí radonem. Na základě faktu, že mnoho lidí je vystaveno nízkým a mírným koncentracím radonu, se předpokládá, že většina karcinomů plic souvisejících s radonem je způsobena spíše nízkými expozičními hladinami než vyššími. Je možné říci, že radon je druhou nejčastější příčinou vzniku rakoviny plic. Většina případů karcinomu plic vyvolaného radonem se vyskytuje u kuřáků v důsledku silného kombinovaného účinku kouření a radonu. V následující tabulce je možné vidět počet úmrtí v České republice na rakovinu plic způsobenou

radonem v roce 2008 v porovnání s počtem úmrtí z jiných příčin. (SÚRO, v.v.i., 2019) (WHO, 2009 stránky 3-20)

Tabulka 2 Zastoupení úmrtí na základě rakoviny plic způsobené radonem (SÚRO, v.v.i., 2019b)

Příčina úmrtí	Počet úmrtí v ČR v roce 2008	Zdroj
Rakovina plic	5402	www stránky Českého statistického úřadu
Rakovina plic způsobená radonem	800–900	Odhad na základě celosvětové epidemiologické studie
Při dopravních nehodách	832	www stránky Policie ČR
Virová encefalitida	7	www stránky Českého statistického úřadu

2.1.7 Historie řešení radonové problematiky

V České republice byly zaznamenány první známky působení „něčeho“ škodlivého již v období na přelomu středověku a novověku na území Jáchymova. Bylo popsáno specifické onemocnění plic, tzv. hornická choroba. Tato choroba byla ve 20. století diagnostikována jako rakovinové onemocnění plic – karcinom dýchací soustavy. Po objevení radonu byl prvek považován za jednu z možných příčin vzniku onemocnění. V roce 1952 se shledalo toto podezření jako částečně pravdivé. Hlavním důvodem vzniku nemoci se ukázalo být vdechování krátkodobých produktů, které vznikly radioaktivní přeměnou z radonu. Jejich následné usazování na plicní výstelce způsobovalo ozařování tkáně. Tento jev byl v ČR poprvé popsán profesorem Františkem Běhounkem. Zjištění vedlo ke snaze snížit výskyt onemocnění u pracovníků uranových dolů a specifikovat vztah expozice radonu, jeho produktů přeměny a pravděpodobností vzniku rakovinového onemocnění plic. V roce 1956 byla uveřejněna studie rozsáhlého měření radonu v bytových jednotkách ve Švédsku, ovšem dlouhou dobu se mělo za to, že se jedná pouze o ojedinělý problém daného území. Tato domněnka byla vyvrácena až v 70. letech a bylo prokázáno, že závažnost problematiky radonu v bytech není pouze švédskou zá-

ležitostí. Na základě této skutečnosti byly v mnoha zemích zahájeny národní radonové programy. (SÚJB, 2016) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

V roce 1978 byla započata příprava národního programu i u nás. Následně na to se zjistilo, že situace v Jáchymově je světový unikát, který vznikl na základě vyššího radonového indexu podloží místy kontaminovaného zbytky po těžbě stříbrné rudy, která obsahovala i uran. Dalším problémem bylo použití stavebního materiálu, který obsahoval vysoce radioaktivní odpad. Roku 1982 bylo zjištěno, že dochází k výrobě stavebního materiálu s obsahem ^{226}Ra vyšším, než dovozovala chystaná norma. Výzkumné a stavařské ústavy začaly tedy s vývojem protiradonových opatření, které byly zaměřeny na stavební materiál, a ne na únik radonu z podloží, tedy hlavní zdroj problému. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542) (SÚJB, 2016)

Budovy, kde byla vysoká koncentrace radonu kvůli jeho pronikání z podloží, byly nalezeny až v 80. letech. To vedlo k vypracování prognostické mapy, která určovala oblasti, kde bylo možné očekávat zvýšený výskyt úniku radonu z podloží. Pozornost vlády a veřejnosti se konečně obrátila na problematiku obsahu radonu v podloží a začalo systematické proměření území ČR. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542) (SÚJB, 2016)

Problematika se dočkala své legislativní úpravy nejprve vyhláškou MZ č. 76/1991 Sb., o požadavcích na omezování ozáření z radonu a dalších přírodních radionuklidů. Jak je již patrné z názvu, vyhláška se soustředila na stanovení požadavků ochrany před kontaminací radionuklidy radonu a jeho dceřiných produktů a dále na ochranu před zevním ozářením způsobeným obsahem přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech. Tuto vyhlášku následovalo usnesení vlády k dané problematice č. 150/1990 a č. 709/1993 k ochraně obyvatel před ozářením z radonu a dalších přírodních radionuklidů. To umožnilo čerpání státem poskytnutých dotací na protiradonové opatření, do kterého patřil i mimořádný výkup

staveb s vyšší intenzitou záření. K prvnímu upravení radonové problematiky zákonem došlo až v roce 1997, kdy byl vydán zákon č. 18/997 Sb., Atomový zákon a vyhláška č. 184/1997 Sb., o radiační ochraně. Touto legislativou vznikla povinnost měřit radonový index pozemku v případě výstavby nového objektu. Výrobcům pak udávala povinnost ověřovat radioaktivitu stavebního materiálu a dodavatelům radioaktivitu vody. Zároveň se stanovily hodnoty platné pro nový a již stojící objekt. Vyhláška č. 184/1997 Sb., o požadavcích na zajištění radiační ochrany byla nahrazena vyhláškou č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně a nejnověji vyhláškou č. 422/2016 Sb. Atomový zákon byl rovněž nahrazen – zákonem č. 263/2016 Sb. Vládní usnesení č.538 z roku 1999 o Radonovém programu České republiky pak zahájilo Radonový program, tato problematika bude podrobněji rozebrána v následující kapitole. (SÚJB, 2016) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

2.2 Radonový program v ČR

Laická veřejnost si mnohdy neuvědomuje rizika, která jsou spojená s působením radonu, proto je důležitá komunikace a informovanost veřejnosti ohledně této problematiky. Informovanost musí být zaměřena na širokou veřejnost s rozmanitým spektrem různých posluchačů a na doporučení vhodných opatření ke snížení působení radonu. Zprávy o radonové problematice by měly být veřejnosti podávány v co nejjednodušší formě. Informace o rizicích musí být jasně vyjádřeny. Je například vhodné porovnat riziko rakoviny plic v důsledku působení radonu s jinými riziky rakoviny nebo s běžnými riziky v každodenním životě. (WHO, 2009 stránky 83-91)

Dle WHO by měly být programy veřejného zdraví vedoucí ke snížení rizika působení radonu vedeny na národní úrovni. Takové národní protiradonové programy by měly být navrženy tak, aby se snížilo celkové riziko ozáření celé populace. Národní radonová politika by se měla zaměřit na identifikaci zeměpisných oblastí, kde jsou obyvatelé vystaveni největšímu riziku, které je spojeno s působením ra-

donu. Mezi klíčové prvky úspěšného národního programu pak patří také spolupráce s dalšími programy na podporu zdraví (např. kvalita ovzduší v interiéru apod.) Měly by být přijaty příslušné stavební předpisy, které vyžadují zavedení: protiradonových preventivních opatření při výstavbě nového domu, měření radonu při nákupu a prodeji domů, zavádění sanačních opatření, v již stojících stavbách. (WHO, 2009 stránky 83-91)

Národní referenční úroveň radonu představuje maximální akceptovanou koncentraci radonu v obytném a pobytovém objektu, tato informace by měla být také součástí národního protiradonového programu. V domácnostech s koncentracemi nad touto úrovní lze doporučit nebo požadovat nápravná opatření. Vzhledem k nejnovějším vědeckým údajům navrhuje WHO referenční úroveň 100 Bq/m³, aby se minimalizovala zdravotní rizika způsobená expozicí radonu uvnitř budov. Pokud nemůže být této úrovni rozumně dosaženo, volená referenční úroveň by neměla překročit 300 Bq/m³, což představuje přibližně 10 mSv ročně. (WHO, 2009 stránky 83-91)

V předchozích kapitolách již bylo popsáno, jaký vliv může mít působení radonu na lidský organizmus, a proto je snahou státu takovým účinkům předcházet. Stát má dvě základní cesty, podle kterých přistupuje k regulaci možného ozáření. První z nich má preventivní charakter – **preventivní opatření**. To je používáno především u nových staveb. Druhá cesta je volena ve formě **intervence** a má za cíl snížení ozáření z radonu a jeho produktů v již stojících objektech. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Preventivní opatření

Prvním krokem je zajištění informovanosti široké veřejnosti. Dále je nutné zajištění legislativního ukotvení dané problematiky, jejíž součástí je i mechanismus kontrol možných zdrojů záření. Jedná se především o kontrolu indexu pozemku

a podloží, usměrňování výstavby, kontrolu obsahu přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech, kontrola obsahu radionuklidů ve vodě. Tyto body legislativně upravuje zákon č. 263/2016 Sb. a vyhláška č. 422/2016 Sb. (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542) (WHO, 2009 stránky 83-91)

Intervence

Problematika intervenčních zákroků ve stávajících stavbách se skrývá v otázce, zda je třeba opatření vynucovat a pokud ano, tak kdy, anebo jestli by měla být volba ponechána na majiteli objektu. Bylo tedy třeba dojít k nějakému alternativnímu rozhodnutí. Opatření je nutné dodržovat u budov, které jsou ve veřejném zájmu. Patří sem například nemocnice, školy, úřady apod. U soukromých objektů je problematika řešena nabídnutím „pomocné ruky“ ze strany státu a je pak na svobodném rozhodnutí každého majitele, zda tuto pomoc využije. Intervenční program pomoci má následující kroky: provedení průzkumu koncentrace radonu v budovách, stanovení indexu pro provádění opatření, zajištění informovanosti, systematické vyhledávání rizikových oblastí, nabídka pomoci obyvatelům státu. Volba intervenčních technik může být založena na analýze efektivnosti opatření a nákladů. (WHO, 2009 stránky 83-91) (Klener Vladislav a kol., 2000 stránky 505-542)

Ozáření z radonu je průměrně vyšší než ozáření, které je způsobené lékařskými aplikacemi, jako je například RTG, CT, NM, RT apod. U celosvětové populace je průměrná roční efektivní dávka na jednotlivce přibližně 1,2 mSv. Na území ČR je z důvodu zvýšené koncentrace radonu v horninovém podloží tato hodnota až dvojnásobná. Z těchto důvodů je v řadě států přijímáno opatření, které má za úkol snížení oné zátěže. V České republice byla přijata dvě základní usnesení, které stanovila Radonový program ČR a jeho podmínky – konkrétně se jedná o usnesení vlády č. 538 ze dne 31. 5. 1999 a usnesení vlády č. 970 ze dne 7. 10. 2002. (SÚJB, 2019)

2.2.1 Zpráva o plnění úkolů Radonového programu České republiky za léta 2000–2004

Jednotlivé úkoly vycházející z Radonového programu ČR byly přehledně rozděleny do následující tabulky:

Věcná náplň		Nositelé úkolů
I. Vyhledávání rizikových objektů		
1.	Výroba a vyhodnocení detektorů	SÚJB
2.	Distribuce a sběr detektorů a s tím spojené dotace na základě smlouvy SÚJB – KÚ	KÚ, SÚJB
3.	Sdělení výsledků samosprávě	SÚJB
4.	Sdělení výsledků majitelům objektů	KÚ
II. Preventivní protiradonová opatření		
1.	Prognózní mapy radon. rizika geol. podloží pro novou výstavbu	MŽP, SÚJB, MMR
2.	Jednotná metodika stanovení radonového rizika pozemku	SÚJB, MMR
3.	Zajištění jednotné praxe staveb. úřadů při aplikaci §6,4 AZ	MMR, SÚJB
III. Protiradonová ozdravná opatření v objektech a při úpravě vod		
1.	Poskytování dotace na ozdravná opatření	
a)	- stanovení kritérií pro dotaci	SÚJB, MF, MMR
	- vypracování pravidel pro dotace	MF, SÚJB, MMR
	- rozdělení finančních prostředků na ozdravná opatření	MF, SÚJB
b)	poskytování dotací na ozdravná opatření	MF, KÚ, SÚJB
c)	kontrola finančního čerpání dotace	MF, KÚ
d)	kontrola realizace stavebních úprav při ozdravných opatřeních	KÚ, MMR, SÚJB
2.	Vyhodnocení efektivnosti ozdravných opatření	SÚJB, MMR, MPO
3.a)	Rozdělení fin. prostředků na snížení obsahu radionuklidů ve veřejných vodovodech	MF, SÚJB
b)	Poskytování dotací veřejným vodovodům	MF, KÚ, MZe, SÚJB
IV. Informování veřejnosti		
1.	Informování veřejnosti o radonovém riziku u nových staveb	
a)	sepsání informací a tisk	SÚJB, MMR
b)	distribuce informací	MMR, KÚ
2.	Informování veřejnosti o radon. riziku u stávajících staveb	
a)	sepsání informací a tisk	SÚJB, MMR
b)	distribuce informací	MMR, KÚ
V. Vývoj a výzkum pro Radonový program ČR		
1.	Vývoj nových stavebních ozdravných opatření	MPO, SÚJB
2.	Vývoj metod měření a hodnocení	SÚJB
3.	Vývoj metod stanovení radonového indexu pozemků	MŽP, SÚJB
4.	Vývoj map radonového rizika bytového fondu ČR	SÚJB, MŽP

Obrázek 8 Obsah Radonového programu ČR (SÚJB, 2005 str. 3)

Z obrázku výše je viditelné, že jednotlivé úkoly byly rozděleny do 5 skupin. Uvedené jednotlivé kroky měly za úkol **dosáhnout 2 hlavních úkolů** Radonového programu ČR pro období 2000-2009, a to:

1. Vyhledání rizikových oblastí/objektů a

2. snížení rizika. (SÚJB, 2005 stránky 1-15)

V průběhu prvních 5 let od začátku programu byly jednotlivé úkoly postupně plněny. Postup pro cílené vyhledávání objektů s vysokými hodnotami OAR byl zpřesněn, a to především na základě nově nabytých poznatků, technickoorganizačních a také ekonomických podmínek. Navíc bylo zjištěno, že to vše lze realizovat s nižšími náklady, než s jakými bylo původně počítáno. Postupně byl stanoven efektivní způsob zavádění ozdravných opatření, který byl po dobu dvou let uspokojivě ověřován. Dalším přínosem bylo zapojení stavebního úřadu při kontrole dodržování protiradonových opatření v nových stavbách, která byla při nové výstavbě požadována. Aktivní osvěta občanů v oblasti radonové problematiky byla rovněž na dobré úrovni. V následujících 5 letech byl Radonový program ČR zaměřován také na oblasti, ve kterých byla vysoká koncentrace přírodních radionuklidů z těžby uranu. Oblast vývojové a výzkumné činnosti byla zaměřena na vytvoření odborné metodiky, u které bude v budoucnu možné také alternativní využití. (SÚJB, 2005 stránky 1-15)

2.2.2 Závěrečná zpráva o plnění úkolů Radonového programu České republiky za období 2000–2009

Na základě vládního usnesení č. 970 ze dne 7. října 2002 došlo ke změně zajišťování plnění některých úkolů. Úkoly, které měly původně zajišťovat okresní úřady nyní částečně zajišťovaly krajské úřady a částečně Ministerstvo financí ČR. Konkrétní úpravy jsou viditelné v následující tabulce: (SÚJB, 2010 str. 2)

Věcná náplň		Nositelé úkolů
I. Vyhledávání rizikových objektů		
1.	Výroba a vyhodnocení detektorů	SÚJB
2.	Distribuce a sběr detektorů	KÚ
3.	Sdělení výsledků samosprávě	SÚJB
4.	Sdělení výsledků majitelům objektů	KÚ
II. Preventivní protiradonová opatření		
1.	Prognózní mapy radon. rizika geol. podloží pro novou výstavbu	MŽP, SÚJB, MMR
2.	Jednotná metodika stanovení radonového rizika pozemku	SÚJB, MMR
3.	Zajištění jednotné praxe staveb. úřadů při aplikaci §6,4 AZ	MMR, SÚJB
III. Protiradonová ozdravná opatření v objektech a při úpravě vod		
1.	Poskytování dotace na ozdravná opatření	
a)	- stanovení kritérií pro dotaci	SÚJB, MF, MMR
	- vypracování pravidel pro dotace	MF, SÚJB, MMR
	- rozdělení finančních prostředků pro KÚ	MF, SÚJB
b)	poskytování dotací	MF, KÚ, SÚJB
c)	kontrola finančního čerpání dotace	MF, KÚ
d)	kontrola realizace stavebních úprav při ozdravných opatřeních	KÚ, MMR, SÚJB
2.	Vyhodnocení efektivity ozdravných opatření	SÚJB, MMR, MPO
3.a)	Rozdělení fin. prostředků pro KÚ na snížení obsahu radionuklidů ve veřejných vodovodech	MF, SÚJB
3.b)	Poskytování dotací na ozdravení veřejných vodovodů	MF, KÚ, MZe, SÚJB
IV. Informování veřejnosti		
1.	Informování veřejnosti o radonovém riziku u nových staveb	
a)	sepsání informací a tisk	SÚJB, MMR
b)	distribuce informací	MMR, KÚ
2.	Informování veřejnosti o radon. riziku u stávajících staveb	
a)	sepsání informací a tisk	SÚJB, MMR
b)	distribuce informací	MMR, KÚ
V. Vývoj a výzkum pro Radonový program ČR		
1.	Vývoj nových stavebních ozdravných opatření	MPO, SÚJB
2.	Vývoj metod měření a hodnocení	SÚJB
3.	Vývoj metod stanovení radonového indexu pozemků	MŽP, SÚJB
4.	Vývoj map radonového rizika bytového fondu ČR	SÚJB, MŽP

Obrázek 9 Upravený obsah úkolů Radonového programu ČR (SÚJB, 2010 str. 3)

Hodnocení Radonového programu ČR

Vyhledávání rizikových objektů bylo nejprve soustředěno na co největší proměření pobytových objektů na území s vysokým radonovým rizikem a reprezentativní měření na území s nízkým a středním radonovým rizikem plynoucím z geologického podloží. Od začátku roku 2006 byla tato strategie změněna a vyhledávání se soustředilo pouze na oblasti s předpokládaným vysokým radonovým rizikem. Výsledná měření byly po ukončení programu k dispozici z 87 % obcí nacházejících se na území s nízkým radonovým rizikem, ze 46 % obcí se z území se středním radonovým a 84 % obcí z území s vysokým radonovým rizikem.

Z celkového odhadovaného počtu 32 000 objektů, které překračují směrnou hodnotu OAR byla velké většina nalezena (celkem bylo změřeno 61 900 objektů). (SÚJB, 2010 stránky 1-12)

V oblasti prevence zavádění protiradonových opatření bylo třeba zaměřit se především na profesionály, a to obzvláště z oboru stavebnictví a projektování. Začínal se klást důraz na energetické úspory, které mohly omezit větrání, bylo tak třeba zaměřit se na kvalitu a prevenci zaváděných protiradonových opatření. (SÚJB, 2010 stránky 1-12)

Byl vytvořen efektivní systém státních dotací spolu s dostupnou účinnou technologií pro zavádění protiradonových opatření vedoucích ke snižování obsahu radonu ve veřejném zásobování pitnou vodou. (SÚJB, 2010 stránky 1-12)

Z hlediska veřejné informovanosti o radonové problematice byly zajištěna odborné informace pro všechny, kteří se o problematiku zajímali. Informace byly dostupné především prostřednictvím SÚJB, SURO a stavebních úřadů. Dále bylo důležité zajistit informovanost také pro občany, kteří si informace sami aktivně nevyhledávají, rovněž pro mladé lidi a odbornou veřejnost. (SÚJB, 2010 stránky 1-12)

Postupná realizace všech úkolů byla vyhodnocována a dokumentována, výzkumná a vývojová činnost přinesla mnoho výsledků, které byly využity pro další plnění Radonového programu ČR, hodnocení, efektivitu, nové technologie a postupy a jejich následné ověření, a to nejen v běžných, ale také v extrémních podmínkách. (SÚJB, 2010 stránky 1-12)

„Na základě vyhodnocení průběžných výsledků Radonového programu ČR a posouzení efektivity jednotlivých postupů zpracoval SÚJB návrh „Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán“, který navazuje na jednotlivé úkoly, reflektuje zkušenosti nabyté

v průběhu jejich řešení a navrhuje modifikované strategie a postupy pro další období. Tento dokument byl schválen vládou ČR usnesením č. 594 ze dne 4. května 2009.“ (SÚJB, 2010 str. 12)

2.2.3 Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán

Tento program zohledňuje aktuální novelu směrnice Rady 96/29/EUROATOM, zaměřuje se na **prevenci a regulaci ozáření** z ingesce a inhalace radonu a jeho produktů přeměny. Je určen pro podporu domácností, školy, všech budov sloužících pro dlouhodobější pobyt dětí a mládeže, sociálních a zdravotních zařízení a regulaci radonu obsaženého ve veřejných vodovodech a zásobárnách pitné vody. V rámci programu probíhá i vyhodnocení přínosu prováděných opatření a vývoj nových metod pro dozimetrii, stavební technologie, nové zpracování a využití map rizika geologického podloží. Cílem Akčního plánu je přispět ke snížení rakovinového onemocnění plic, za pomoci promyšlených a koordinovaných kroků, vzniklého působením radonu a jeho produktů přeměny na lidský organismus. (SÚJB, 2019 stránky 1-6)

Konkrétní cíle Akčního plánu pak jsou:

„Základním cílem Akčního plánu je prostřednictvím promyšlených a koordinovaných kroků přispět ke snížení počtu usmrtí na rakovinu plic v důsledku zvýšeného ozáření radonem a jeho dceřinými produkty. K dosažení tohoto cíle je nezbytné:

- *zajistit právní rámec a odbornou mezirezortní koordinaci trvalého a efektivního usměrňování ozáření obyvatel z přírodního ozáření, pokud převyšuje stanovené úrovně, a prevence v této oblasti,*
- *zavést průběžně inovovaný, aktualizovaný, srozumitelný dostupný a motivující systém obecné i cílené informovanosti obyvatel o zdravotních rizicích přírodního ozáření, možnostech prevence i způsobech snížení rizika zvýšeného ozáření, podporující zájem občanů o kvalitu bydlení,*

- *zajistit státem podporovaný a dozorovaný systém měření a hodnocení přírodního ozáření z radonu,*
- *zajistit státem podporovaný a dozorovaný systém řešení případů nepřijatelně vysokého přírodního ozáření,*
- *rozvíjet systém pro výběr oblastí, kterým je třeba věnovat zvýšenou pozornost z hlediska radonové problematiky, založený na objektivních, odborně a metodicky podložených kritériích.“ (SÚJB, 2019 str. 2)*

2.3 Řešení radonové problematiky v současné legislativě

Mezi základní legislativní dokument, který se v současnosti věnuje řešení radonové problematiky patří zákon číslo 263/2016 Sb. a na něj navazující vyhláška číslo 422/2016 Sb.

Atomový zákon definuje radiační ochranu v problematice spojené s ozářením z radonu a jeho produktů v těchto oblastech: ozáření z radonu na pracovištích s možným zvýšeným ozářením z radonu, pracovištích se zvýšeným ozářením z radonu, ozáření z přírodního záření ve stavbě, prevence pronikání radonu do stavby, ochranu před přírodním ozářením ve stavbě, radiační ochranu ve vztahu radonu a vody a radonu a stavebních materiálů a poskytování dotací v některých existujících expozičních situacích. Zákon nejprve definuje obecná pravidla a vymezí pojmy:

- *„radonovým indexem pozemku ukazatel míry rizika migrace radonu z geologického podloží; radonový index pozemku je nízký, střední nebo vysoký,*
- *ozářením z radonu ozáření radonem a jeho dceřinými produkty.“ (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon stránky §60, odstavec 3, písmeno e, f)*

Povolení Úřadu je nutné k vykonávání těchto činností v rámci expozičních situací v radonové problematice:

- provádění osobní dozimetrie
- měření a následné vyhodnocení ozáření osob zdrojem přírodního záření ve stavbě za účelem prevence nebo radiační ochrany
- měření a následné vyhodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě a stavebním materiálu,
- dodávání stavebního materiálu, jehož efektivní dávka obdržena osobou z jeho užívání překračuje 1 mSv/rok ze zevního ozáření. (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon)

Pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu

Zde jsou zařazena pracoviště v podzemí nebo prvním nadzemním podlaží splňující podmínky prováděcího předpisu, pracoviště, kde je jakýmkoliv způsobem zacházeno s vodou z podzemních zdrojů. Z hlediska radiační ochrany je každý provozovatel takového pracoviště (s možným zvýšeným ozářením) povinen oznamovat úřadu informace, provádět osobní dozimetrii pracovníků, optimalizovat radiační ochranu, informovat pracovníka o riziku souvisejícím s prací na pracovišti s možným zvýšeným ozářením z radonu. (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon)

Pracoviště se zvýšeným ozářením z radonu

Do této kategorie řadíme pracoviště, kde hrozí překročení efektivní dávky pracovníka 6 mSv za rok. Je nutné dodržovat limity pro radiační pracovníky, viditelně vymežit pracoviště nebo tu část pracoviště, kde hrozí překročení limitu 6 mSv/rok. Zaměstnavatel je povinen organizovat každoroční školení, kde jsou pracovníci informováni o možném radiačním riziku, monitorovat a vést dokumentaci o zajištění radiační ochrany. Pracovníci jsou povinni pracovat podle bezpečnostních pokynů. (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon)

Prevence pronikání radonu do stavby

Před zahájení výstavby nové budovy, která obsahuje pobytové místnosti, ukládá stát povinnost stanovení radonového indexu pozemku. V případě změny účelu budovy z nepobytové na pobytovou je uložena povinnost měření objemové aktivity v objektu. Pokud je stavba postavena způsobem, že je zajištěno proudění vzduchu pod její konstrukcí není vyžadováno stanovení radonového indexu pozemku. (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon)

Ochrana před přírodním ozářením ve stavbě

Majitel objektu s místností, kde bylo zjištěno překročení referenční úrovně, je povinen dbát na to, aby bylo ozáření osob tak nízké, jak je rozumně dosažitelné. Je-li budova určena k veřejnému užití s dlouhodobým pobytem osob je její majitel povinen zajistit měření objemové aktivity radonu ve vnitřním prostředí, učiní tak při jejím spuštění do provozu a vždy při stavebním zásahu. (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon)

Voda

V případě překročení nejvyšší přípustné hodnoty objemové aktivity radonu ve vodě není povoleno ji uvádět na trh České republiky. Dodavatel vody je povinen zajistit měření radionuklidů ve vodě, vést evidenci a oznamovat výsledky příslušnému úřadu. V případě zjištění překročení nejvyšší přípustné hodnoty je dodavatel povinen zjednat nápravu a poskytnout veřejnosti informace o měření, efektivních dávkách z vody, o riziku s nimi spojenými a o provedených opatřeních. (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon)

Stavební materiál

Stavební materiál, který by zapříčinil překročení efektivní dávky osoby užívající pobytový nebo obytný prostor budovy, není povoleno dodávat na trh České re-

publiky. Dodavatelé stavebního materiálu jsou povinni zajistit měření obsahu přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu, vést evidenci a údaje oznamovat příslušnému úřadu. V případě uvedení vadného materiálu na trh jsou povinni informovat veřejnost. (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon)

Poskytování dotací v některých existujících expozičních situacích

V případě zjištění rizika spojeného s přítomností radonu a jeho dceřiných produktů ve vnitřních prostorech stavby může ministerstvo financí poskytnout dotaci na přijetí opatření, které budou snižovat ozáření způsobené radonem nebo jeho produkty přeměny ve vnitřním prostředí stavby, která je určena pro bydlení nebo pobyt osob veřejnosti a dále také pro přijetí opatření, která snižují výskyt radionuklidů v pitné vodě určené pro veřejnou potřebu. (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon)

2.3.1 Zákon č. 263/2016 Sb., Atomový zákon ve vztahu k radonu

Atomový zákon se problematice radonu věnuje především v Hlavě II, a to konkrétně:

- Díl 2, Oddíl 5, § 93-95 se věnuje především plánovaným expozičním situacím na pracovišti s možným zvýšeným ozářením z přírodního zdroje záření, konkrétně:
 - § 93 Pracoviště s možným zvýšeným ozářením z přírodního zdroje záření
 - § 94 Pracoviště se zvýšeným ozářením z přírodního zdroje záření
 - § 95 Podmínky uvolňování radioaktivní látky z některých pracovišť s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření
- Díl 3, Oddíl 1, § 96-97, Ozáření z radonu na pracovišti
 - § 96 Pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu
 - § 97 Pracoviště se zvýšeným ozářením z radonu

- Díl 3, Oddíl 2, § 98-99, Ozáření z přírodního zdroje záření ve stavbě
 - § 98 Prevence pronikání radonu do stavby
 - § 99 Ochrana před přírodním ozařením ve stavbě
- Díl 3, Oddíl 3, § 100-101, Voda a stavební materiál
 - § 100 Voda
 - § 101 Stavební materiál
- Díl 3, Oddíl 4, § 102-103, Jiné existující expoziční situace a poskytování dotací některých existujících expozičních situacích
 - § 102 Existující expoziční situace jako následek nehodových expozičních situací nebo jiných okolností
 - § 103 Poskytování dotací v některých existujících expozičních situacích (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon)

2.3.2 Vyhláška č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje ve vztahu k radonu

Vyhláška se problematice spjaté s radonem věnuje především v Hlavě II, Díl 7, § 67; Díl 11, § 88. Dále v Hlavě III, § 92-103. Pro účely této práce je však stěžejní příloha č. 25 dané vyhlášky, dále přílohy č. 26-28.

Příloha č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Příloha stanovuje:

„A. Podmínkou pro zařazení pracoviště umístěného v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budovy mezi pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu jsou následující skutečnosti:

1. pracoviště je umístěno v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budovy s výjimkou

1.1. stavby, k jejíž výstavbě bylo vydáno stavební povolení nebo svým obsahem podobné povolení po 28. 2. 1991,

- 1.2. stavby umístěné v terénu tak, že všechny její obvodové konstrukce jsou od podlahy odděleny vzduchovou vrstvou, kterou může volně proudit vzduch,*
 - 1.3. pracoviště nebo stavby, u nichž bylo provedeno protiradonové opatření, jehož dostatečná účinnost byla potvrzena měřením,*
 - 1.4. pracoviště, které je parkovištěm nebo garáží, nebo*
 - 1.5. pracoviště podsklepeného v celém půdorysu a bez přímého kontaktu s podzemním podlažím,*
- 2. pro osobu, která vykonává činnost, při níž je provozováno pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu, vykonává práci fyzická osoba,*
- a*
- 3. pracoviště v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budovy je umístěno v obci, v níž pravděpodobnost překročení referenční úrovně podle § 93 odst. 1 je vyšší než 30 %. Tuto podmínku splňují uvedené v příloze DP.*

B. Podmínkou naznačující možné zvýšené ozářením z radonu na pracovišti jsou, bez ohledu na podmínky uvedené v bodě A, následující skutečnosti:

- 1. pro osobu, která vykonává činnost, při které je provozováno pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu, vykonává práci fyzická osoba*
- a*
- 2. bylo zjištěno překročení hodnoty 300 Bq/m³ objemové aktivity radonu ve vnitřním ovzduší pracoviště umístěného v kterémkoliv podlaží budovy.“ (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje str. Příloha č. 25)*

Příloha č. 26 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Tato příloha se věnuje způsobu vyhodnocení výsledků pro stanovení radonového indexu pozemku. To může být provedeno na základě radonového potenciálu pozemku nebo na základě plynopropustnosti základových púd. Této problematice se blíže věnuje kapitola 2. 4. 2. Radonový index pozemku. (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje str. příloha č. 26)

Příloha č. 27 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Tato příloha se věnuje OAR (objemová aktivita radonu) a obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě:

Nejvyšší přípustnou hodnotu objemové aktivity radonu v pitné vodě pro veřejnou potřebu a pro dodávání balené vody na trh

	Nejvyšší přípustná hodnota
Rn-222	300 Bq/l

Referenční úroveň obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě pro veřejnou potřebu a pro dodávání balené vody na trh

	Referenční úroveň
Rn-222	100 Bq/l
Indikativní dávka	0,1 mSv/rok

Vyšetřovací úrovně celkové objemové aktivity alfa a celkové objemové aktivity beta

	Vyšetřovací úrovně
Celková objemová aktivita alfa	0,2 Bq/l
Celková objemová aktivita beta	0,5 Bq/l

Způsob a rozsah systematického měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě

Základní rozbor	objemová aktivita Rn-222 , pokud se jedná o vodu z podzemního zdroje celková objemová aktivita alfa celková objemová aktivita beta
Doplňující rozbor	<p>analýza zastoupení jednotlivých přírodních radionuklidů ve vodě, v níž bylo zjištěno překročení vyšetřovací úrovně, podle následujícího postupu</p> <p>obsah uranu, pokud celková objemová aktivita alfa převyšší vyšetřovací úroveň</p> <p>objemová aktivita Ra-226, pokud celková objemová aktivita alfa po odečtení příspěvku uranu převyšší vyšetřovací úroveň</p> <p>objemová aktivita Ra-228, pokud objemová aktivita Ra-226 převyšší vyšetřovací úroveň celkové aktivity alfa</p> <p>stanovení dalších radionuklidů emitujících záření alfa, pokud celková objemová aktivita alfa po odečtení</p> <p>příspěvku Ra-226 a uranu převyšší vyšetřovací úroveň</p> <p>obsah draslíku, pokud celková objemová aktivita beta převyšší vyšetřovací úroveň</p> <p>stanovení dalších radionuklidů emitujících záření beta, pokud celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku K-40 převyšší vyšetřovací úroveň</p>

Obrázek 10 Řešení problematiky obsahu radionuklidů v pitné vodě v legislativě (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiální ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje str. Příloha č. 27)

Objem vody denně dodávané či vyráběné [m ³]*	Počet vzorků za kalendářní rok
objem ≤ 1000	1
1000 < objem ≤ 10000	1 + 1 pro každých 3300 m ³ /den včetně započatých z celkového objemu
10000 < objem ≤ 100000	3 + 1 pro každých 10000 m ³ /den včetně započatých z celkového objemu
objem > 100000	10 + 1 pro každých 25000 m ³ /den včetně započatých z celkového objemu

Obrázek 11 Četnost systematického měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiální ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje str. Příloha č. 27)

Příloha č. 28 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Příloha č. 28 k vyhlášce se věnuje stavebnímu materiálu, dle Atomového zákona přesně definuje, co se považuje za stavební materiál. Jedná se o:

- „přírodní kámen a kamenivo vytěžené na území České republiky určené k použití pro stavební účely, včetně stavebních výrobků z nich, a to
- žula, granodiorit, syenit, pegmatit, aplit, žulový porfyr, syenitový porfyr, ryolit, znělec, trachyt, andezit,
- jíl, jílovec, pískovec, písek, štěrkopísek, kaolín, černé a kamencové břidlice, tufa
- ortorula, pararula, migmatit,
- přírodní kámen a kamenivo dovezené ze státu, který není členským státem Evropské unie, a určené k použití pro stavební účely, včetně stavebních výrobků z nich,
- umělé kamenivo, zejména agloporit, perlit, keramzit, geopolymery, a výrobky z něj,
- pórobeton, škvárobeton, stavební výrobky z pórobetonu, stavební výrobky ze škvárobetonu,
- popílek, škvára, struska, sádrovec vznikající v průmyslových procesech, kaly určené k použití pro stavební účely, materiály z pracovišť podle § 92 odst. 1 písm. b) a c) atomového zákona určené k použití pro stavební účely, stavební výrobky z nich v jiných bodech neuvedené, a
- materiál z odvalů, a to rudních, uhelných a odvalů po těžbě hornin uvedených v bodě 1, a odkališť určených k použití pro stavební účely.“ (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje str. Příloha č. 28)

2.3.3 Metodika zařazení obcí do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

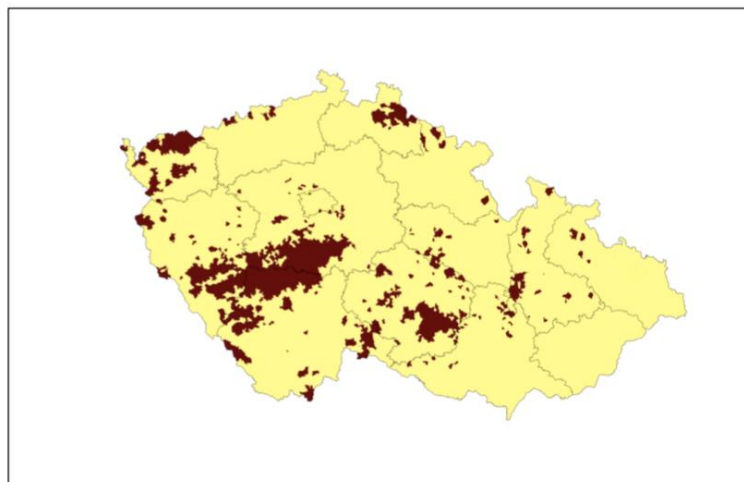
„Na území České republiky byly určeny oblasti se zvýšeným radonovým rizikem, tj. taková území, kde se očekává, že OAR (jako roční průměr) překročí národní referenční hodnotu 300 Bq/m³ ve značném množství budov.

Základní uzemní jednotkou, která byla pro tyto účely zvolena, je katastrální území obce. Jako kritérium byla použita pravděpodobnost překročení referenční úrovně objemové aktivity radonu 300 Bq/m³ podle § 93 odst. 1 vyhlášky“ (SÚJB, 2017 str. 6) vyšší než 30 %, pro tyto účely byl stanoven RIA – radonový index obce. Ty obce, které splňují podmínku z § 93 odst. 1 vyhlášky, jsou vyjmenovány v tabulce v příloze č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb. Celá tabulka je rovněž součástí příloh diplomové práce. (SÚJB, 2017 stránky 9-16)

Zjednodušený výběr uskutečněný na základě radonového indexu obce lze využít pouze za předpokladu existence dostatečného počtu měření OAR pro dané území, tedy pro jednotlivé obce. Dané měření musí mít rovněž reprezentativní povahu. Na území ČR se nacházejí obce, u kterých nejsou k dispozici dostatečné počty měření na jejich území. Pro tyto případy byl sestaven predikční model, který na základě oblastí s dostatečnou proměřeností, geologických a popisných charakteristik určuje předpokládaný RIA nedostatečně proměřené obce. Dostatečná proměřenost obce je definována jako – obec, ve které je proměřeno alespoň 10 % objektů v přízemí s minimálním vzorkem měření v alespoň 10 domech. (SÚJB, 2017 stránky 9-16)

Celkem bylo zkoumáno 6298 obcí s cílem určit jejich RIA. Počet dostatečně proměřených obcí byl 2 157 zhruba tedy 34,3 %. Dalších 542 (8,6 %) obcí disponovalo proměřeností v rozmezí 5-10 %, u zbylých 3 599 obcí byla k dispozici méně než 5 % proměřenost. Tyto obce reprezentují celkem 57,2 % území ČR. Na obrázku

12 je viditelné rozmístění obcí, u nichž předpokládáme pravděpodobnost překročení referenční úrovně 30 %. (SÚJB, 2017 stránky 9-16)



Obrázek 12 Obce s pravděpodobností překročení referenční úrovně 30 % (SÚJB, 2017 str. 23)

2.3.4 RIA – radonový index obce

Pro účely identifikace rizikových oblastí s možným zvýšeným ozářením z radonu **byl zaveden radonový index obce (RIA)**. Obec je nejmenší útvar, pro který jsou dostupné potřebné informace pro odhad pravděpodobnosti zvýšeného ozáření obyvatel v objektech. Z databáze výsledků měření v budovách byly spočteny statistické profily pro souhrn měření v rodinných domech. RIA byl pak definován:

$$RIA = \log_{10}(p(OAR > 300 \text{ Bq m}^{-3}) \cdot 100 \%),$$

kde $p(OAR > 300 \text{ Bq m}^{-3})$ udává pravděpodobnost, že OAR (objemová aktivita radonu) ve vybraných domech na daném území překročí referenční úroveň 300 Bq m^{-3} . Pro účely zařazení obcí je index stanovován v rozmezí hodnot 0-2, přičemž 0 znamená 100% nepřekročení stanovené úrovně a hodnota 2 značí 100 % překročení stanovené úrovně. Ukázka výsledné tabulky s výše zmíněnými informacemi je pak uvedena na obrázku 13. (Barnet, a další, 2009) (SÚJB, 2017 stránky 9-16)

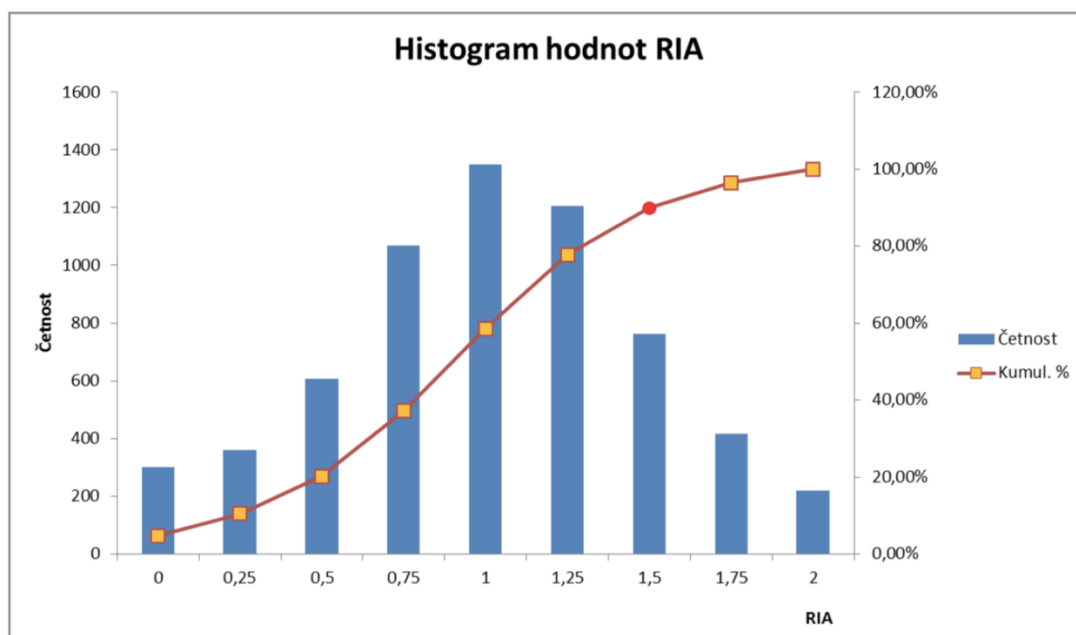
NÁZEV OBCE	OKRES	RIA	P (OAR>300)
VRCHOTOVY JANOVICE	Benešov	1,98	94,45
VOJKOV	Benešov	1,97	93,08
TOMICE	Benešov	1,87	73,79
OLBRAMOVICE	Benešov	1,83	67,36
POSTUPICE	Benešov	1,81	64,91

Obrázek 13 Ukázka seznamu vybraných obcí z přílohy č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb. (SÚJB, 2017 str. 26)

Využití tohoto postupu bylo ovšem možné pouze za předpokladu, že byl k dispozici dostatečný počet OAR pro danou jednotku, vzorek měření musel mít rovněž reprezentativní charakter. Z textu uvedeného výše je patrné, že ve všech obcích nebyly tyto podmínky splněny. Tento problém byl vyřešen pomocí predikce hodnot radonového indexu obce, na území nedostatečně proměřených obcí (65,7 % obcí na území ČR). Samotná predikce byla vytvořena na základě výsledků v dostatečně proměřených obcích (34,3 % obcí na území ČR) a geologické charakteristice daného území. Dostatečná proměřenost obce byla definována jako alespoň 10 % proměřenost přízemí obydlí na území dané obce, přičemž minimální počet měření (tedy měření v přízemí obydlí) musel být alespoň 10. V případě, že by bylo nastaveno kritérium proměřenosti na vyšší procento, byly by mezi dostatečně proměřené obce zařazeny především ty, které mají geologické podloží bohaté na radon. Protože obce, které jsou v problémových oblastech (zde je geologické podloží bohaté na radon) disponují větší proměřeností než obce, kde se předpokládá nižší index radonového rizika. (SÚJB, 2017 stránky 9-16)

U obcí s nízkým radonovým rizikem je referenční hladina překročena u méně než 30 % obydlí, tj. $RIA < 1,48$ a u obcí s vysokým radonovým rizikem je referenční hladina překročena u více než 30 % obydlí, tj. $RIA > 1,48$. Celá část tabulky, která byla použita pro účely DP je uvedena v přílohách (příloha č. 1), tabulka celá je pak dostupná na SÚJB. (SÚJB, 2017 str. 11) byla použita pro účely DP je uvedena v přílohách (příloha č. 1), tabulka celá je pak dostupná na SÚJB. (SÚJB, 2017 str. 11)

Na obrázku 14 je zřetelné zastoupení hodnot radonového indexu obce, je rovněž patrné, že rozdělení zmíněných hodnot je normální. (SÚJB, 2017 str. 19)



Obrázek 14 Histogram hodnot RIA pro obce (SÚJB, 2017 str. 20)

2.4 Mapa radonového indexu ČR

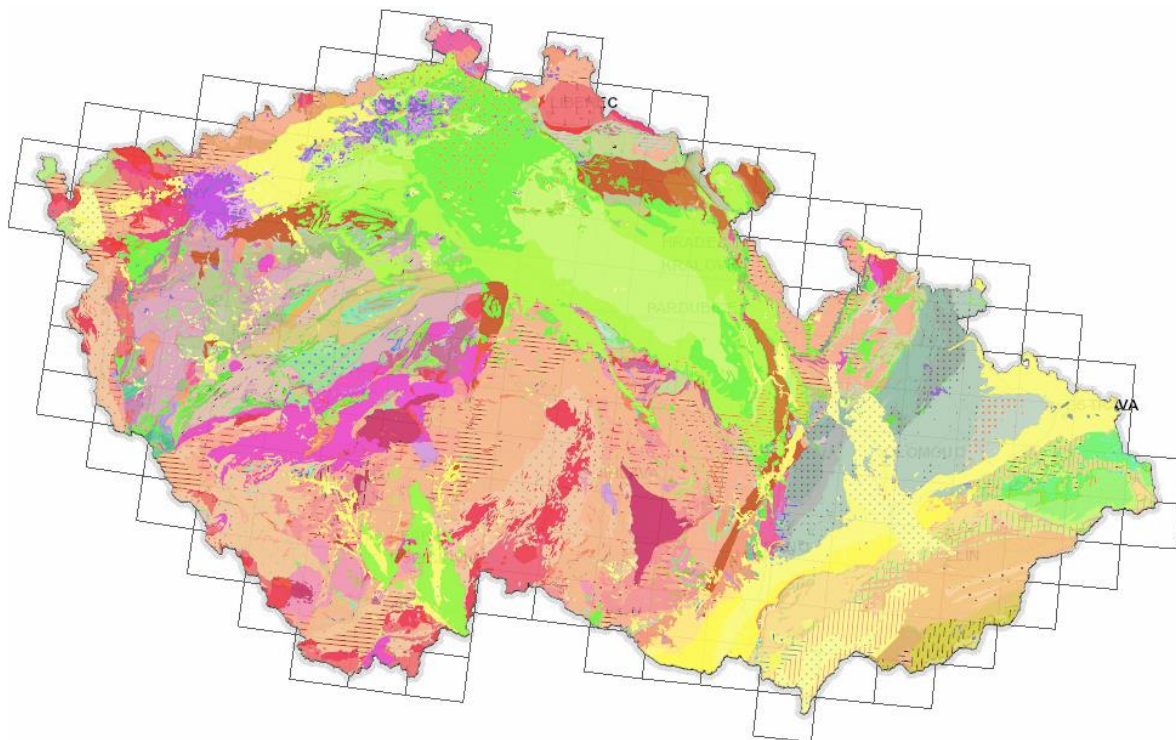
Faktor, který nejvíce ovlivňuje celkovou koncentraci radonu v budovách je obsah radonu v podloží. V práci již bylo zmíněno, že radon je součástí uran-radiové rozpadové řady a vzniká radioaktivní přeměnou z uranu. Obsah uranu v podloží se značně liší v závislosti na typu horniny. Všeobecně lze tvrdit, že v sedimentárních horninách, jako jsou například písky, pískovce, prachovce apod., je koncentrace uranu nižší. Naopak v horninách přeměnného typu – vznikajících ze všech hornin působením vysokých teplot, tlaků a vlivu okolního prostředí (mramor, grafit apod.) - je tato koncentrace vyšší. Úplně nejvyšší koncentraci pak lze předpokládat v horninách magmatického typu, jako je například žula. Přeměněný radon se potom v podloží šíří pomocí difúze nebo konvekce. Difúzí je radon šířen zejména na krátkou vzdálenost a konvekcí na delší, ta je ovšem ovlivněna propustností půdy viz kapitola 2.2.2. Zdroje radonu v budovách, Radon z podloží. (ČGS, 2019c) (Chmielewská, a další, 2007)

Podloží na území ČR je ze dvou třetin složeno z magmatických a přeměnných hornin, tudíž z hornin s vyšším obsahem uranu a následně i radonu a jeho prvků přeměny. Na základě této informace je nutné věnovat pozornost radonu pocházejícímu z tohoto prostředí, protože odtud může dále pronikat do objektů. V průběhu let 1999-2005 bylo prokázáno, že existuje přímá souvislost mezi naměřenými hodnotami radonu v budovách na přechodném indexu a kategoriemi hlubšího radonového indexu podloží. Přechodný index byl určen v geologické mapě radonového indexu podloží pro oblasti, kde se předpokládá velký rozptyl naměřených hodnot radonu v podloží z důvodu nehomogenního složení hornin. (Barnet, a další, 2010 stránky 189-192) (Barnet, a další, 2009) (Pacherová, a další, 2011) (Pacherová, a další, 2009 stránky 183–185)

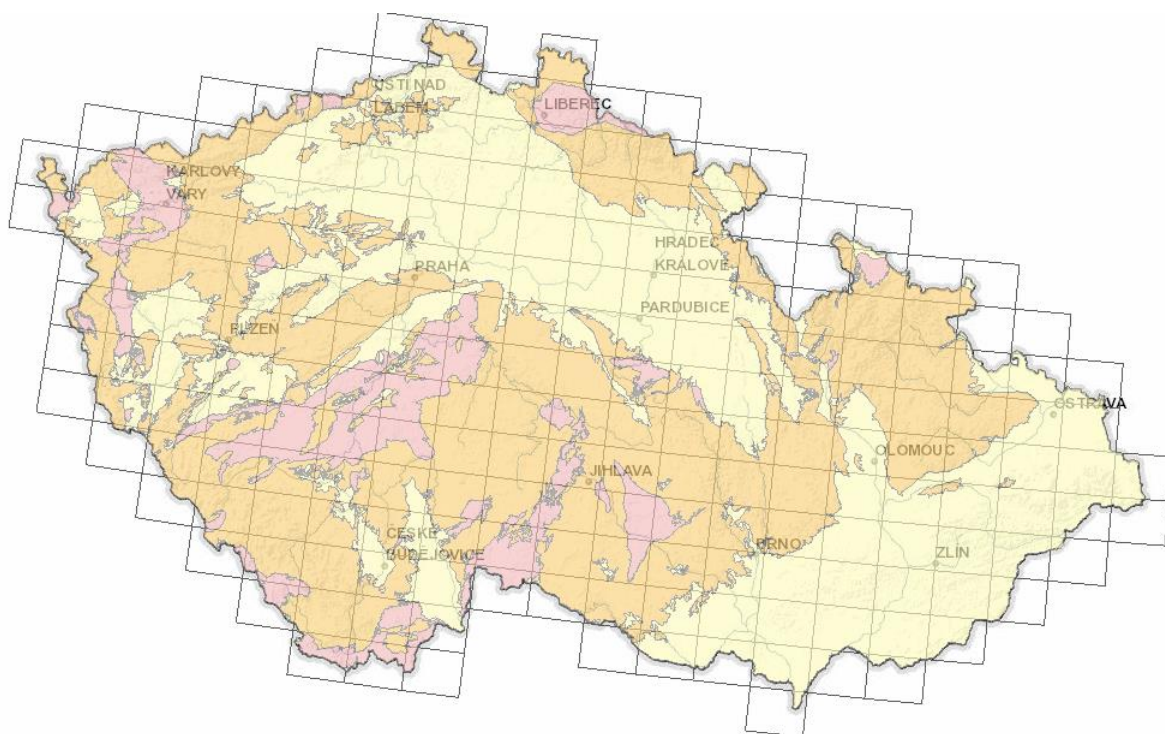
Na následujících obrázcích 15 a 16 lze vidět porovnání geologické mapy (obr. 15) a mapa radonového indexu (obr. 16).

Na obrázku číslo 17 je znázorněna legenda k mapě radonového indexu, na obrázku číslo 18 je pouze ukázka k legendě geologické mapy podloží, kompletní legenda obsahuje celkem 245 položek. Můžeme pozorovat, že horniny vyznačené, v geologické mapě, především červenou, růžovou a vínovou barvou mají v radonové mapě stanovené riziko na úrovni 3. Oblasti z radonové mapy s indexem 2 mají v geologické mapě barvu především lososovou, tmavě zelenou, fialovou a hnědou. Oblasti s barvou světle zelenou, žlutou a pískovou mají pak v mapě radonového indexu stanovené riziko na úrovni 1. Konkrétní typ horniny lze najít v podrobné legendě v aplikaci Komplexní radonová informace. Porovnáním těchto dvou map je tedy vidět závislost obsahu uranu (a následně radonu) v podloží na druhu horniny. (ČGS, 2019c) (ČGS, 2016)

Mapu radonového indexu ČR lze využít pro předurčení oblastí, kde je možno očekávat zvýšenou koncentraci radonu v objektech. Nelze ji však použít pro stanovení radonového indexu pozemku. (ČGS, 2019c)



Obrázek 15 Geologická mapa (ČGS, 2019e)



Obrázek 16 Radonová mapa (ČGS, 2019)



Obrázek 17 Legenda mapy radonového indexu (ČGS, 2019e)



Obrázek 18 Část legendy geologické mapy podloží (ČGS, 2019e)

2.4.1 Obsah radonu v podloží dle typu hornin

Obsah radonu v podloží je přímo závislý na obsahu jeho mateřského prvku uranu. Ten se v horninách vyskytuje ve dvou podobách, buď jako samostatný uranový minerál nebo v podobě horninotvorného minerálu. Ten je základem hornin a zemin. Jemnozrnnost dané horniny se podílí na uvolňování radonu do okolního prostředí. Čím víc je hornina jemnozrnná, tím se zvětšuje celkový povrch zrn, ze kterého může být přeměnou z uranu uvolňován radon. Ten se uvolňuje do mikrotřlin, mezivrstevních prostor v půdě a prostupuje směrem k povrchu přes rozvětralé horniny. Zde záleží na propustnosti dané půdy a také na teplotních gradientech. Dobře propustné půdy, jako jsou například štěrky nebo písčité podloží, nekladou při migraci radonu žádný odpor, a ten tak snadno proniká na povrch. Naopak u hornin hlinitých nebo jílovitých je radon zachycován poblíž místa svého vzniku v hlubších vrstvách půdy. Složení půd ovšem nebývá plně homogenní a mnohdy jsou tvořeny různými vrstvami s odlišnou propustností. V případě složení půdy s dobře propustnými horninami v hlubší vrstvě a špatně propustnými ve vrstvě vrchní, nedochází k migraci radonu směrem vzhůru, ale do stran. K jeho proniknutí na povrch dochází až v místech, kde je vrchní vrstva půdy propustnější. Tento jev může být problémem v případě, kdy jsou základy domu postaveny pod vrchní nepropustnou vrstvou ve vrstvě, která má propust-

nější charakter. Takový objekt poté funguje jako pomyslný „ventil“ skrze který se radon může dostávat na povrch. (Barnet, 2019)

Podle jednotlivých typů hornin lze odhadnout přibližné meze hodnot objemové aktivity radionuklidů v půdních plynech. Ovšem to pouze za podmínky, že odhadovaný vzorek je složen z homogenního horninového typu. Tato plocha by neměla být zásadně ovlivněna větší příměsí jiné horniny, měla by být poměrně celistvá, bez ovlivnění na základě tektonických a tlakových defektů. Toto jsou rovněž podmínky sloužící pro výběr oblastí při sestavování mapy radonového rizika. (Barnet, 2019)

Tabulka 3 Převažující kategorie radonového indexu v hlavních horninových typech na území ČR (Barnet, 2019)

Horninový typ	Převažující kategorie radonového indexu		
	nízká	střední	vysoká
silurské sedimenty			
durbachity a syenity			
granodiority			
granity			
ordovické sedimenty			
permské sedimenty			
karbonské sedimenty			
pararuly			
ortoruly			
proterozoické metasedimenty			
aluvium			
neogénní sedimenty			
devonské sedimenty			
říční terasy			
paleogénní sedimenty			
křídové sedimenty			

V tabulce 3 jsou rozděleny typy hornin do 3 kategorií převažujícího radonového indexu. Nejrozsáhlejší horniny s převažujícím indexem vysokého rizika lze na území ČR najít v okolí Českého masivu, patří sem horniny typu: granity, durbachity, syenity a granodiority. Další horninou, která patří do této kategorie jsou silurské sedimenty, ale vzhledem k jejich výskytu na omezené ploše, nepředstavují tak vysoké plošné ohrožení. V okolí Českého masivu se můžeme taktéž setkat s horninami spadajícími do kategorie na úrovni rizika – střední (například: para-

ruly a ortoruly krystalinika). Dalším faktorem, který ovlivňuje stanovení kategorie radonového indexu rizika je přítomnost zlomů – tektonické porušení hornin. Tento jev má za výsledek usnadněnou migraci radonu a zvýšení hodnot jeho objemové aktivity. (Barnet, 2019) (Barnet, a další, 2009 stránky 192–194)

Vlivem nehomogenity horniny a tektoniky mohou mít i horniny zařazené do původně nízké kategorie radonového indexu zvýšené hodnoty radonového indexu. Proto je, například při stanovování indexu stavebního pozemku, přistupováno k měření a stanovení konkrétního indexu daného území. (Barnet, 2019) (Barnet, a další, 2009 stránky 192–194)

2.4.2 Radonový index pozemku

Stanovení radonového indexu u konkrétního pozemku na základě měření se provádí odběrem vzorků půdního plynu. Vzorek je získán z hloubky cca 80 cm pomocí duté tyče, skrze kterou je nasáván do scintilační komory. Díky speciální povrchové úpravě stěn komory dochází při dopadu částic prvku ke vzniku světelných záblesků. Tyto záblesky jsou zaznamenávány citlivým foto násobičem a přes kalibrační rovnice je počet záblesků převeden na objemovou aktivitu radonu nacházejícího se v půdním plynu. Z důvodu možné nehomogenity a rozdílné propustnosti půdy na měřeném úseku se provádí odběr 15 vzorků půdního plynu. Pro stanovení indexu po proměření daného úseku země je zavedena následující tabulka 4. Ta určuje vztah mezi propustností dané půdy a v ní naměřené aktivity, na základě toho vztahu je tak stanoven radonový index pozemku. (Barnet, 2019) (ČGS, 2019b) (Jiránek, a další, 2012 stránky 5-7)

Tabulka 4 Klasifikace půd podle radonového indexu (Barnet, 2019)

Kategorie radonového indexu	Objemová aktivita radonu (kBq.m ⁻³) při propustnosti podloží		
	nízká	střední	vysoká
1. nízké	< 30	< 20	< 10
2. střední	30 - 100	20 - 70	10 - 30
3. vysoké	> 100	> 70	> 30

2.4.3 Radonový index stavby

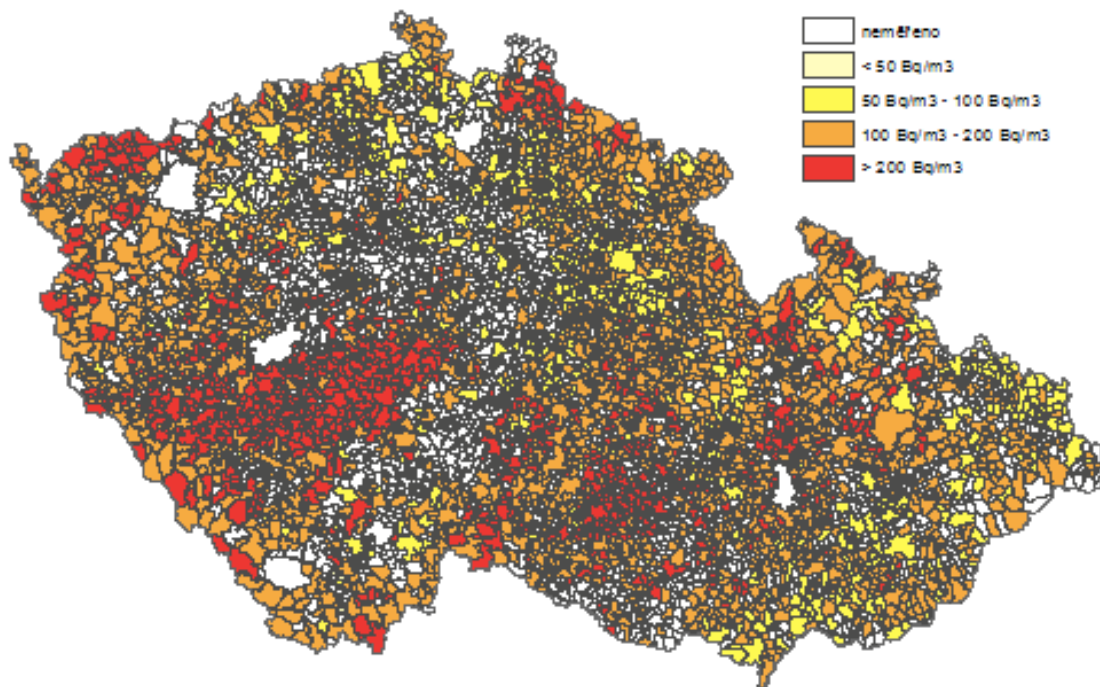
Radonový index stavby se stanovuje za účelem zhotovení podkladů pro zavedení protiradonových opatření. Index se stanovuje na základě znalosti o situování objektu v terénu, radonovém indexu pozemku, umístění obytným nebo obytných místností. Stejně jako u radonového indexu pozemku i index stavby lze rozdělit do 3 kategorií – nízká, střední, vysoká. Proces stanovení přesných hodnot je popsán v kapitole 2.2.4 Měření radonu v budovách. (JIRANEK, 2011 stránky 30-32)

Legislativa má pro ochranu fyzické osoby před přírodním ozářením ve stavbě určenou referenční úroveň stanovující hranici pro ozáření uvnitř objektu s obytnou nebo obytnou místností. Hodnota referenční úrovně je stanovena na 300 Bq/m³. Při překročení dané úrovně musí její vlastník zvážit buď provedení stavebních úprav nebo upravit způsob užívání objektu. (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje)

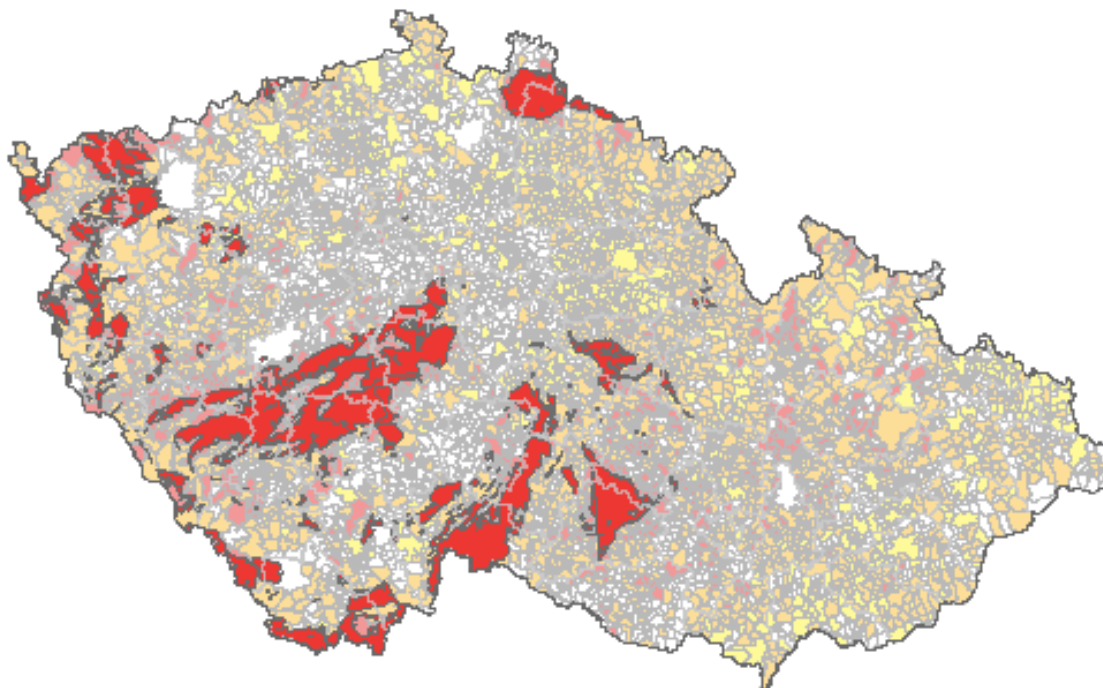
2.4.4 Srovnání radonu v podloží a v objektech

Na základě zmapování ČR a jejího rozdělení na území s radonovým indexem na úrovni – nízké, střední a vysoké, lze odhadnout území, na kterém by mohlo dojít k výskytu objektů s vyšší koncentrací radonu. Na mapě (obr. 19) uvedené níže můžeme vidět rozložení obcí ČR a koncentraci radonu v objektech. Je-li tato mapa porovnána s mapou pod ní (obr. 20) je viditelné, že obce,

kde je předpokládán výskyt objektů s vyšší koncentrací radonu (červená barva) se nacházejí na podloží s obsahem žuly. (ČGS, 2019d)

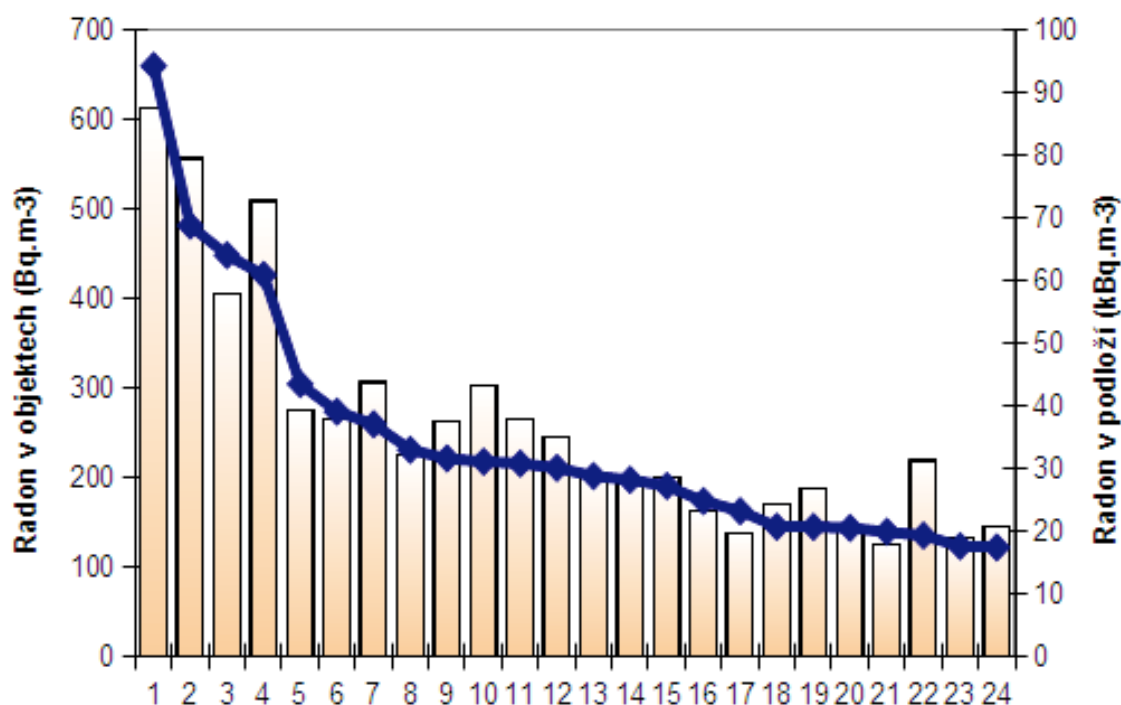


Obrázek 19 Odhadovaná úroveň radonu v objektech na základě složení geol. podloží (ČGS, 2019d)



Obrázek 20 Podloží obsahující žulu (ČGS, 2019d)

Následující graf ukazuje vztah mezi 9 100 plochami se zhodnocenou objemovou aktivitou radonu a 92 000 proměřenými objekty v závislosti na typu horninového podloží. Horniny jsou řazeny, podle objemové aktivity v radonu v podloží, od nevyšší po nejnižší, jak je vidět na obrázku. Tabulka číslo 5 upřesňuje konkrétní typ hornin nacházejících se v grafu. (ČGS, 2019d)



Obrázek 21 Graf vyjadřující vztah mezi radonem v podloží a v objektech (ČGS, 2019d)

Tabulka 5 Horninové typy z grafu podle klesající OAR (ČGS, 2019d)

1	Durbachity	13	Paleozoikum ČR bez siluru
2	Teplický ryolit	14	Terciér terrestrický
3	Variské granity	15	Moldanubické pararuly
4	Variské granodiority	16	Granulity
5	Prekambrické - paleozoické fylity	17	Prevariské diority
6	Ortoruly a migmatity	18	Kvarcity, erlány, amfibolity v moldanubiku
7	Trondhjemit	19	Prevariské granitoidy
8	Terciér - Český masív	20	Terciér alpský
9	Svory	21	Neovulkanity Českého masívu
10	Neoproterozoikum	22	Gabra
11	Paleovulkanity	23	Mezozoické sedimenty
12	Variské diority	24	Terciér marinní - Karpaty

Pracovníci Státního ústavu radiační ochrany provedli srovnání se vzorkem 464 obcí, kde bylo proměřeno více než 30 % objektů. Podle map radonového indexu ČR byla na území těchto obcí, zjištěna převládající hodnota radonového indexu 3 – vysoká. Podle výsledků srovnání odpovídal radonový index podloží radonovému indexu v objektech v 70–80 % případech, přičemž nebyl brán v potaz technický stav budov ani jejich přesná poloha na území dané vesnice. (ČGS, 2019d)

Zmapování geologického podloží ČR nelze použít jako samostatný parametr, který by stanovil radonový index pozemku nebo stavby. Za tímto účelem je nutné provedení individuálních měření. Ovšem je možné jej použít jako predikční nástroj, podle něhož mohou být vytypovány nejvíce postižené oblasti. (ČGS, 2019d)

3 CÍL PRÁCE

3.1 Cíl práce

Cílem práce je zhodnocení souladu údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR s přehledem oblastí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. V případě zjištění nesouladu mezi porovnávanými údaji, budou v diskuzi uvedeny návrhy na úpravu metodiky pro výběr oblastí s možným zvýšeným ozářením z radonu.

3.2 Stanovené hypotézy

H1: Existuje nesoulad mezi oblastmi uvedenými v mapě radonového indexu ČR a přílohou č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

H2: Existují obce s převažujícím radonovým indexem 1–2, a přesto jsou zařazeny v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

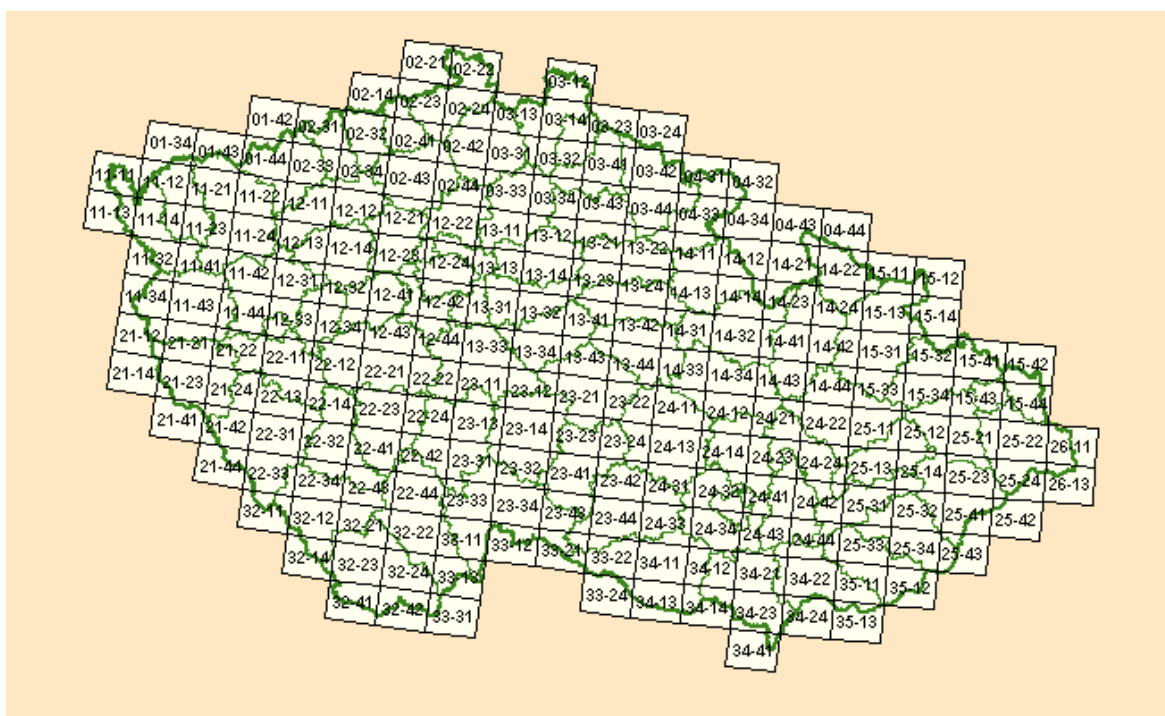
H3: Existují obce, které mají převažující radonový index 3 a nejsou zařazeny do přílohy č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

4 METODIKA

4.1 Použitá metodika analýzy údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR

Pro zpracování analýzy údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR jsem nejprve volila cestu aplikace programátorského algoritmu. Tento způsob zpracování dat byl prováděn na konzultacích ve spolupráci s IT programátorem Jakubem Skořepou. Volená metodika měla následující průběh.

Jako zdrojová stránka mapy radonového indexu byl použit web ČESKÉ GEOLOGICKÉ SLUŽBY ¹. Po otevření záložky Radonové mapy v hlavním menu se otevře následující mapa.



Obrázek 22 Mapa radonového indexu (ČGS, 2019a)

Nejprve bylo třeba zjistit, zda z této mapy půjdou získat data, která byla potřebná k provedení analýzy. Data obsažená v příslušné mapě jsou napsána ve sta-

¹ Dostupný na: http://www.geology.cz/demo/CD_RADON50/index/aplikace.htm

tické struktúře, což pro účely práce znamenalo, že takto zapsaná data jsou zobrazena všechna najednou a dají se tedy programem „přečíst“. Dále bylo nutné zkontrolovat, zda mají jednotlivé údaje v mapě stejnou strukturu, aby bylo možné na ně aplikovat jednotný automatizovaný způsob (algoritmus), jak se dostat k detailu mapy a získat z něj potřebná data. Tato podmínka byla také splněna, tudíž bylo možné použít skript (jedná se o automatizovaný způsob získání dat – spustitelný soubor v podobě textového dokumentu, který je psán ve skriptovacím jazyce – jazyk určen k automatizaci úloh).

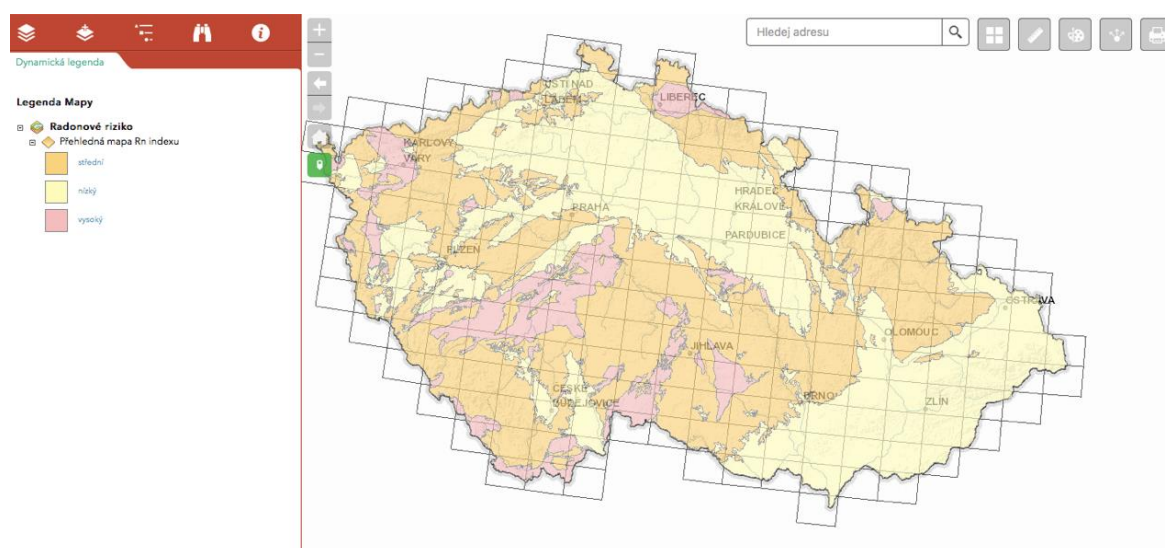
Z algoritmu jsem získala 9 105 obcí s hodnotou nízká (1), střední (2), nebo vysoká (3). Při zpracovávání dat v Excelu jsem ovšem narazila na problém pojmenování obcí získaných z mapy radonového indexu a přiřazování jejich hodnot k obcím stanoveným ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. Hlavní důvod nemožnosti přesného zpracování dat byl v názvech obcí, některá jména se opakovala, některá nebyla napsána totožně (např.: Ústí nad Labem x Ústí N/L) a mnohé obce v ČR mají stejný název. Bylo tedy třeba roztrždit obce podle krajů a okresů. Při konzultaci možného dalšího postupu v získání nových upravených dat bylo ovšem zjištěno, že takto rozdělená data z mapy získat nelze. Údaje v mapě byly rozděleny podle statických čtverců, jejichž rozložení v mapě nerespektovalo hranice okresů ani krajů. Zpracování již získaných údajů by bylo velice nepřesné a chybovost by byla velká, a protože nebylo možné získaná data zpracovat spolehlivě rozhodla jsem se zvolit jiný způsob analyzování dat z mapy radonového indexu.

Po krátké konzultaci s paní Janou Karenovou z ČGS jsem zjistila, že data, která na zpracování práce potřebuju, nejsou volně k dispozici. Z důvodu co nejpřesnějšího provedení jsem se proto rozhodla data analyzovat ručně.

V případě manuálního rozboru by byl zkoumaný vzorek celé ČR moc velký, proto jsem si nejprve vybrala, po konzultaci s vedoucí práce, 3 kraje, ve kterých byla analýza provedena. Rozhodla jsem se pro Ústecký kraj, protože z něj pochá-

zím a dále pro Prahu a Středočeský kraj, protože v něm se nachází fakulta FBMI a škola ČVUT. Výběr těchto oblastí měl rovněž poskytnout vyvážený vzorek určený ke komparaci. Středočeský kraj je oproti Ústeckému více postižen částmi území s vyšším radonovým indexem.

Nejprve jsem si našla seznamy obcí² v jednotlivých krajích, které byly rozděleny podle okresů a následně jsem si je převedla do programu Excel. K získání hodnot radonového rizika u jednotlivých obcí jsem tentokrát využila aplikaci od ČESKÉ GEOLOGICKÉ SLUŽBY a SÚJB s názvem Komplexní radonová informace³. Na rozdíl od mapy první byla tato dynamická a interaktivní.



Obrázek 23 Mapa radonového indexu z aplikace Komplexní radonová informace (ČGS, 2019e)

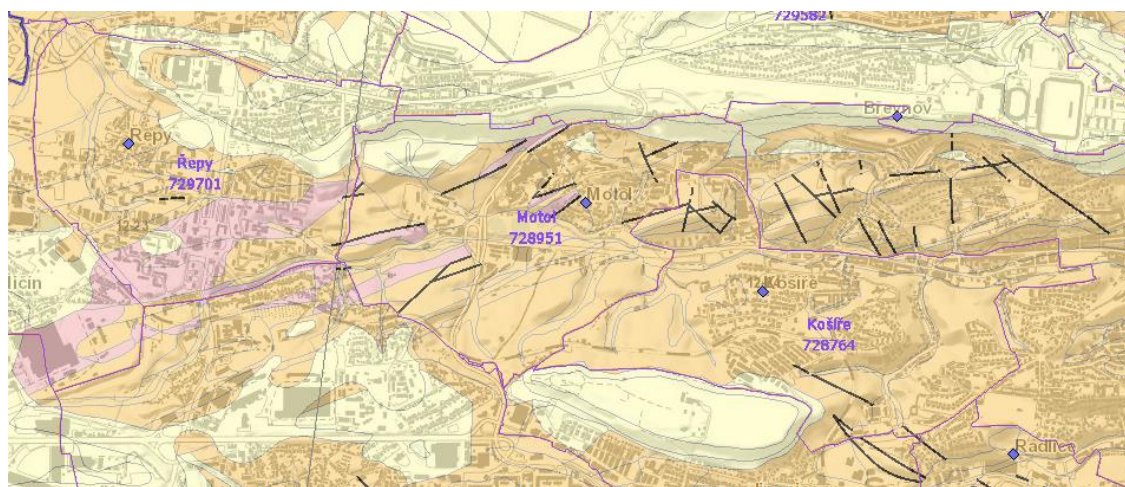
Díky tomu bylo vyhledávání obcí daleko snazší. Konkrétní obec jsem vyhledala podle jména a zkontrolovala její polohu podle kraje a také okresu, protože některé obce se stejným názvem se vyskytovaly v jednom kraji i dvakrát. Dále jsem určovala, podle grafického znázornění v mapě, převažující index radonového rizika na území obce (1 - nízký, 2 – střední, 3 – vysoký). Převažující proto, protože na území jedné obce byly mnohdy všechny tři hodnoty indexu radonového rizika.

² Nalezené na: https://www.info.mfcr.cz/ares/obce/ares_obce.html.cz

³ Dostupné na: <https://mapy.geology.cz/radon/>

Rozhodla jsem se vybrat právě ten dominující. V případě zvolení nejvyššího indexu na území obce by mohlo docházet ke značnému zkreslení a nadhodnocení výsledků. Index RIA využívaný pro výběr rizikových obcí se rovněž nezakládá na nejvyšší naměřené hodnotě v obci. Snažila jsem se tak dosáhnout co nejrelevantnějších výsledků.

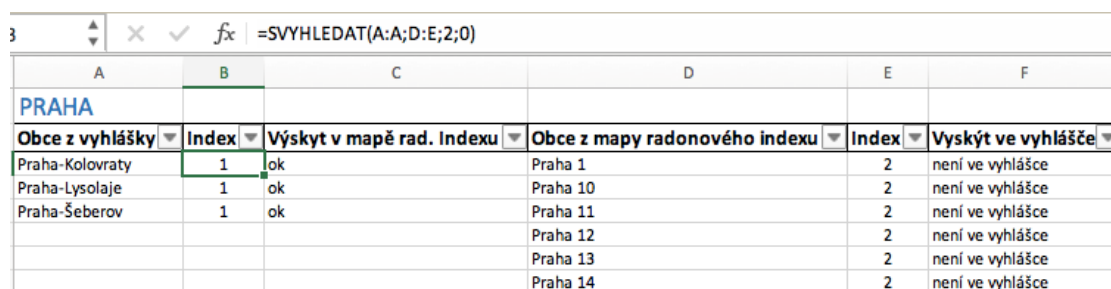
V aplikaci bylo možné zapnout doplňkovou službu katastrálních map a administrativních jednotek, což ještě zvýšilo přesnost analýzy, a to především na území Prahy. Na obrázku 24 je vidět praktické využití těchto doplňků. Hranice území dané oblasti jsou jasně viditelné a lze tak s přesností určit, že například na území části města Praha, s názvem Motol se vyskytují všechny tři indexy radonového rizika, ale převažující index má hodnotu 2 – střední. Takto jsem postupně vyhodnotila všech 1 563 zkoumaných vzorků a získala základní data potřebná k provedení komparace.



Obrázek 24 Ukázka rozložení katastrálních jednotek na území Prahy (ČGS, 2019e)

4.2 Komparace údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR s přehledem obcí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Data získaná z analýzy mapy radonového indexu jsem dále zpracovávala v programu Excel. V této chvíli jsem měla seznam obcí z vybraných krajů a k nim přiřazené hodnoty 1-3 podle převažujícího radonového indexu na území dané obce. Následně jsem do souboru přidala seznam obcí z vybraných krajů zařazených v příloze č. 25 ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. Tento seznam byl rozdělen podle krajů a okresů. Následovalo přiřazení hodnot převažujícího indexu z analyzovaných údajů mapy k obcím stanoveným ve vyhlášce. Tento krok jsem provedla pomocí vzorce. V tomto vzorci jsem využila funkci SVYHLEDAT, celé znění pak bylo: =SVYHLEDAT(A:A;D:E;2;0). Na obrázku 25 vidíme tabulku a v horním řádku praktické využití vzorce. Ve sloupci A jsou obce uvedené ve vyhlášce, ve sloupci B je přiřazený index, ve sloupci D jsou všechny obce patřící do daného kraje a ve sloupci E potom jejich převažující index radonového rizika získaný z mapy. Zmíněný vzorec tedy říká, že hodnotám ve sloupci A mají být přiřazeny hodnoty z oblasti sloupce E, přičemž sloupec D slouží k určení totožného názvu obce ve sloupci A, ke kterému se přiřadí hodnota ze sloupce E. Oblast určená pro vypsání hodnoty je potom ve sloupci B.



A	B	C	D	E	F
PRAHA					
Obce z vyhlášky	Index	Výskyt v mapě rad. Indexu	Obce z mapy radonového indexu	Index	Vyskyt ve vyhlášce
Praha-Kolovraty	1	ok	Praha 1	2	není ve vyhlášce
Praha-Lysolaje	1	ok	Praha 10	2	není ve vyhlášce
Praha-Šeberov	1	ok	Praha 11	2	není ve vyhlášce
			Praha 12	2	není ve vyhlášce
			Praha 13	2	není ve vyhlášce
			Praha 14	2	není ve vyhlášce

Obrázek 25 Ukázka použitého vzorce při přiřazování hodnot indexu

Sloupec F potom slouží k uvedení informace, zda je obec zařazena ve vyhlášce či nikoliv. Pomocí filtru pak lze volit různé kombinace hodnot indexů, zařazení/nezařazení ve vyhlášce, názvu obce. Lze tak aktivně pracovat s vyhodnocením

a porovnáváním dat. Sloupec C je určen pouze ke kontrole výskytu obce v celkovém výpisu obcí z mapy. Jeho účel byl minimalizovat případnou chybovost.

A	B	C	D	E	F
PRAHA					
Obce z vyhlášky	Index	Výskyt v mapě rad. Indexu	Obce z mapy radonového indexu	Index	Vyskyt ve vyhlášce
Praha-Kolovraty	1	ok	Praha 1	2	není ve vyhlášce
Praha-Lysolaje	1	ok	Praha 10	2	není ve vyhlášce
Praha-Šeberov	1	ok	Praha 11	2	není ve vyhlášce
			Praha 12	2	není ve vyhlášce
			Praha 13	2	není ve vyhlášce
			Praha 14	2	není ve vyhlášce

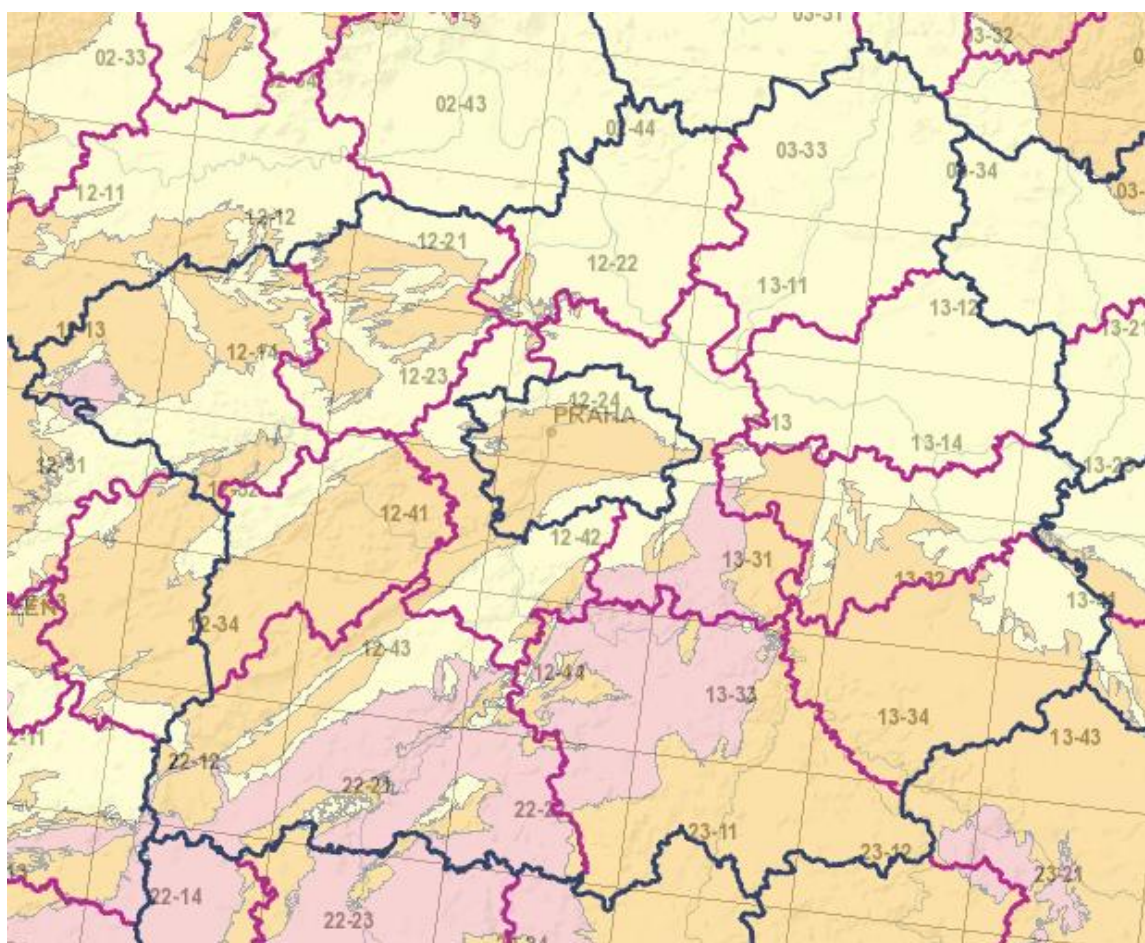
Obrázek 26 Zpracování dat ve sloupci F

Pro zpracování dat ve sloupci F (viz obrázek 26) byl použit vzorec s funkcemi KDYŽ, JE.CHYBHODN A SVYHLEDAT. Celé jeho znění bylo: =KDYŽ(JE.CHYBHODN(SVYHLEDAT(D:D;A:A;1;0));"není ve vyhlášce"; „ok“). Vzorec říká, že když bude nalezena hodnota ze sloupce D ve sloupci A, vypíše se do sloupce F „ok“(pravda), pokud nebude hodnota nalezena (chybná hodnota), vypíše se do sloupce F „není ve vyhlášce“(nepravda). Bylo třeba kombinovat výše vypsané funkce. Funkce KDYŽ určuje podmínku, která je buď splněna (pravda) nebo nesplněna (nepravda), SVYHLEDAT vyhledává shodu ve sloupcích A a D, funkce JE.CHYBHODN je použita v případě neexistence hledané hodnoty, aby mohla správně fungovat funkce KDYŽ – v případě chybné (neexistující) hodnoty vyvrátí pravdu ve funkci KDYŽ. Posledním krokem bylo přiřazení RIA indexu k obcím z přílohy č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb. V celé komparaci jsem porovnávala 146 obcí zařazených do přílohy číslo 25 z vyhlášky č. 422/2016 Sb. s celkem 1 563 obcemi, které jsou součástí Středočeského kraje, Ústeckého kraje a Prahy. Pro přehlednost jsem si kraje rozdělila do rozdílných listů v excelovém souboru a s každým jsem tak pracovala zvlášť. Ústecký a Středočeský kraj byl pak rozdělen ještě podle okresů. abych tak předešla případné záměně hodnot v případě výskytu obcí s totožným názvem ve stejném kraji. Výsledky, ke kterým jsem po provedení komparace dospěla, budou interpretovány v následující kapitole číslo 5 Výsledky.

5 VÝSLEDKY

5.1 Středočeský kraj

Území Středočeského kraje je složeno z geologického podloží, které je kategorizováno všemi stupni radonového indexu (tedy 1, 2 a 3). Mezi okresy, které jsou nejvíce postiženy indexem na úrovni 3 patří okres Příbram, Benešov a Praha-východ. Okresy Rakovník, Praha-západ a Kolín mají na svém území také index 3, ale jeho rozloha je na území okresů minimální – viz obrázek 27 (modrá čára vyznačuje hranice kraje, růžová pak hranice jednotlivých okresů). V dalších okresech se index radonového rizika na úrovni 3 vyskytuje pouze na drobných ojedinělých plochách.



Obrázek 27 Středočeský kraj v měřítku 1:96768 (ČGS, 2019e)

Radonový index 2 se vyskytuje především v okresech Mělník, Kladno, Rakovník, Beroun, Příbram, Praha-západ, Benešov, Praha-východ, Kutná Hora, Kolín, Nymburk. Okresy Mělník a Mladá Boleslav mají na svém území radonový index 2 rozložen na ojedinelých plochách. Mezi okresy na jejichž území dominuje radonový index 1 patří Mělník, Mladá Boleslav a Kladno. Své zastoupení má tento index ovšem i ve všech zbylých okresech, přičemž na území okresu Benešov je jeho rozloha minimální.

5.1.1 Okres Benešov

Tabulka 6 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okresu Benešov

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Benešov	BENEŠOV	1,5	3
Benešov	BÍLKOVICE	1,53	2
Benešov	BUKOVANY	1,8	3
Benešov	BYSTRICE	1,74	3
Benešov	ČAKOV	1,73	3
Benešov	DIVIŠOV	1,56	2
Benešov	HEŘMANIČKY	1,7	2
Benešov	CHOTÝŠANY	1,72	3
Benešov	KŘEČOVICE	1,7	2
Benešov	LITICHOVICE	1,72	3
Benešov	MARŠOVICE	1,64	3
Benešov	MRAČ	1,75	3
Benešov	NEVEKLOV	1,64	3
Benešov	OLBRAMOVICE	1,83	3
Benešov	OSTŘEDEK	1,5	3
Benešov	POPOVICE	1,5	2
Benešov	POSTUPICE	1,81	3
Benešov	SMILKOV	1,51	2
Benešov	STRANNÝ	1,77	2
Benešov	STRUHAŘOV	1,59	3
Benešov	STŘEZIMÍŘ	1,51	2
Benešov	TEPLÝŠOVICE	1,6	3
Benešov	TISEM	1,73	3
Benešov	TOMICE	1,87	3
Benešov	TŘEBEŠICE	1,59	3
Benešov	VÁCLAVICE	1,69	3
Benešov	VELIŠ	1,65	2
Benešov	VOJKOV	1,97	3
Benešov	VOTICE	1,81	2
Benešov	VRCHOTOVY JANOVICE	1,98	3

V tabulce č. 6 jsou uvedeny výsledky komparace oblastí určených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. s totožnými oblastmi v mapě radonového indexu. Buňky vyznačené žlutou barvou určují ty obce, u kterých byla vyhláška,

v porovnání s výsledným převažujícím radonovým indexem z mapy geologického podloží, přísnější, tzn.: převažující radonový index geologického podloží je nižší než 3. Mezi tyto obce patří: Bílkovice, Divišov, Heřmaničky, Křečovice, Popovice, Smilkov, Stranný, Střeziměř, Veliš, Votice, celkem tedy 10. U zbylých 20 obcí byla komparací zjištěna shoda.

Tabulka 7 Vyhodnocení obcí nezařazených do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb.

Okres	Obce z mapy radonového indexu	Index	Výskyt obce ve vyhlášce
Benešov	Čerčany	3	není ve vyhlásce
Benešov	Čtyřkoly	3	není ve vyhlásce
Benešov	Chářovice	3	není ve vyhlásce
Benešov	Chleby	3	není ve vyhlásce
Benešov	Chlístov	3	není ve vyhlásce
Benešov	Chrástany	3	není ve vyhlásce
Benešov	Kozmice	3	není ve vyhlásce
Benešov	Krhanice	3	není ve vyhlásce
Benešov	Krňany	3	není ve vyhlásce
Benešov	Lštění	3	není ve vyhlásce
Benešov	Nespeky	3	není ve vyhlásce
Benešov	Netvořice	3	není ve vyhlásce
Benešov	Petroupim	3	není ve vyhlásce
Benešov	Poříčí nad Sázavou	3	není ve vyhlásce
Benešov	Pyšely	3	není ve vyhlásce
Benešov	Radošovice	3	není ve vyhlásce
Benešov	Řehenice	3	není ve vyhlásce
Benešov	Týnec nad Sázavou	3	není ve vyhlásce
Benešov	Vodslivý	3	není ve vyhlásce
Benešov	Vranov	3	není ve vyhlásce
Benešov	Vysoký Újezd	3	není ve vyhlásce
Benešov	Xaverov	3	není ve vyhlásce

Tabulka č. 7 uvádí další výsledky z komparace a obsahuje obce, které nebyly zařazeny do vyhlášky a jejich převažující index z mapy radonového indexu je 3 – vysoký. Celkový počet nezařazených obcí je 22, konkrétně se jedná o: Čerčany, Čtyřkoly, Chářovice, Chleby, Chlístov, Chrástany, Kozmice, Krhanice, Krňany, Lštění, Nespeky, Netvořice, Petroupim, Poříčí nad Sázavou, Pyšely, Radošovice, Řehenice, Týnec nad Sázavou, Vodslivý, Vranov, Vysoký Újezd, Xaverov.

Celkový vzorek zkoumaný na území okresu Benešov čítal 114 obcí, přičemž 30 obcí bylo zařazeno do vyhlášky. Ze 30 zařazených obcí do vyhlášky byla zjištěna shoda u 20 vzorků a u 10 nesoulad. U zbylých 84 nezařazených obcí do vyhlášky byl zjištěn nesoulad s 22 obcemi.

5.1.2 Okres Příbram

Tabulka 8 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okresu Příbram 1. část

Příbram	BEZDĚKOV POD TŘEMŠÍNEM	1,73	2
Příbram	BOROTICE	1,72	2
Příbram	ČÍM	1,66	3
Příbram	DALEKÉ DUŠNÍKY	1,96	3
Příbram	DOLNÍ HBITY	1,81	3
Příbram	DRAHENICE	1,77	2
Příbram	DRÁSOV	1,89	3
Příbram	DUBENEC	1,52	2
Příbram	DUBLOVICE	1,88	3
Příbram	HÁJE	1,93	3
Příbram	HLUBYNĚ	1,68	3
Příbram	HORČÁPSKO	1,59	3
Příbram	HŘIMĚŽDICE	1,72	3
Příbram	HUDČICE	1,82	3
Příbram	HVOŽĎANY	1,57	3
Příbram	CHOTILSKO	1,57	3
Příbram	CHRÁST	1,6	3
Příbram	CHRAŠTICE	1,93	2
Příbram	JABLONNÁ	1,85	3
Příbram	JESENICE	1,72	3
Příbram	KAMÝK NAD VLTAVOU	1,68	3
Příbram	KLUČENICE	1,93	3
Příbram	KŇOVICE	1,74	3
Příbram	KORKYNĚ	1,61	3
Příbram	KOSOVA HORA	1,72	3
Příbram	KOUPĚ	1,67	1
Příbram	KOZÁROVICE	1,93	3
Příbram	KRÁSNÁ HORA NAD VLTAVOU	1,85	3
Příbram	KŘEPENICE	1,75	3
Příbram	LÁZ	1,56	1
Příbram	LEŠETICE	1,97	3
Příbram	LHOTA U PŘÍBRAMĚ	1,58	2
Příbram	MALÁ HRAŠTICE	1,73	1
Příbram	MILEŠOV	1,78	3
Příbram	MODŘOVICE	1,73	1
Příbram	NALŽOVICE	1,79	3
Příbram	NARYSOV	1,79	2
Příbram	NEČÍN	1,78	3
Příbram	NEDRAHOVICE	1,84	3

Tabulka 9 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okresu Příbram 2. část

Příbram	NEDRAHOVICE	1,84	3
Příbram	NECHVALICE	1,63	3
Příbram	NOVÁ VES POD PLEŠÍ	1,62	1
Příbram	NOVÉ DVORY	1,68	1
Příbram	OBORY	1,9	3
Příbram	OBOŘIŠTĚ	1,59	1
Příbram	OSEČANY	1,67	3
Příbram	OSTROV	1,89	2
Příbram	OUBĚNICE	1,91	3
Příbram	PEČICE	1,63	2
Příbram	PETROVICE	1,89	2
Příbram	POČEPICE	1,81	3
Příbram	PROSENICKÁ LHOTA	1,85	3
Příbram	PŘÍBRAM	1,52	2
Příbram	PŘÍČOVY	1,86	3
Příbram	RADĚTICE	1,82	3
Příbram	RADÍČ	1,93	3
Příbram	ROŽMITÁL POD TŘEMŠÍNEM	1,49	3
Příbram	RYBNÍKY	1,69	1
Příbram	SEDLČANY	1,75	3
Příbram	SEDLEC-PRČICE	1,85	3
Příbram	SMOLOTELY	1,88	3
Příbram	STARÁ HUŤ	1,65	1
Příbram	STAROSEDLSKÝ HRÁDEK	1,82	3
Příbram	SVATÝ JAN	1,85	3
Příbram	ŠTĚTKOVICE	1,92	3
Příbram	TĚCHAŘOVICE	1,51	3
Příbram	TŘEBSKO	1,81	1
Příbram	VELKÁ LEČICE	1,64	1
Příbram	VĚŠÍN	1,73	3
Příbram	VIŠŇOVÁ	1,87	3
Příbram	VOLENICE	1,54	1
Příbram	VRANČICE	1,68	3
Příbram	VRANOVICE	1,62	2
Příbram	VŠEVILY	1,97	2
Příbram	VYSOKÝ CHLUMEC	1,81	3
Příbram	ZALUŽANY	1,95	3
Příbram	ZDUCHOVICE	1,86	3
Příbram	ŽUPANOVICE	1,84	2

V tabulce č. 8 a 9 jsou uvedeny výsledky komparace oblastí určených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. s totožnými oblastmi v mapě radonového indexu. Buňky vyznačené žlutou barvou určují ty obce, u kterých byla vyhláška, v porovnání s výsledným převažujícím radonovým indexem z mapy geologického podloží, přísnější, tzn.: Bezděkov pod Třemšínem, Borotice, Drahenice, Dubenec, Chrašnice, Koupě, Láz, Lhota u Příbramě, Malá Hrašnice, Modřovice, Narysov,

Nová Ves pod Pleší, Nové Dvory, Obořiště, Ostrov, Pečice, Příbram, Rybníky, Stará Huť, Třebsko, Velká Lečice, Volenice, Vranovice, Vševely, Županovice.

Tabulka 10 Vyhodnocení obcí nezařazených do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. v okrese Příbram

Okres	Obce z mapy radonového indexu	Index	Výskyt obce ve vyhlášce
Příbram	Březnice	3	není ve vyhlášce
Příbram	Drevníky	3	není ve vyhlášce
Příbram	Drhovy	3	není ve vyhlášce
Příbram	Lazsko	3	není ve vyhlášce
Příbram	Milín	3	není ve vyhlášce
Příbram	Nový Knín	3	není ve vyhlášce
Příbram	Svojšice	3	není ve vyhlášce
Příbram	Tochovice	3	není ve vyhlášce

V tabulce číslo 10 jsou uvedeny obce, jejichž převažující index byl vyšší než 3, ale přesto nebyly zařazeny do přílohy číslo 25. ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. Jedná se o celkem 8 obcí: Březnice, Drevníky, Drhovy, Lazsko, Milín, Nový Knín, Svojšice, Tochovice.

V okrese Příbram je celkem 121 zkoumaných obcí z čehož je 77 obcí zařazeno do vyhlášky. Nesoulad u obcí, které byly zařazeny ve vyhlášce, byl zjištěn u 26 obcí, ty měly nižší hodnoty než 3. U 44 nezařazených obcí byl nesoulad zjištěn v celkovém počtu 8 obcí. Tyto obce měly převažující index 3.

5.1.3 Okres Rakovník

Tabulka 11 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okrese Rakovník

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Rakovník	VELKÁ CHMELIŠTNÁ	1,52	3

V tabulce číslo 11 je uvedena obec, která byla jako jediná z okrese Rakovník zařazena do vybraných oblastí z přílohy č. 25. vyhlášky č. 422/2016 Sb. Jedná se o obec s názvem Velkou Chmelištnou. V tomto případě byla zjištěna shoda vyhlášky a radonového indexu mapy geologického podloží dané obce.

Tabulka 12 Vyhodnocení obcí nezařazených do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. v okrese Rakovník

Okres	Obce z mapy radonového indexu	Index	Výskyt obce ve vyhlášce
Rakovník	Drahouš	3	není ve vyhláске

Tabulka č. 12 uvádí obec, která není zařazena do vyhlášky, ale její převažující radonový index je podle mapy geologického podloží stanoven na úroveň indexu 3. V okrese Rakovník je pouze jedna obec, která je v nesouladu s vyhláskou, a tou je Drahouš.

Celkový vzorek zkoumaný na území okrese Rakovník byl 83 obcí, přičemž pouze 1 obec byla zařazena do vyhlášky a byla u ní zjištěna shoda. U zbylých 82 nezařazených obcí do vyhlášky byl zjištěn nesoulad pouze s 1 obcí.

5.1.4 Okres Praha-západ

Tabulka 13 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okrese Praha-západ

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Praha-západ	BOJANOVICE	1,72	2
Praha-západ	BRATŘÍNOV	1,75	1
Praha-západ	ČIČOVICE	1,62	1
Praha-západ	PETROV	1,51	1
Praha-západ	SVRKYNĚ	1,58	1
Praha-západ	ŠTĚCHOVICE	1,74	1
Praha-západ	TRNOVÁ	1,55	1

V tabulce č. 13 jsou uvedeny výsledky komparace oblastí určených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. s totožnými oblastmi v mapě radonového indexu. Buňky vyznačené žlutou barvou určují ty obce, u kterých byla vyhláška, v porovnání s výsledným převažujícím radonovým indexem z mapy geologického podloží, přísnější tzn.: Bojanovice, Bratřínov, Čočovice, Petrov, Svrkyně, Štěchov, Trnová. V těchto obcích je stanoven radonový index v rozmezí 1-2.

Tabulka 14 Vyhodnocení obcí nezařazených do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. v okrese Praha-západ

Okres	Obce z mapy radonového indexu	Index	Výskyt obce ve vyhlášce
Praha-západ	Kamenný Přívoz	3	neni ve vyhlásce
Praha-západ	Ořech	3	neni ve vyhlásce
Praha-západ	Pohoří	3	neni ve vyhlásce
Praha-západ	Slapy	3	neni ve vyhlásce
Praha-západ	Vonoklasy	3	neni ve vyhlásce

Tabulka č. 14 obsahuje obce, u kterých byl zjištěn nesoulad s přílohou č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. a to konkrétně u obcí: Kamenný Přívoz, Ořech, Pohoří, Slapy, Vonoklasy. U těch byl zjištěn převažující index s hodnotou 3.

V okrese Praha-západ je celkem 79 zkoumaných obcí z čehož je 77 obcí zařazeno do vyhlášky. Nesoulad u obcí, které byly zařazeny ve vyhlášce byl zjištěn u 26 obcí, jež měly nižší hodnoty než 3. U 44 nezařazených obcí byl nesoulad zjištěn v celkovém počtu 8 obcí a tyto obce měly převažující index 3.

5.1.5 Okres Praha-východ

Tabulka 15 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okrese Praha-východ

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Praha-východ	BABICE	1,55	3
Praha-východ	BŘEZÍ	1,52	1
Praha-východ	KLECANY	1,51	1
Praha-východ	LOUŇOVICE	1,57	3
Praha-východ	ŠTÍHLICE	1,66	3
Praha-východ	TEHOVEC	1,5	3
Praha-východ	VYŽLOVKA	1,48	3

V tabulce číslo 15 jsou uvedeny výsledné obce, které byly zařazeny do přílohy č. 25. vyhlášky č. 422/2016 Sb. v okrese Praha-východ. Vyhláška obsahuje celkem 7 obcí z tohoto okresu, přičemž 2 z nich jsou v nesouladu s provedenou komparací, u zbylých 5 obcí byla zjištěna shoda: Babice, Louňovice, Štíhllice, Tehovec, Vyžlovka. Obce, které nekorespondují s převažujícím indexem z mapy radonového indexu jsou: Březí a Klecany, jejich index je 1.

Tabulka 16 Vyhodnocení obcí nezařazených do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. v okrese Praha-východ

Okres	Obce z mapy radonového indexu	Index	Výskyt obce ve vyhlášce
Praha-východ	Doubek	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Hrusice	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Jevany	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Kaliště	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Kamenice	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Kostelec u Křížků	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Křížkový Újezdec	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Mirošovice	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Mnichovice	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Mukařov	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Ondřejov	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Pětihosty	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Petříkov	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Senohraby	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Sulice	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Svojetice	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Škvorec	3	neni ve vyhláске
Praha-východ	Velké Popovice	3	neni ve vyhláске

V tabulce číslo 16 jsou uvedeny obce, jejichž převažující index byl vyšší než 3, ale přesto nebyly zařazeny do přílohy číslo 25. ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. Jedná se o celkem 18 obcí: Doubek, Hrusice, Jevany, Kaliště, Kamenice, Kostelec u Křížků, Křížkový Újezdec, Mirošovice, Mnichovice, Mukařov, Ondřejov, Pětihosty, Petříkov, Senohraby, Sulice, Svojetice, Škvorec, Velké Popovice.

Celkový vzorek zkoumaný na území okrese Praha-východ čítal 110 obcí, přičemž 7 obcí bylo zařazeno do vyhlášky. Ze 7 zařazených obcí do vyhlášky byla zjištěna shoda u 5 vzorků a u 2 nesoulad. U zbylých 103 nezařazených obcí do vyhlášky byl zjištěn nesoulad s 18 obcemi. Ty měly index 3 a do vyhlášky nebyly zařazeny, a to i přes to, že některé obce, které do vyhlášky byly zařazeny, měly převažující radonový index 1 – nízký.

5.1.6 Okres Beroun

Tabulka 17 Vyhodnocení obcí nezařazených do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. v okrese Beroun

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Beroun	BYKOŠ	1,52	3
Beroun	KONĚPRUSY	1,49	3
Beroun	KORNO	1,52	3
Beroun	LIBOMYŠL	1,68	2
Beroun	MÁLKOV	1,62	2
Beroun	MĚŇANY	1,56	3
Beroun	SUCHOMASTY	1,61	3
Beroun	TMAŇ	1,49	3

V tabulce č. 17 jsou uvedeny výsledky komparace oblastí určených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. s totožnými oblastmi v mapě radonového indexu. Buňky vyznačené žlutou barvou určují ty obce, u kterých byla vyhláška, v porovnání s výsledným převažujícím radonovým indexem z mapy geologického podloží, přísnější tzn.: převažující radonový index geologického podloží je nižší než 3. Mezi tyto obce patří: Libomyšl a Málkov, celkem tedy 2 obce. U zbylých 6 obcí byla komparací zjištěna shoda.

Tabulka 18 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okrese Beroun

Okres	Obce z mapy radonového indexu	Index	Výskyt obce ve vyhlášce
Beroun	Hlásná Třebáň	3	není ve vyhlášce
Beroun	Liteň	3	není ve vyhlášce
Beroun	Mořinka	3	není ve vyhlášce
Beroun	Svatý Jan pod Skalou	3	není ve vyhlášce
Beroun	Vinařice	3	není ve vyhlášce

Tabulka č. 18 uvádí další výsledky z komparace a obsahuje obce, které nebyly zařazeny do vyhlášky a jejich převažující index z mapy radonového indexu je 3 – vysoký. Celkový počet nezařazených obcí je 5, konkrétně se jedná o tyto obce: Hlásná Třebáň, Liteň, Mořinka, Svatý Jan pod Skalou, Vinařice.

Celkový vzorek zkoumaný na území okresu Beroun čítal 85 obcí, přičemž 8 obcí bylo zařazeno do vyhlášky. Z 8 zařazených obcí do vyhlášky byla zjištěna shoda u 6 vzorků a u 2 nesoulad. U zbylých 77 nezařazených obcí do vyhlášky byl zjištěn nesoulad s 5 obcemi a nalezena shoda se 72 obcemi.

5.1.7 Okres Kolín

Tabulka 19 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okresu Kolín

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Kolín	HRADEŠÍN	1,63	3
Kolín	MASOJEDY	1,8	3
Kolín	PŘIŠIMASY	1,68	3

Tabulka číslo 19 zobrazuje výsledky komparace z okresu Kolín. Na území toho okresu byly do přílohy vyhlášky zařazeny celkem 3 obce: Hradešín, Masojedy, Příšimasy. U všech těchto obcí byla komparací zjištěna shoda.

Tabulka 20 Vyhodnocení obcí nezařazených do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. v okresu Kolín

Okres	Obce z mapy radonového indexu	Index	Výskyt obce ve vyhlášce
Kolín	Doubravčice	3	není ve vyhláске

Tabulka č. 20 obsahuje pouze jednu obec. Tato obec nebyla zařazena do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb., ale její index je podle mapy radonového indexu stanoven na úrovni 3. Dle výsledků komparace by tedy obec měla být zařazena do přílohy ve vyhláске.

Celkový počet zkoumaných obcí v okrese Kolín byl 89, 3 obce z celkového počtu byly zařazeny do přílohy vyhlášky. U všech těchto obcí byla nalezena shoda. U zbylých 86 nezařazených obcí byla u 85 obcí nalezena shoda a pouze u jedné nesoulad.

5.1.8 Okres Kladno

Tabulka 21 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okresu Kladno

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Kladno	JEMNÍKY	1,82	2
Kladno	MALÉ PŘÍTOČNO	1,61	1
Kladno	TŘEBICHOVICE	1,59	2

Tabulka č. 21 obsahuje vyhodnocení obcí v okrese Kladno, které byly zařazeny do přílohy č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb. Celkový počet zařazených obcí v tomto

okrese je 3. U všech těchto obcí byl komparací zjištěn nesoulad. Jedná se o obce: Jemníky, Malé Přítočno, Třebichovice. Tyto obce mají dle mapy radonového indexu stanoven index v rozmezí 1-2, vyhláška zde byla tedy striktnější.

Celkový počet zkoumaných obcí na území okresu Kladna byl 100. Obce, které byly zařazeny do vyhlášky, čítaly celkem 3 vzorky, přičemž u všech byl zjištěn nesoulad s radonovým indexem geologického podloží získaným z mapy radonového indexu. U zbylých 97 nezařazených obcí byla komparací zjištěna shoda a jejich převažující index byl vždy v rozmezí 1-2.

5.1.9 Okres Mělník

V okrese Mělník bylo komparováno celkem 69 obcí. Do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. nebyla zařazena ani jedna obec. Při zkoumání celého území kraje byla zjištěna shoda. Ani jedna ze zkoumaných obcí neměla převažující index určený z mapy radonového indexu vyšší než 2. Z celého vzorku 69 obcí mělo pouze 7 index 2 a 52 obcí index 1.

5.1.10 Okres Kutná Hora

Na území okresu Kutná Hora bylo zkoumáno celkem 88 obcí. Z toho počtu nebyla do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. zařazena ani jedna obec. Při provedení komparace byla i v tomto případě zjištěna shoda u všech zkoumaných vzorků. Z počtu 88 obcí jich mělo 25 stanoven převažující index 1 a zbylých 65 obcí index 2.

5.1.11 Okres Nymburk

Na území okresu Nymburk se nachází celkem 87 obcí. Do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. nebyla zařazena ani jedna z nich.

Provedenou komparací byla zjištěna shoda u všech zkoumaných vzorků. Z 87 obcí, které se nacházejí na území tohoto kraje má převažující většina, v počtu 84 obcí, stanoven radonový index na úrovni 1, pouze 3 obce mají index radonového rizika 2.

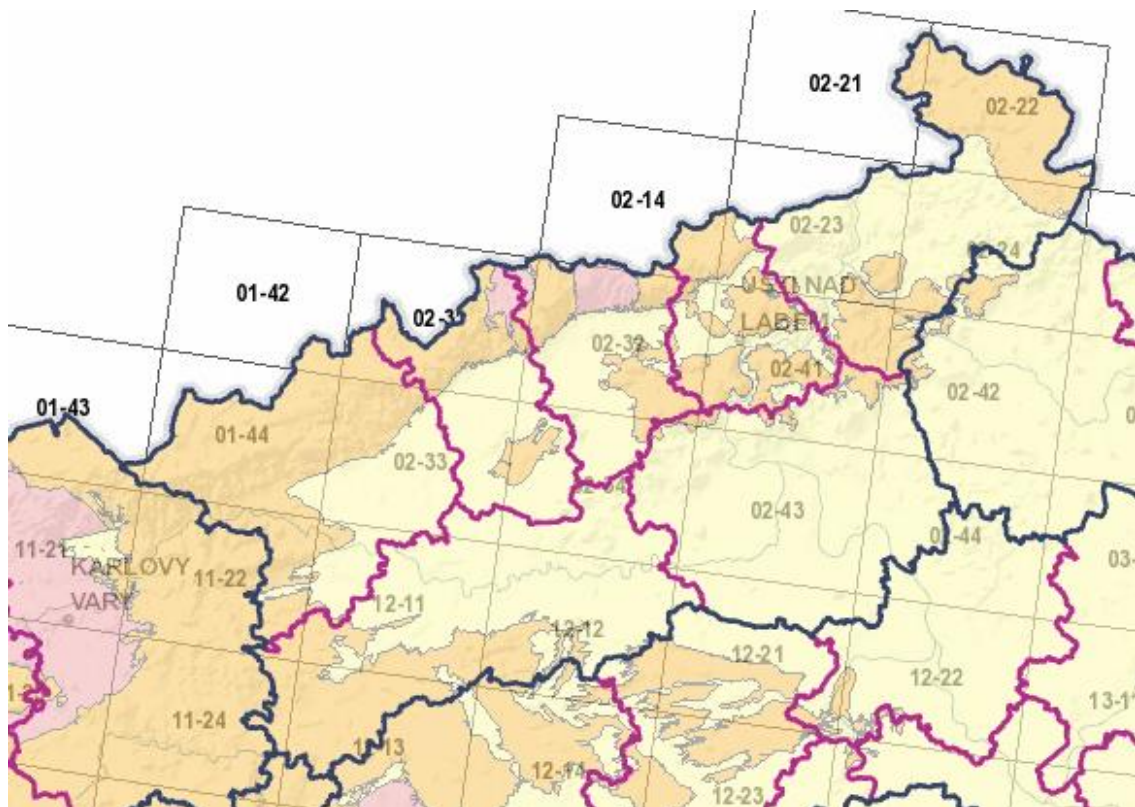
5.1.12 Okres Mladá Boleslav

V okrese Mladá Boleslav se nachází celkem 120 obcí. Do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. nebyla zařazena ani jedna obec. Při zkoumání celého území kraje byla zjištěna shoda. Ani jedna ze zkoumaných obcí neměla převažující index určený z mapy radonového indexu vyšší než 2. Z celého vzorku 120 obcí měly pouze 2 index 2 a 118 obcí index 1.

5.2 Ústecký kraj

Na území Ústeckého kraje se rozkládá geologické podloží, které je kategorizováno všemi stupni radonového indexu (tedy 1, 2 a 3). Na obrázku 28 lze vidět rozložení kraje a jeho okresů – modrá čára vyznačuje hranice kraje, růžová pak hranice jednotlivých okresů.

Ústecký kraj se skládá ze 7 okresů: Chomutov, Most, Teplice, Ústí nad Labem, Děčín, Litoměřice, Louny. Radonový index 1 se vyskytuje ve všech okresech kraje. Stejně tomu je i u radonového indexu 2. Ovšem z mapy vložené níže je zřetelné, že například v okrese Litoměřice, je index 2 zastoupen v nejmenší míře na celém území. Geologické podloží s radonovým indexem 3 se rozkládá především na území okresů Teplice a Most. Na malých ohraničených plochách je radonový index 3 i na území okresů Děčín a Ústí nad Labem.



Obrázek 28 Ústecký kraj v měřítku 1:967680 (ČGS, 2019e)

5.2.1 Okres Chomutov

Tabulka 22 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okresu Chomutov

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Chomutov	Kalek	1,7	2
Chomutov	Loučná	1,63	2

V tabulce č. 22 jsou uvedeny výsledky komparace oblastí určených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. s totožnými oblastmi v mapě radonového indexu na území okresu Chomutov. Buňky vyznačené žlutou barvou určují ty obce, u kterých byla vyhláška, v porovnání s výsledným převažujícím radonovým indexem z mapy geologického podloží, přísnější, tzn.: Kalek, Loučná. V těchto obcích je stanoven radonový index 2. Zároveň jsou to jediné dvě obce, které byly na území toho okresu do přílohy zařazeny.

Celkový počet zkoumaných obcí na území okresu Chomutov byl 44. Obce, které byly zařazeny do vyhlášky, čítaly celkem 2 vzorky, přičemž u všech byl zjiš-

těn nesoulad s radonovým indexem geologického podloží získaným z mapy radonového indexu. U zbylých 42 nezařazených obcí byla komparací zjištěna shoda, jejich převažující index byl vždy v rozmezí 1-2.

5.2.2 Okres Most

Tabulka 23 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okresu Most

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Most	Klíny	1,75	2

V tabulce číslo 23 je uvedena obec, která byla jako jediná z okresu Most zařazena do vybraných oblastí z přílohy č. 25. vyhlášky č. 422/2016 Sb. Jedná se o obec s názvem Klíny. V tomto případě byl zjištěn nesoulad vyhlášky a radonového indexu mapy geologického podloží dané obce. Klíny mají dle mapy radonového indexu stanoven převažující radonový index 2, vyhláška je v tomto případě tedy přísnější.

Celkový vzorek zkoumaný na území okresu Most čítal 26 obcí, přičemž 1 obec byla zařazena do vyhlášky. V případě jedné zařazené obce byl zjištěn nesoulad. U zbylých 25 nezařazených obcí do vyhlášky byla zjištěna shoda, ani jedna z nich neměla převažující radonový index vyšší než 2 – střední.

5.2.3 Okres Teplice

Tabulka 24 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 okresu Teplice

Okres	Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Teplice	Dubí	1,69	3
Teplice	Hrob	1,62	3
Teplice	Jeníkov	1,77	3
Teplice	Proboštov	1,51	1

Tabulka číslo 24 zobrazuje výsledky komparace z okresu Teplice. Na území tohoto okresu byly do přílohy vyhlášky zařazeny celkem 4 obce: Dubí, Hrob, Jeníkov, Proboštov. U 3 obcí byla komparací zjištěna shoda: Dubí, Hrob, Jeníkov.

U žlutě zvýrazněné obce Proboštov byl komparací zjištěn nesoulad, obec má stanovený převažující index radonového rizika na úrovni 1.

Tabulka 25 Vyhodnocení obcí nezařazených do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. v okrese Teplice

Okres	Obce z mapy radonového indexu	Index	Výskyt ve vyhlášce
Teplice	Teplice	3	není ve vyhlásce

Tabulka č. 25 obsahuje pouze jednu obec – Teplice. Tato obec nebyla zařazena do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb., ale její index je podle mapy radonového indexu stanoven na úrovni 3. Dle výsledků komparace by tedy obec měla být zařazena do přílohy ve vyhlášce.

Celkový počet zkoumaných obcí v okrese Teplice byl 34, 4 obce z celkového počtu byly zařazeny do přílohy vyhlášky. U 3 z těchto obcí byla nalezena shoda, u 4. obce byl komparací zjištěn nesoulad. U zbylých 30 nezařazených obcí byl zjištěn pouze jeden případ nesouladu.

5.2.4 Okres Děčín

V okrese Děčín bylo komparováno celkem 52 obcí. Do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. nebyla zařazena ani jedna obec. Při zkoumání celého území kraje byla zjištěna shoda. Ani jedna ze zkoumaných obcí neměla převažující index určený z mapy radonového indexu vyšší než 2. Z celého vzorku 69 obcí mělo 27 index 2 a 25 obcí index 1.

5.2.5 Okres Litoměřice

Na území okresu Litoměřic bylo zkoumáno celkem 105 obcí. Z toho počtu nebyla do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. zařazena ani jedna obec.

Při provedení komparace byla i v tomto případě zjištěna shoda u všech zkoumaných vzorků. Z počtu 105 obcí měly všechny tyto obce stanoven převažující radonový index 1.

5.2.6 Okres Ústí nad Labem

Na území okresu Ústí nad Labem se nachází celkem 27 obcí. Do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. nebyla zařazena ani jedna z nich. Provedenou komparací byla zjištěna shoda u všech zkoumaných vzorků. Z 27 obcí, které se nacházejí na území tohoto kraje, má převažující radonový index kategorie 2–12 obcí a radonový index kategorie 1–15 obcí.

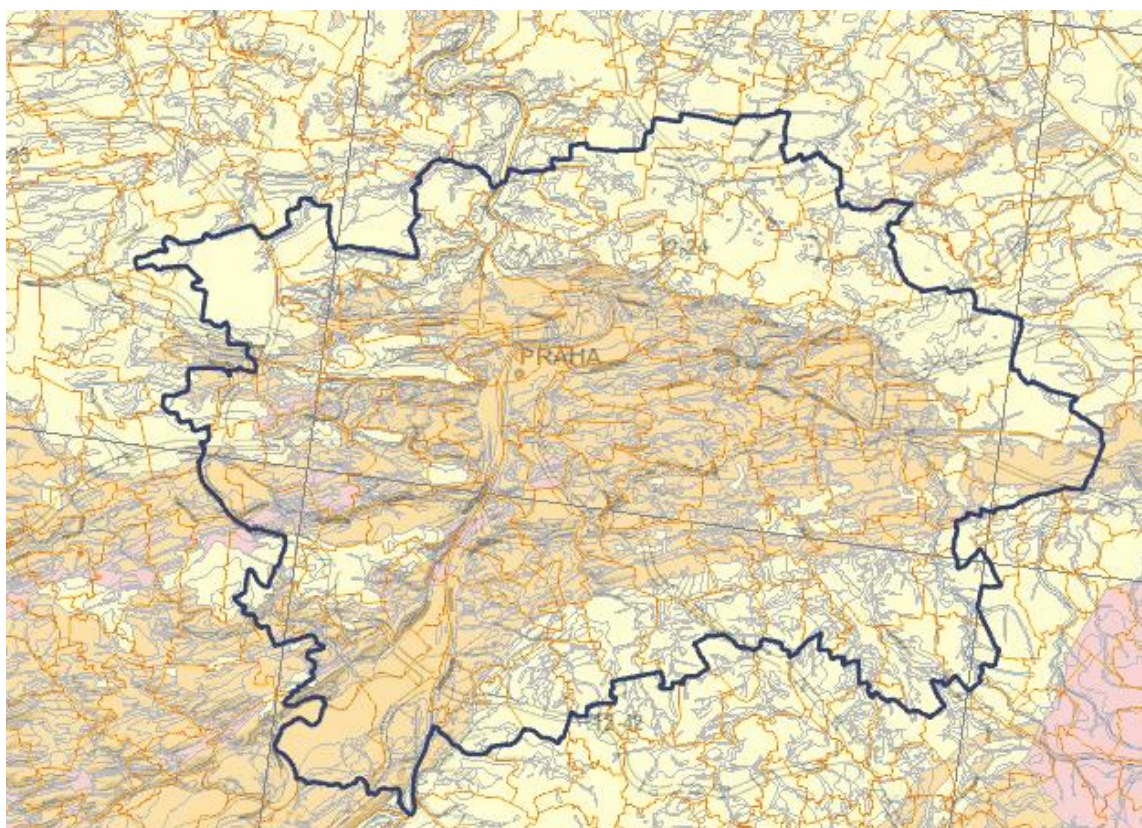
5.2.7 Okres Louny

V okrese Louny se nachází celkem 70 obcí. Do přílohy č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. nebyla zařazena ani jedna obec. Při zkoumání celého území kraje byla zjištěna shoda. Ani jedna ze zkoumaných obcí neměla převažující index určený z mapy radonového indexu vyšší než 2. Z celého vzorku 70 obcí jich mělo 19 index 2 a 51 obcí index 1.

5.3 Praha

Na území Prahy se také rozkládají všechny 3 indexy radonového rizika. Na obrázku 29 níže je viditelné, že na okrajích má Praha převážně index 1, v jejím prostředku pak index 2, v jihozápadní oblasti území se objevují také radonové indexy na úrovni 3. Tyto plochy jsou ovšem členité a nezabírají velkou plochu z celkového území. Pro vyhodnocování údajů na území Prahy bylo třeba využít doplňku katastrálních map v aplikaci Komplexní radonová informace. Jednotlivá zkoumaná území jsou mnohdy složena z několika územních celků nebo částí územních celků. Například území města Prahy 3 je složeno z katastrálních územních celků Vinohrady, Vysočany, Strašnice a Žižkov – viz obrázek 30. Při vyhod-

nocování dat bylo tak třeba přesněji se zaměřit na jednotlivá území a vyhodnocovat jejich převažující radonový index jako jeden celek.



Obrázek 29 Praha v měřítku 1:241920 (ČGS, 2019e)

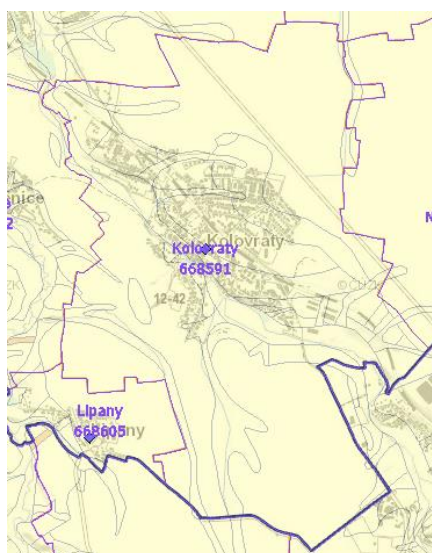


Obrázek 30 Složení Prahy 3 z katastrálních územních celků – Žižkov, Vinohrady, Strašnice a Vypočany (ČGS, 2019e)

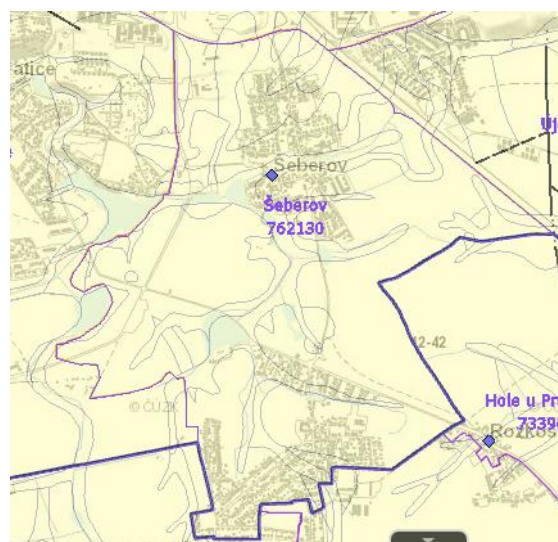
Tabulka 26 Vyhodnocení obcí zařazených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Prahy

Obce z vyhlášky	RIA	Převažující index geologického podloží
Praha-Kolovraty	1,48	1
Praha-Lysolaje	1,48	1
Praha-Šeberov	1,5	1

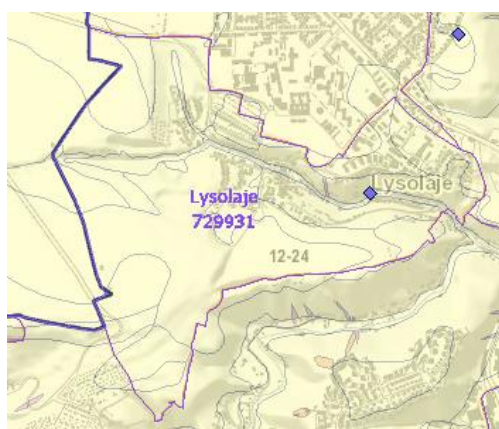
V tabulce č. 26 jsou uvedeny výsledky komparace oblastí určených v příloze č. 25 vyhlášky č. 422/2016 Sb. s totožnými oblastmi v mapě radonového indexu. Buňky vyznačené žlutou barvou určují ty obce, u kterých byla vyhláška, v porovnání s výsledným převažujícím radonovým indexem z mapy geologického podloží, přísnější, tzn.: převažující radonový index geologického podloží je nižší než 3.



Obrázek 31 Praha – Kolovraty (ČGS, 2019e)



Obrázek 32 Praha – Šeberov (ČGS, 2019e)



Obrázek 33 Praha – Lysolaje (ČGS, 2019e)

V tomto případě mají všechny 3 zařazené obce – Praha-Kolovraty (obr. 31), Praha-Lysolaje (obr. 33) a Praha-Šeberov (obr. 32) pouze radonový index úrovně 1 - nízká, jak je vidět na výše na obrázku 30-32.

Celkový vzorek zkoumaný na území Prahy čítal 57 oblastí, přičemž 3 oblasti z celkového počtu byly zařazené do vyhlášky. V případě všech zařazených oblastí byl komparací zjištěn nesoulad. U zbylých 54 nezařazených obcí do vyhlášky byla zjištěna shoda. Ani jedna z nich neměla převažující radonový index vyšší než 2 – střední.

5.4 Vyhodnocení hypotéz

H1: Existuje nesoulad mezi oblastmi uvedenými v mapě radonového indexu ČR a přílohou č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Ve všech zkoumaných krajích byl nalezen nesoulad mezi oblastmi uvedenými v příloze č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb. a oblastmi s převažujícím radonovým indexem z mapy radonového indexu. Celkový počet těchto rozporů je 118, proto byla hypotéza číslo 1 potvrzena.

H2: Existují obce s převažujícím radonovým indexem 1–2, a přesto jsou zařazeny v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Na základě provedené komparace byly nalezeny obce, které byly zařazeny do přílohy č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb. a jejich převažující radonový index byl, na základě údajů z mapy radonového indexu, 1-2. Tyto obce byly nalezeny ve všech třech zkoumaných krajích. Hypotéza číslo 2 byla potvrzena.

H3: Existují obce, které mají převažující radonový index 3 a nejsou zařazeny do přílohy č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Na základě komparace byly nalezeny obce, které nebyly zařazeny do přílohy č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb. a jejich převažující radonový index byl, na základě údajů z mapy radonového indexu, 3. Tyto obce byly nalezeny ve dvou zkoumaných krajích – Ústeckém a Středočeském. Na území Prahy nebyly nalezeny oblasti, které by měly převažující radonový index 3. Hypotéza číslo 3 byla také potvrzena.

6 DISKUZE

V této diplomové práci jsem se zabývala zhodnocení souladu údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR s přehledem oblastí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. Snažila jsem se získat data, ze kterých je vytvořena Komplexní radonová informace. Přistoupila jsem nejprve k variantě získání dat z mapy radonového indexu pomocí počítačového algoritmu. Získaná data, za pomoci tohoto automatizovaného programu, bohužel nemohla být spolehlivě zpracována, a tudíž by výsledky komparace mohly být zkreslené a nepravdivé. Bohužel po konzultaci s paní Janou Karenovou z České geologické služby jsem navíc zjistila, že taková data momentálně, která bych pro svou diplomovou práci potřebovala, nejsou k dispozici. S ohledem na co největší správnost provedení analýzy dat uvedených v mapě radonového indexu a nedostupnosti těchto dat pro území celé ČR jsem se rozhodla pro ruční zpracování potřebných dat. Vzhledem k náročnosti a možné narůstající chybovosti s větším počtem vzorků jsem zkoumané území, po konzultaci s vedoucí práce, omezila pouze na tři kraje – Ústecký, Středočeský a Prahu. Dalším důvodem omezení rozsahu práce byl fakt, že při ručním zpracování celého území ČR by práce přesahovala rozsah DP. Tyto kraje jsem si zvolila na základě mého vztahu k nim. V Ústeckém kraji jsem se narodila a ve Středočeském kraji a Praze se pohybují nyní. Alespoň částečnou znalost vyhodnocovaného území považuji za výhodu při zpracovávání a vyhodnocování dat.

Nejprve bylo třeba získat soupis obcí jednotlivých krajů a rozdělit je podle okresů, aby bylo docíleno získání dat ze správných obcí. Často jsem narazila na obce, které měly stejný název a nacházely se ve stejném kraji, proto bylo třeba je rozlišovat ještě podle okresů. Soupis všech obcí ve zmíněných třech krajích ČR jsem získala z ARESU, zde byly obce rozděleny ve formátu, v jakém jsem je potřebovala. Bylo nutné je pouze transponovat do sloupců v Excelu.

Pro kategorizaci obcí jsem si zvolila převažující radonový index v daném území. Z celého seznamu jsem prošla obci po obci a zapsala jejich převažující index do Excelu. Po získání těchto dat jsem mohla přistoupit k samotné komparaci. Obce zařazené do přílohy č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. jsem převedla do Excelu. Pomocí funkcí a vzorců jsem porovnávala obce z mapy radonového indexu a obce zařazené do vyhlášky. Obcím, které byly zařazeny do přílohy vyhlášky, byla navíc přidělena hodnota, která odpovídala hodnotám uvedeným v mapě radonového indexu. Na základě takto upravených a komparovaných obcí jsem získala výsledky, které jsou uvedeny v kapitole 5 Součástí této kapitoly byla rovněž klasifikace území celého kraje jako jednoho celku. Pro účely práce byl stanoven řešený index na úrovni 3 - vysoký, a to z důvodu toho, že vyhláška má za úkol identifikovat pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu. Zhodnocovat tedy nezařazené oblasti s indexem 1-2 by bylo bezpředmětné. Výsledky byly rozděleny do dvou tabulek. První tabulka obsahovala komparovaná data z přílohy vyhlášky. V případě rozporu mezi zavedenými obcemi ve vyhlášce a výsledným převažujícím indexem z mapy radonového indexu na tomtéž území byly dotčené obce vyznačeny žlutě. Druhá tabulka se zaměřovala na obce, které měly převažující radonový index 3 a nebyly zařazené do přílohy č. 25 ve vyhlášce 422/2016 Sb.

Na území hlavního města Prahy jsem zjistila nesrovnalosti v obcích, které jsou uvedeny v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. Všechny obce, které byly do přílohy zařazené, mají stanovený převažující radonový index na úrovni 1. Po důkladném prozkoumání všech oblastí jsem navíc zjistila, na základě údajů geologického podloží, že na území Šeberova a Kolovrat se nenachází žádný jiný index než 1. V obci Lysolaje se nachází nepatrný úzký pás s přibližnou délkou 150 metrů a šířkou 1,5 metru, který má index 3. Zbýlé území této obce má pouze index 1. Ostatní zkoumané obce, které nebyly zařazené do přílohy vyhlášky, měly převažující index na úrovni 1-2. Na některých územních celcích Prahy se nacházejí části území, jejichž index je 3 – vysoký. Tak je tomu například v Praze 17. Na jejím úze-

mí se nachází index 1–3, přičemž převažuje index 2 a 3. Vystává zde tedy otázka, proč byly do přílohy vyhlášky zařazeny obce, které mají na svém území pouze index s hodnotou 1, ale již tam nejsou zařazeny obce, které mají na větší části svého území index 3 a 2. Ve výsledcích práce se takovéto rozporů neobjevily z důvodu hodnocení území obce na základě převažujícího radonového indexu pouze na úrovni 3.

Po vyhodnocení výsledků v Ústeckém kraji jsem zjistila nesrovnalosti ve 3 okresech – Most, Teplice a Chomutov. V okrese Most a Chomutov nesrovnalosti spočívaly v přísnějším zařazení obcí do přílohy vyhlášky. Zařazené obce měly dle mapy radonového indexu přidělen převažující radonový index v rozmezí 1-2. Pouze v okrese Teplice jsem kromě těchto nesrovnalostí narazila na rozpor ve stejnojmenném městě Teplice. Toto město má dle mapy radonového indexu stanoven převažující radonový index 3 a přesto nebylo zařazeno do přílohy vyhlášky. Stanovený index na úrovni 3 se rozkládá především na osídlené části města, kraje města mají radonový index 1.

Vyhláška byla v tomto kraji spíše přísnější. Nebyl zjištěn zásadní rozpor v nezařazení obcí. Celkový výsledek v tomto kraji je podmíněn složením geologického podloží, kde je kraj obecně méně postižen oblastmi, které mají index radonového rizika na úrovni 3. V ostatních okresech na území tohoto kraje – Louny, Litoměřice, Děčín a Ústí nad Labem nebyl zjištěn rozpor mezi údaji uvedenými v mapě radonového indexu ČR a přehledem oblastí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Poslední zkoumaný kraj v rámci této diplomové práce byl Středočeský kraj. Oproti kraji Ústeckému je území dále více postiženo podložím, které obsahuje horniny s úrovní radonového indexu 3. Vyhodnocené výsledky zde byly daleko rozmanitější. Soulad s vyhláškou byl vyhodnocen pro území okresů – Mělník, Nymburk, Mladá Boleslav, Kutná Hora. Na území těchto okresů nebyl na základě

výsledků zaznamenán žádný rozpor. Naopak na území okresů Benešov, Příbram, Praha-východ, Praha-západ, Beroun, Rakovník, Kladno byl zaznamenán nesoulad, a to jak v zařazených obcích v příloze vyhlášky, kdy měly některé obce převažující radonový index 1-2, tak především v obcích, které měly převažující radonový index na úrovni 3 a přesto nebyly do přílohy vyhlášky zařazeny. Celkový počet těchto obcí ve Středočeském kraji byl komparací stanoven na 60.

Výsledky získané z analýzy údajů uvedených v mapě radonového indexu mohou být ovlivněné subjektivní povahou ručního vyhodnocování. Přesnějších výsledků by bylo nejspíše dosaženo při provedení mezikroku před samotnou komparací oblastí z mapy radonového rizika a oblastí z přílohy vyhlášky. Kromě přiřazení převažujícího radonového indexu k jednotlivým obcím mohl být také přiřazen index na základě nejvyššího radonového indexu nacházejícího se na území dané obce. Bylo možné nejprve komparovat obce s těmito indexy a až poté provést samotnou komparaci těchto obcí a obcí uvedených v příloze vyhlášky. Otázkou zůstává, do jaké míry by byly nadhodnoceny celkové výsledky. Při ručním vyhodnocování jsem měla možnost si všimnout, že na území spousty obcí je v nepatrném procentu zaznamenána nejvyšší kategorie indexu radonového rizika. Složitější analýza by byla ovšem nad rámec povahy této práce – nejpřesnější a rovněž nejspolehlivější metodou by byla prostorová analýza.

Celkový výsledek práce přinesl nalezení nesouladu mezi porovnávanými oblastmi, a to především ve zjištěných oblastech, které mají převažující radonový index 3 a nejsou zařazeny v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. Celkový počet těchto obcí je 61. Velký význam na tomto výsledku mají bezesporu zvolené kraje. Z vybraných 3 krajů byl pouze jeden z větší části postižen geologickým podložím s obsahem hornin vyznačujících se indexem na úrovni 3. Pokud by byly pro účely práce vybrány jiné kraje, jako je například Karlovarský kraj, dovoluji si tvrdit, že počet nezařazených obcí by byl nejspíše vyšší.

Obce, které byly zařazeny do přílohy č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., byly vybrány na základě radonového indexu obce, který byl určen podle naměřených hodnot v objektech dané obce. Převažující index z mapy radonového podloží je stanoven na základě předpokládaného obsahu radonu v jednotlivých typech hornin.

Vzhledem k rozdílnosti obou indexů nelze říci, na základě provedené komparace, že by došlo k jakémukoliv pochybení při volbě metodiky pro zařazování obcí do přílohy č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. Metodiku pro zařazení obcí do přílohy vyhlášky zpracovávali odborníci ze SÚJB a je založena na predikčních pravděpodobnostních modelech, přičemž má metoda je založena na subjektivním vyhodnocování plošných zdrojů. Ovšem zajímavý poznatek je fakt, že v některých případech index RIA vůbec nekoresponduje s uvedenými údaji v mapě radonového indexu, ani povahou geologického podloží daného území. Příkladem je Šeberov v Praze a Vyžlovka v okrese Praha-východ. Na území Šeberova se rozkládá pouze radonový index v kategorii 1 a stanovený RIA je 1,5; Vyžlovka má naopak na celém svém území radonový index v kategorii 3 a její stanovený RIA je 1,48 tzn. hodnota RIA je ještě o 0,02 nižší než u Šeberova s indexem 1. Otázkou tedy zůstává, jakou roli v celkovém vyhodnocení a zařazení oblastí do přílohy vyhlášky může hrát nedostatečná proměřenost obcí. Z předchozí části DP je známo, že dostatečně bylo proměřeno pouze 34,2 % území ČR. Hodnotit správnost uvedených údajů ovšem nelze na základě provedené komparace.

Na základě zjištěného nesouladu bych doporučovala:

- dokončení ruční analýzy údajů v mapě radonového indexu a
- provedení následné komparace výsledků a oblastí uvedených v příloze vyhlášky.
- Na základě výsledků by pak bylo možné určení zájmových oblastí a
- provedení prostorové analýzy (odbornou institucí) na jejich území,

- následně by bylo možné doplnění obcí do přílohy č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. na základě výsledků prostorové analýzy, kde by byl zohledněn také radonový index geologického podloží na území celé obce.
- K dalšímu zpřesnění by mohlo také dojít po aktualizaci měření OAR (metodika pro zařazení obcí do přílohy vyhlášky vznikala před rokem 2016, celková proměřenost území by v současnosti mohla být vyšší).

Celkový seznam obcí se zvýšeným rizikem ozáření z radonu by tak mohl být přesnější, a to především u obcí, ve kterých není proveden dostatek měření pro přesné stanovení RIA – radonového indexu obce. Přínosné by to bylo nejen pro obce, ve kterých by mohlo hrozit potenciální riziko a nejsou do přílohy vyhlášky zařazeny (provozované objekty tak nejsou chráněny všemi dostupnými prostředky), ale také v obcích, které jsou do vyhlášky zařazeny „přísněji“ než je vyžadováno a dotčení provozovatelé a majitele objektů jsou tak zbytečně zatěžováni administrativou a zvýšenými finančními náklady (mimo jiné).

7 ZÁVĚR

Radonová problematika na území ČR je poměrně diskutované téma. Zejména odborná veřejnost si je vědoma rizik, které jsou spojeny s radonem a jeho účinky. Důležité však je, aby se tyto informace dostaly také mezi laickou veřejnost a aby bylo celkové ozáření z radonu sníženo nejvíce, jak je to jen možné. ČR se radonovou problematikou aktivně zabývá, její program a řešení problematiky je celosvětově uznáván.

Diplomová práce se zabývá komparací vybraných oblastí určených v příloze č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb. se stejnými oblastmi v mapě radonového indexu. V teoretické části je popsána související problematika řešené oblasti. Cílem práce bylo zhodnocení souladu údajů uvedených v mapě radonového indexu ČR s přehledem oblastí uvedených v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Na základě provedení analýzy dat z mapy radonového indexu a komparace s oblastmi uvedenými v příloze č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. byly, kromě přísněji zařazených oblastí do této vyhlášky, zjištěny také obce, které mají stanoven převažující radonový index na úrovni 3 – vysoká, a i přes to nejsou do dané přílohy zařazeny. V diskuzi bylo proto navrženo dokončení ruční analýzy, komparace a následné zvážení doplnění metodiky o prostorovou analýzu ČR. Na jejím základě by došlo k doplnění oblastí zařazených do přílohy č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. a tím k lepší ochraně osob před možným zvýšeným ozářením z radonu.

Na základě výše uvedených údajů považuji vypracovanou diplomovou práci za přínosnou a rovněž splňující předem vytyčené cíle.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

SUJB – Statní úřad pro jadernou bezpečnost

Radon – izotop radonu ²²²Rn

OAR – objemová aktivita radonu v jednotkách Bq/m³ prostor

Oblast se zvýšeným radonovým rizikem – území, kde se očekává, že OAR (jako roční průměr) překročí národní referenční hodnotu ve značném množství budov

Obec – územní celek vymezený hranicí území obce

Vybraná obec – obec, která splňuje podmínky pro zařazení mezi oblasti se zvýšeným radonovým rizikem

RIA – radonový index obce, matematický konstrukt přiřazený obci, bezrozměrné číslo charakterizující pravděpodobnost výskytu pracoviště, na kterém bude překročena referenční hodnota OAR, v dané obci

Příloha vyhlášky – příloha č. 25 k vyhlášce č. 422/2016 Sb. „Podmínky pro zařazení pracoviště umístěného v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budovy mezi pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu“ k vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

Směrnice – směrnice Rady EU 2013/59/EURATOM

Zákon č. 263/2016 Sb. – zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška č. 422/2016 Sb. – vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

IT – informační technologie

ZIZ – zdroj ionizujícího záření

IZ – ionizující záření

ČR – Česká republika

DP – diplomová práce

FBMI – Fakulta biomedicínského inženýrství

ČVUT – České vysoké učení technické

ČGS – České geologická služba

Obr. – obrázek

RTG – lékařský rentgen

CT – computed tomography

RT – radioterapie

NM – nukleární medicína

WHO – World Health Organization

BIBLIOGRAFIE

Chmielewská, E. a Bernarda, Z. 2007. *RIZIKOVÉ LÁTKY A ENVIROMTÁLNE HAZARDY*. BRATISLAVA : CICERO s.r.o., Bratislava, 2007. str. 114. 978-80-969678-0-3.

ČGS. 2016. *Geologická mapa České republiky 1:500 000*. Praha : ČGS, 2016. ISBN 978-80-7075-666-9.

–. **2019a.** Radonové mapy. *ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA*. [Online] ČGS, 2019a. [Citace: 4. duben 2019.] http://www.geology.cz/demo/CD_RADON50/index/-aplikace.htm.

–. **2019b.** Radonové riziko - měření. *ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA*. [Online] ČGS, 2019b. [Citace: 4. duben 2019.] <http://www.geology.cz/extranet/vav/geologicka-rizika/radon/mereni>.

–. **2019c.** Radonové riziko - radon v geologickém podloží. *ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA*. [Online] ČGS, 2019c. [Citace: 4. duben 2019.] <http://www.geology.cz/extranet/vav/geologicka-rizika/radon>.

–. **2019d.** Radonové riziko - srovnání radonu v podloží a v objektech. *ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA*. [Online] ČGS, 2019d. [Citace: 4. duben 2019.] <http://www.geology.cz/extranet/vav/geologicka-rizika/radon/srovnani>.

–. **2019e.** SÚJB Komplexní radonová informace. *Komplexní radonová informace*. [Online] ČGS, 2019e. [Citace: březen. 1 2019.] <https://mapy.geology.cz/radon/>.

ALFA-RADON; RNDr. Tomáš Rössler, Ph.D. 2017. Fyzika radonu (základy). *ALFA-RADON*. [Online] ALFA-RADON, 2017. [Citace: 20. duben 2019.] <http://www.alfa-radon.com/page/fyzika/>.

Barnet, I. a Pacherová, P. 2009. *Detailizace přechodného radonového indexu podle hlušího geologického podloží – etapa 2009.* Praha : MS St. úst. pro jader. bezpeč., 2009.

– . **2010.** *Korelace radonu v hlubším geologickém podloží a v objektech v horninových typech generalizovaných podle nové geologické mapy České republiky 1 : 500 000.* Praha : Zprávy o geologických výzkumech v roce 2009, 2010. stránky 189-192. ISSN 0514-8057.

Barnet, I. 2019. Radon a geologie. *Česká geologická služba.* [Online] ČGS, 2019. [Citace: 15. duben 2019.] http://www.geology.cz/demo/CD_RADON50/index/-info.htm.

Barnet, I., Pacherová, P. a Kondrová, L. 2009. *Rozdíly v koncentracích radonu v hlubším horninovém podloží a v jeho kvartérním pokryvu - regionální podklady pro detailizaci přechodného radonového indexu v České republice.* Praha : Zprávy o geologických výzkumech v roce 2009, 2009. stránky str. 192–194. ISSN 0514-8057.

Barnet, Ivan, a další. 2009. *Hodnocení geologických faktorů radonového indexu administrativní jednotky RIA (NUTS5, Česká republika) – návrh metodiky.* Praha : Česká geologická služba, 2009. ISSN 0514-8057.

Burian, Ivo a Pilecká, Eliška. 2010. *Přírodní radioaktivita ve venkovním ovzduší = Outdoor natural radioactivity.* Praha : Úřad pro jadernou bezpečnost ČR, 2010. stránky 344-348. Sv. 18. ISSN 1210-7085.

JIRÁNEK, M. 2011. *Principy ochrany nových staveb proti radonu z podloží.* Praha : Společnost pro techniku prostředí, 2011. stránky 30-32. ISSN 1210-1389.

Jiránek, M. a Honzíkova, M. 2012. *Výběr protiradonových opatření.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2012. ISBN 978-80-01-05023-1.

- Jiránek, Martin a Honzíkova, Milena. 2012.** *Výběř protiradonových opatření.* Praha : Fakulta stavební CVUT v Praze, 2012. ISBN 978-80-01-05023-1.
- Klener Vladislav a kol. 2000.** *Principy a praxe radiační ochrany.* Praha : Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. str. 619. ISBN 80-238-3703-6.
- Kubinyi, Jozef, Sabol, Jozef a Vondrák, Andrej. 2018.** *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně.* Praha : Grada, 2018. ISBN 978-80-271-2162-5.
- Martin, Alan, a další. 2012.** *AN INTRODUCTION TO RADIATION PROTECTION.* London : Hodder Arnold, 2012. str. 246. ISBN 978-1-4441-4607-3.
- Masarykova univerzita. 2019.** Rozpadové řady. *MUNI IS Informační systém Masarykovy univerzity.* [Online] Masarykova univerzita, 2019. [Citace: 10. duben 2019.] https://is.muni.cz/el/1431/podzim2006/G1021/um/Rozpadove_rady.pdf.
- Matoušek, J, Österreicher, J a Linhart, P. 2007.** *CBRN. Jaderné zbraně a radiologický materiál.* Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2007. str. 216. ISBN 978-80-7385-029-6.
- Mucha, Josef. 2019.** Vlastnosti a účinky radonu na lidský organismus. *RMD servis.* [Online] Josef Mucha, 2019. [Citace: 10. duben 2019.] <https://www.radon-servis.cz/Radon/3-Vlastnosti-a-ucinky-radonu-na-lidsky-organismus>.
- Nezval, Matěj a Nezval, Martin. 2009.** *Ochrana staveb proti radonu.* Praha : Grada, 2009. str. 104. ISBN 978-80-247-6164-0.
- OSN. 2016.** *Záření: Účinky a zdroje, Program OSN pro ochranu životního prostředí, 2016.* Česká republika : Program OSN pro ochranu životního prostředí, 2016. str. 64. ISBN 978-92-807-3600-7.

Pacherová, P. a Barnet, I. 2009. *Vliv hlubšího geologického podloží na koncentraci radonu v kvartérních sedimentech.* Praha : Zpr. geol. výzk. v roce 2008, 2009. stránky 183–185.

Pacherová, P., Barnet, I. a Procházka, J. 2011. *Vztah radonového indexu v kvartérních sedimentech k radonu v objektech a k hlubšímu geologickému podloží.* Praha : Česká geologická služba, 2011. ISSN 0514-8057.

Podzimek, František. 2013. *RADIOLOGICKÁ FYZIKA. Fyzika ionizujícího záření.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2013. str. 336. ISBN 978-80-01-05319-5.

Rosina, Jozef, a další. 2013. *Biofyzika.* Praha : Grada, 2013. str. 224. ISBN 978-80-247-4237-3.

SÚJB. 2005. ZPRAVA o plnění úkolů Radonového programu České republiky za léta 2000 - 2004. *SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost.* [Online] 2005.
https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/Radon_ZpravaVlade_II-2.pdf.

— . **2010.** ZAVĚREČNÁ ZPRAVA o plnění úkolů Radonového programu České republiky za období 2000 - 2009. *SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost.* [Online] květen 2010. [Citace: 20. červenec 2019.]
https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/Radonovy_program_Zaverecna_Rn_zprava_2000_2009.pdf.

— . **2016.** Historie radonové problematiky. *Radonový program České republiky.* [Online] SÚJB, 2016. [Citace: 11. duben 2019.]
<https://www.radonovyprogram.cz/historie-radonove-problematiky/>.

— . **2017.** *DOPORUČENÍ: Postupy k identifikaci pracovišť s možným zvýšeným ozářením z radonu pro implementaci čl. 54 odst. 2 písm. a) směrnice Rady EU 2013/59/EURATOM.* Praha : SÚJB, 2017.

— . **2019.** Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán. *SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost.* [Online] SÚJB, 2019. [Citace: 24. březen 2019.]
https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/radonovy_program_akcni_plan.pdf.

SÚRO, v.v.i. 2019a. Geologická prognózní mapa radonového podloží. *Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.* [Online] SÚRO, v.v.i., 2019a. [Citace: 25. březen 2019.]
https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/vyskyt-radonu-v-ceske-republice/prognozniv.gif/image_view_fullscreen.

— . **2019b.** Více o zdravotních účincích RADONU. *Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.* [Online] SÚRO, v.v.i., 2019b. [Citace: 10. duben 2019.]
<https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/zdravotni-ucinky-radonu>.

— . **2019c.** Základní informace o RADONU v používané vodě. *Státní úřad radiační ochrany, v.v.i.* [Online] SÚRO, v.v.i., 2019c. [Citace: 6. duben 2019.]
<https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/radon-ve-vode>.

Turner, James E. 2007. *Atoms, Radiation, and Radiation Protection.* Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007. str. 606. ISBN 978-3-527-40606-7.

Ullmann, Vojtěch. 2019. Biologické účinky ionizujícího záření. *AstroNuklFyzika* ©. [Online] RNDr. Vojtěch Ullmann, 2019. [Citace: 21. únor 2019.]
<http://astronuklFyzika.cz/RadiacniOchrana.htm#5>.

VŠCHT PRAHA. 2014. Radioaktivní látky. *Ústav chemie ochrany prostředí*
VŠCHT PRAHA. [Online] VŠCHT Praha, 2014. [Citace: 29. duben 2019.]
<http://uchop.vscht.cz/files/uzel/0022265/radioaktivn%C3%AD%20látky.pdf?redirected>.

VŠB-TUO. 2013. Vliv klimatických podmínek na objemovou aktivitu radonu v daném objektu. *DSpace VŠB-TUO*. [Online] 2013. [Citace: 4. duben 2019.]
https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/98363/CER0095_HGF_B2102_3904R005_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=n.80-7075-112-6.

VODASERVIS s.r.o. 2019. Pro vzdušňovací věž PV. *Vodaservis*. [Online]
VODASERVIS s.r.o., 2019. [Citace: 8. duben 2019.]
<https://www.vodaservis.cz/provzdušnovaci-vez-pv>.

Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Wade, Allison. 2009. *RADIATION AND REASON*. York : Wade Allison Publishing, 2009. str. 211. ISBN 0-9562756-1-3.

WHO. 2009. *WHO Handbook on Indoor Radon*. Geneva : World Health Organization, 2009. str. 94. ISBN 978-92-4-154767-3.

Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon.

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1 URAN-AKNOVÁ ROZPADOVÁ ŘADA (MASARYKOVA UNIVERZITA, 2019 STR. 2)	11
OBRÁZEK 2 URAN-RADIOVÁ ROZPADOVÁ ŘADA (MASARYKOVA UNIVERZITA, 2019 STR. 1)	11
OBRÁZEK 3 THORIOVÁ ROZPADOVÁ ŘADA (MASARYKOVA UNIVERZITA, 2019 STR. 1)	12
OBRÁZEK 4 ZNÁZORNĚNÍ INHALACE RADONU A JEHO PRODUKTŮ (VŠB-TUO, 2013 STR. 5).....	14
OBRÁZEK 5 POMĚR RADIAČNÍ ZÁTĚŽE Z UMĚLÝCH A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ IZ (OSN, 2016 STR. 27)	15
OBRÁZEK 6 MAPA RADONOVÉHO INDEXU (SÚRO, v.v.i., 2019A)	16
OBRÁZEK 7 ZDROJE RADONU V DOMĚ (ALFA-RADON; RNDR. TOMÁŠ RÖSSLER, PH.D., 2017)	18
OBRÁZEK 8 OBSAH RADONOVÉHO PROGRAMU ČR (SÚJB, 2005 STR. 3)	38
OBRÁZEK 9 UPRAVENÝ OBSAH ÚKOLŮ RADONOVÉHO PROGRAMU ČR (SÚJB, 2010 STR. 3).....	40
OBRÁZEK 10 ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY OBSAHU RADIONUKLIDŮ V PITNÉ VODĚ V LEGISLATIVĚ (VYHLÁŠKA Č. 422/2016 Sb., o RADIOČNÍ OCHRANĚ A ZABEZPEČENÍ RADIONUKLIDOVÉHO ZDROJE STR. PŘÍLOHA Č. 27).....	49
OBRÁZEK 11 ČETNOST SYSTEMATICKÉHO MĚŘENÍ A HODNOCENÍ OBSAHU PŘÍRODNÍCH RADIONUKLIDŮ VE VODĚ (VYHLÁŠKA Č. 422/2016 Sb., o RADIOČNÍ OCHRANĚ A ZABEZPEČENÍ RADIONUKLIDOVÉHO ZDROJE STR. PŘÍLOHA Č. 27)	49
OBRÁZEK 12 OBCE S PRAVDĚPODOBNOSTÍ PŘEKROČENÍ REFERENČNÍ ÚROVNĚ 30 % (SÚJB, 2017 STR. 23)	52
OBRÁZEK 13 UKÁZKA SEZNAMU VYBRANÝCH OBCÍ Z PŘÍLOHY Č. 25 VYHLÁŠKY 422/2016 Sb. (SÚJB, 2017 STR. 26)	53
OBRÁZEK 14 HISTOGRAM HODNOT RIA PRO OBCE (SÚJB, 2017 STR. 20)	54
OBRÁZEK 15 GEOLOGICKÁ MAPA (ČGS, 2019E)	57
OBRÁZEK 16 RADONOVÁ MAPA (ČGS, 2019).....	57
OBRÁZEK 17 LEGENDA MAPY RADONOVÉHO INDEXU (ČGS, 2019E).....	58
OBRÁZEK 18 ČÁST LEGENDY GEOLOGICKÉ MAPY PODLOŽÍ (ČGS, 2019E).....	58
OBRÁZEK 19 ODHADOVANÁ ÚROVEŇ RADONU V OBJEKTECH NA ZÁKLADĚ SLOŽENÍ GEOL. PODLOŽÍ (ČGS, 2019D).....	62
OBRÁZEK 20 PODLOŽÍ OBSAHUJÍCÍ ŽULU (ČGS, 2019D).....	62
OBRÁZEK 21 GRAF VYJADŘUJÍCÍ VZTAH MEZI RADONEM V PODLOŽÍ A V OBJEKTECH (ČGS, 2019D).....	63
OBRÁZEK 22 MAPA RADONOVÉHO INDEXU (ČGS, 2019A)	66
OBRÁZEK 23 MAPA RADONOVÉHO INDEXU Z APLIKACE KOMPLEXNÍ RADONOVÁ INFORMACE (ČGS, 2019)	68
OBRÁZEK 24 UKÁZKA ROZLOŽENÍ KATASTRÁLNÍCH JEDNOTEK NA ÚZEMÍ PRAHY (ČGS, 2019)	69
OBRÁZEK 25 UKÁZKA POUŽITÉHO VZORCE PŘI PŘIŘAZOVÁNÍ HODNOT INDEXU	70
OBRÁZEK 26 ZPRACOVÁNÍ DAT VE SLOUPCI F	71
OBRÁZEK 27 STŘEDOČESKÝ KRAJ V MĚŘÍTKU 1:967680 (ČGS, 2019E).....	72
OBRÁZEK 28 ÚSTECKÝ KRAJ V MĚŘÍTKU 1:967680 (ČGS, 2019E)	85
OBRÁZEK 29 PRAHA V MĚŘÍTKU 1:241920 (ČGS, 2019E).....	89
OBRÁZEK 30 SLOŽENÍ PRAHY 3 Z KATASTRÁLNÍCH ÚZEMNÍCH CELKŮ – ŽIŽKOV, VÍNOHRADY, STRAŠNICE A VYSOČANY (ČGS, 2019E).....	89
OBRÁZEK 31 PRAHA – KOLOVRATY (ČGS, 2019E)	90
OBRÁZEK 32 PRAHA – ŠEBEROV (ČGS, 2019E)	90
OBRÁZEK 33 PRAHA – LYSOLAJE (ČGS, 2019E).....	90

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1 OZÁŘENÍ OBYVATEL Z PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ (KLENER VLADISLAV A KOL., 2000 STR. 247).....	31
TABULKA 2 ZASTOUPENÍ ÚMRTÍ NA ZÁKLADĚ RAKOVINY PLIC ZPŮSOBENÉ RADONEM (SÚRO, V.V.I., 2019B)	33
TABULKA 3 PŘEVAŽUJÍCÍ KATEGORIE RADONOVÉHO INDEXU V HLAVNÍCH HORNINOVÝCH TYPŮ NA ÚZEMÍ ČR (BARNET, 2019)....	59
TABULKA 4 KLASIFIKACE PŮD PODLE RADONOVÉHO INDEXU (BARNET, 2019)	61
TABULKA 5 HORNINOVÉ TYPY Z GRAFU PODLE KLESAJÍCÍ OAR (ČGS, 2019D).....	63
TABULKA 6 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU BENEŠOV	73
TABULKA 7 VYHODNOCENÍ OBCÍ NEZAŘAZENÝCH DO PŘÍLOHY Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 SB.	74
TABULKA 8 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU PŘÍBRAM 1. ČÁST	75
TABULKA 9 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU PŘÍBRAM 2. ČÁST	76
TABULKA 10 VYHODNOCENÍ OBCÍ NEZAŘAZENÝCH DO PŘÍLOHY Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 SB. V OKRESU PŘÍBRAM	77
TABULKA 11 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU RAKOVNÍK	77
TABULKA 12 VYHODNOCENÍ OBCÍ NEZAŘAZENÝCH DO PŘÍLOHY Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 SB. V OKRESU RAKOVNÍK	78
TABULKA 13 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU PRAHA-ZÁPAD	78
TABULKA 14 VYHODNOCENÍ OBCÍ NEZAŘAZENÝCH DO PŘÍLOHY Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 SB. V OKRESU PRAHA-ZÁPAD.....	79
TABULKA 15 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU PRAHA-VÝCHOD	79
TABULKA 16 VYHODNOCENÍ OBCÍ NEZAŘAZENÝCH DO PŘÍLOHY Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 SB. V OKRESU PRAHA-VÝCHOD ...	80
TABULKA 17 VYHODNOCENÍ OBCÍ NEZAŘAZENÝCH DO PŘÍLOHY Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 SB. V OKRESU BEROUN	81
TABULKA 18 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU BEROUN	81
TABULKA 19 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU KOLÍN.....	82
TABULKA 20 VYHODNOCENÍ OBCÍ NEZAŘAZENÝCH DO PŘÍLOHY Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 SB. V OKRESU KOLÍN	82
TABULKA 21 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU Kladno.....	82
TABULKA 22 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU CHOMUTOV.....	85
TABULKA 23 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU MOST.....	86
TABULKA 24 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 OKRESU TEPLICE	86
TABULKA 25 VYHODNOCENÍ OBCÍ NEZAŘAZENÝCH DO PŘÍLOHY Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 SB. V OKRESU TEPLICE	87
TABULKA 26 VYHODNOCENÍ OBCÍ ZAŘAZENÝCH V PŘÍLOZE Č. 25 VYHLÁŠKY Č. 422/2016 PRAHY	90

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Seznam všech vybraných obcí zařazených do přílohy č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb.

Příloha č. 2 CD

Příloha č. 1 Seznam všech vybraných obcí zařazených do přílohy č. 25 vyhlášky 422/2016 Sb.

NÁZEV OBCE	OKRES	RIA	P (OAR>300)	NÁZEV OBCE	OKRES	RIA	P (OAR>300)
ŠTÍHLICE	Praha - východ	1,7	46	MRAČ	Benešov	1,8	56,4
LOUŇOVICE	Praha - východ	1,6	37,48	BYSTRICE	Benešov	1,7	55,09
BABICE	Praha - východ	1,6	35,55	TISEM	Benešov	1,7	53,43
BŘEZÍ	Praha - východ	1,5	33,42	ČAKOV	Benešov	1,7	53,12
KLECANY	Praha - východ	1,5	32,13	CHOTÝŠANY	Benešov	1,7	52,5
TEHOVEC	Praha - východ	1,5	31,71	LITICHOVICE	Benešov	1,7	52,44
VYŽLOVKA	Praha - východ	1,5	30,49	HEŘMANIČKY	Benešov	1,7	50,34
BRATŘÍNOV	Praha - západ	1,8	56,49	KŘEČOVICE	Benešov	1,7	49,81
ŠTĚCHOVICE	Praha - západ	1,7	55,38	VÁCLAVICE	Benešov	1,7	48,56
BOJANOVICE	Praha - západ	1,7	51,88	VELIŠ	Benešov	1,7	44,61
ČÍČOVICE	Praha - západ	1,6	41,65	MARŠOVICE	Benešov	1,6	43,64
SVRKYNĚ	Praha - západ	1,6	37,69	NEVEKLOV	Benešov	1,6	43,15
TRNOVÁ	Praha - západ	1,6	35,4	TEPLÝŠOVICE	Benešov	1,6	40
PETROV	Praha - západ	1,5	32,44	TŘEBEŠICE	Benešov	1,6	38,76
VRCHOTOVY JANOVICE	Benešov	2	94,45	STRUHAŘOV	Benešov	1,6	38,61
VOJKOV	Benešov	2	93,08	DIVIŠOV	Benešov	1,6	36,36
TOMICE	Benešov	1,9	73,79	BÍLKOVICE	Benešov	1,5	34,2
OLBRAMOVICE	Benešov	1,8	67,36	STŘEZIMÍŘ	Benešov	1,5	32,46
POSTUPICE	Benešov	1,8	64,91	SMILKOV	Benešov	1,5	32,03
VOTICE	Benešov	1,8	64,51	BENEŠOV	Benešov	1,5	31,97
BUKOVANY	Benešov	1,8	62,58	OSTŘEDEK	Benešov	1,5	31,87
STRANNÝ	Benešov	1,8	58,24	POPOVICE	Benešov	1,5	31,69
				LIBOMYŠL	Beroun	1,7	47,4
				MÁLKOV	Beroun	1,6	41,28

SUCHOMASTY	Beroun	1,6	40,53	OSTROV	Příbram	1,9	77,31
MĚŇANY	Beroun	1,6	36,62	DUBLOVICE	Příbram	1,9	76,46
KORNO	Beroun	1,5	32,98	SMOLOTELY	Příbram	1,9	76,45
BYKOŠ	Beroun	1,5	32,74	VIŠŇOVÁ	Příbram	1,9	74,67
KONĚPRUSY	Beroun	1,5	31,16	PŘÍČOVY	Příbram	1,9	71,87
TMAŇ	Beroun	1,5	31,06	ZDUCHOVICE	Příbram	1,9	71,66
JEMNÍKY	Kladno	1,8	65,66	SVATÝ JAN	Příbram	1,9	71,46
MALÉ PŘÍTOČNO	Kladno	1,6	40,51	PROSENICKÁ LHOTA	Příbram	1,9	70,92
TŘEBICHOVICE	Kladno	1,6	38,71	JABLONNÁ	Příbram	1,9	70,87
MASOJEDY	Kolín	1,8	63,11	SEDEC-PRČICE	Příbram	1,9	70,45
PŘÍŠIMASY	Kolín	1,7	47,59	KRÁSNÁ HORA NAD VLTAVOU	Příbram	1,9	70,32
HRADĚŠÍN	Kolín	1,6	42,58	ŽUPANOVICE	Příbram	1,8	69,33
LEŠETICE	Příbram	2	92,61	NEDRAHOVICE	Příbram	1,8	69,27
VŠEVILY	Příbram	2	92,58	RADĚTICE	Příbram	1,8	66,39
DALEKÉ DUŠNÍKY	Příbram	2	91,3	STAROSEDLSKÝ HRÁDEK	Příbram	1,8	66,1
ZALUŽANY	Příbram	2	88,62	HUDČICE	Příbram	1,8	65,6
CHRAŠTICE	Příbram	1,9	86,06	TŘEBSKO	Příbram	1,8	65,24
KOZÁROVICE	Příbram	1,9	85,6	DOLNÍ HBITY	Příbram	1,8	64,05
KLUČENICE	Příbram	1,9	85,48	POČEPICE	Příbram	1,8	64,05
HÁJE	Příbram	1,9	84,97	VYSOKÝ CHLUMEC	Příbram	1,8	63,89
RADÍČ	Příbram	1,9	84,94	NARYSOV	Příbram	1,8	62,35
ŠTĚTKOVICE	Příbram	1,9	82,95	NALŽOVICE	Příbram	1,8	61,18
OUBĚNICE	Příbram	1,9	80,57	MILEŠOV	Příbram	1,8	60,28
OBORY	Příbram	1,9	80,3	NEČÍN	Příbram	1,8	59,75
PETROVICE	Příbram	1,9	78,52	DRAHENICE	Příbram	1,8	58,76
DRÁSOV	Příbram	1,9	78,41				

KŘEPENICE	Příbram	1,8	56,49	KORKYNĚ	Příbram	1,6	40,59
SEDLČANY	Příbram	1,8	56,1	CHRÁST	Příbram	1,6	40,06
KŇOVICE	Příbram	1,7	54,98	HORČÁPSKO	Příbram	1,6	38,62
BEZDĚKOV POD TŘEMŠÍNEM	Příbram	1,7	54,18	OBOŘIŠTĚ	Příbram	1,6	38,56
MALÁ HRAŠTICE	Příbram	1,7	53,88	LHOTA U PŘÍBRAMĚ	Příbram	1,6	38,12
MODŘOVICE	Příbram	1,7	53,26	CHOTILSKO	Příbram	1,6	37,4
VĚŠÍN	Příbram	1,7	53,15	HVOŽDANY	Příbram	1,6	37,25
BOROTICE	Příbram	1,7	52,93	LÁZ	Příbram	1,6	36,55
JESENICE	Příbram	1,7	52,85	VOLENICE	Příbram	1,5	34,58
KOSOVA HORA	Příbram	1,7	52,08	DUBENEC	Příbram	1,5	32,95
HŘIMĚŽDICE	Příbram	1,7	52,02	PŘÍBRAM	Příbram	1,5	32,76
RYBNÍKY	Příbram	1,7	48,53	TĚCHAŘOVICE	Příbram	1,5	32,17
VRANČICE	Příbram	1,7	48,36	ROŽMITÁL POD TŘEMŠÍNEM	Příbram	1,5	31,01
KAMÝK NAD VLTAVOU	Příbram	1,7	48,22	VELKÁ CHMELIŠTNÁ	Rakovník	1,5	32,78
HLUBYNĚ	Příbram	1,7	47,82	KALEK	Chomutov	1,7	49,58
NOVÉ DVORY	Příbram	1,7	47,78	LOUČNÁ	Chomutov	1,6	42,26
OSEČANY	Příbram	1,7	46,89	JENÍKOV	Teplice	1,8	58,38
KOUPĚ	Příbram	1,7	46,71	DUBÍ	Teplice	1,7	48,94
ČÍM	Příbram	1,7	46,21	HROB	Teplice	1,6	41,94
STARÁ HUŤ	Příbram	1,7	44,47	PROBOŠTOV	Teplice	1,5	32
VELKÁ LEČICE	Příbram	1,6	43,76	KLÍNY	Most	1,8	56,39
PEČICE	Příbram	1,6	42,7	ŠEBEROV	Praha	1,5	31,76
NECHVALICE	Příbram	1,6	42,42	LYSOLAJE	Praha	1,5	30,49
NOVÁ VES POD PLEŠÍ	Příbram	1,6	42,01	KOLOVRATY	Praha	1,5	30,42
VRANOVICE	Příbram	1,6	41,39				