

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zdravotně sociální fakulta



**RADONOVÁ STUDIE VE VYBRANÝCH OBCÍCH JIHOČESKÉHO
KRAJE – MĚŘENÍ, ANALÝZA VÝSLEDKŮ A VNÍMÁNÍ RIZIKA
OBYVATELI**

(diplomová práce)

Vedoucí práce: Ing. Ivana Fojtíková

Autor práce: Bc. Andrea Mikešová

2008

ABSTRACT

RADON STUDY OF A SAMPLE OF CHOSEN MUNICIPALITIES OF SOUTH BOHEMIA - MEASUREMENT, RESULTS ANALYSIS AND INHABITANTS' PERCEPTION OF RISK

Keywords: radon, natural radioactivity, natural irradiation, half-life, volume activity of radon, radon index of subsoil

The topic of my diploma thesis is “Radon Study of a Sample of Chosen Municipalities of South Bohemia - Measurement, Results Analysis and Inhabitants' Perception of Risk“. Czech inhabitants anxiety about radioactivity is usually focused on artificial sources of radiation, mainly on nuclear radiation. However, most of the irradiation of people is caused by natural radiation, especially by radon.

Within my diploma thesis I distributed 100 of detectors to measure volume activity of radon. After about six months I collected data to be processed. During the time of measuring I got know lots of people and I used the possibility to talk to them. That is why one of the aims of my thesis was to assess reaction of people to radon, to values of radon measured in their houses, people's fears or indolence. I also tried to make the problem of radon easier to larger amount of inhabitants and I tried to make them understand this problem. I intended to inform people about results of radon radiation on human body.

Main goal of my diploma thesis was to process data of volume activity of radon which were measured in the premises, to compare these data with the radon index of subsoil and to set a relation between volume activity of radon and other parameters as the age of the premises, contact with subsoil, tightness of windows, construction material used, and water source.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Radonová studie ve vybraných obcích Jihočeského kraje – měření, analýza výsledků a vnímání rizika obyvateli“ vypracovala samostatně a použila pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Ivaně Fojtíkové za její cenné rady, vstřícnost, laskavost a odborné vedení. Děkuji Ing. Ladislavu Beránkovi, CSc., MBA za pomoc při statistickém zpracování výsledků. Děkuji svým rodičům za duševní i fyzickou podporu při studiu a při zpracování této práce.

OBSAH

ÚVOD	8
1. SOUČASNÝ STAV	
1.1 Ozáření obyvatelstva	9
1.1.1 Přírodní radioaktivita	11
1.1.2 Charakteristika jednotlivých druhů ionizujícího záření	13
1.2 Vlastnosti radonu	14
1.3 Zdravotní účinky radonu na lidský organismus	15
1.3.1 Porovnání rizika radonu s rizikem lékařského ozáření	17
1.4 Veličiny a jednotky v radonové problematice	18
1.5 Historie radonové problematiky	23
1.6 Legislativa	26
1.6.1 Stavby	27
1.6.2 Stavební materiál	28
1.6.3 Voda	29
1.6.4 Radonový index pozemku	30
1.6.5 Radonový štítek budovy	31
1.6.6 Dotace	33
1.6.7 Distribuce detektorů	34
1.7 Radonový program	34
1.7.1 Úkoly Radonového programu	35
1.7.1.1 Vyhledávání rizikových objektů	35
1.7.1.2 Preventivní protiradonová opatření	36
1.7.1.3 Protiradonová ozdravná opatření	36
1.7.1.4 Informování veřejnosti	36
1.7.1.5 Vývojová a výzkumná činnost	37
1.7.2 Cíle Radonového programu	37
1.8 Zdroje radonu v přírodě	38
1.8.1 Horniny a půdy	38

1.8.1.1 Geologické podloží v ČR	39
1.8.2 Voda	42
1.8.3 Ovzduší	43
1.9 Migrace radonu z podloží do atmosféry	43
1.10 Vstup a šíření radonu v domě	45
1.10.1 Kinetika radonu	46
1.11 Radon a budovy	47
1.11.1 Zdroje radonu v budovách	47
1.11.1.1 Radon z geologického podloží	48
1.11.1.2 Radon ze stavebního materiálu	50
1.11.1.3 Radon z vody	51
1.11.2 Měření a hodnocení zdrojů radonu	51
1.11.2.1 Podloží budovy – stanovení radonového indexu pozemku	52
1.11.2.2 Stavební materiál – stanovení měrné aktivity ^{226}Ra	53
1.11.2.3 Voda – stanovení obsahu radonu ^{222}Rn	54
1.11.3 Měření a hodnocení radonu ve stavbách	55
1.12 Ochrana staveb proti pronikání radonu z podloží	57
1.12.1 Protiradonová opatření u nových staveb	58
1.12.1.1 Opatření na pozemku s nízkým radonovým indexem	58
1.12.1.2 Opatření na pozemku se středním radonovým indexem	58
1.12.1.3 Opatření na pozemku s vysokým radonovým indexem	59
1.12.2 Protiradonová opatření u stávajících staveb	59
1.12.2.1 Opatření proti radonu z podloží	60
1.12.2.2 Opatření proti radonu ze stavebních materiálů	61
1.12.2.3 Opatření proti radonu z vody	61
2. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY	62
2.1 Cíl práce	
2.2 Hypotézy práce	
3. METODIKA PRÁCE	63
4. VÝSLEDKY	67

4.1 Kompletní výsledky měření z jednotlivých kategoriích radonového indexu	67
4.2 Vliv geologického podloží vesnic na objemovou aktivitu radonu (OAR) naměřenou v domech	70
4.2.1 Obce v kategorii nízkého radonového indexu	70
4.2.2 Obce v kategorii středního radonového indexu	71
4.2.3 Obce v kategorii vysokého radonového indexu	74
4.2.4 Vliv geologického podloží obcí na objemovou aktivitu radonu naměřenou v jednotlivých domech	75
4.3 Analýza rozptylu – vliv jednotlivých skutečností na hodnotu OAR	76
4.3.1 Kontakt měřeného domu s podložím	
4.3.2 Použitý stavební materiál při stavbě domu	
4.3.3 Těsnost oken v domě	
4.3.4 Přítomnost vlastní studny	
4.3.5 Rok dokončení stavby	
4.4 Závislost mezi OAR a efektivní dávkou	84
4.4.1 Nízký radonový index základových půd	
4.4.2 Střední radonový index základových půd	
4.4.3 Vysoký radonový index základových půd	
4.5 Vnímání rizika obyvateli	90
4.5.1 Znalost radonové problematiky	
4.5.2 Postoj obyvatel k měření	
4.5.3 Zájem obyvatel o informace	
5. DISKUSE	99
6. ZÁVĚR	109
7. SEZNAM LITERATURY	110
8. KLÍČOVÁ SLOVA	114
9. PŘÍLOHY	115

ÚVOD

Radon je přírodní radioaktivní plyn přítomný na celém povrchu Země. Je všude kolem nás a vede k nejvyššímu radiačnímu ozáření populace. Radon se kumuluje v budovách a může zde dosahovat vysokých objemových aktivit. Tyto hodnoty se mohou pohybovat v rozpětí od 10 do 100 000 Bq/m³. V České republice je průměrná hodnota objemové aktivity radonu v bytech 118 Bq/m³, to odpovídá roční efektivní dávce kolem 2 mSv. Ale vyskytují se zde i budovy, kde objemová aktivita radonu přesahuje hodnotu 4000 Bq/m³, odpovídající efektivní dávce přesahující 70 mSv ročně.

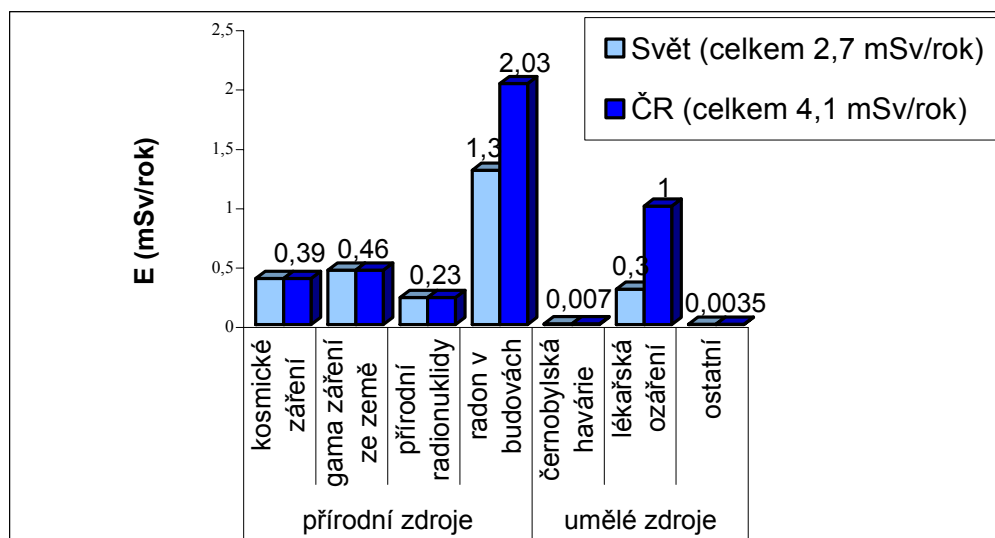
Jak prokázaly studie provedené v minulých desetiletích, inhalace vysokých koncentrací radonu významně zvyšují riziko vzniku rakoviny plic. Těmto studiím byly podrobeny hlavně horníci, kteří pracovali v rudných a uranových dolech nebo v málo větraných dolech. V některých regionech Evropy je dokonce radon označován, vedle kouření, za druhou nejdůležitější příčinu vzniku rakoviny plic. Toto riziko však lze omezit. Řešením je lépe rozpoznat lokální situaci, informovat občany o problému a napomáhat při realizaci protiradonových opatření. ^[9, 30]

1. SOUČASNÝ STAV

1.1 Ozáření obyvatelstva

Veškerá pozornost i obavy obyvatelstva z radioaktivity jsou soustředěny zejména na umělé zdroje záření, hlavně na jaderná zařízení. Největší ozáření obyvatelstva je však způsobeno přírodními zdroji, zvláště radonem, přesněji produkty přeměny radonu (s výjimkou některých zemí, Francie a Japonska, kde se na expozici podílí nejvíce použití ionizujícího záření pro zdravotnické úkony). Dalším zdrojem přírodního ozáření obyvatelstva je gama záření přírodních radionuklidů v zemské kůře, přírodní radionuklidy v těle člověka a kosmické záření. Průměrná roční efektivní dávka na jednotlivce z celosvětové populace z přírodního ozáření podle zprávy UNSCEAR (1993) činí 2,4 mSv/rok, v České republice se tato hodnota pohybuje v rozmezí 3 až 3,4 mSv/rok. [9, 23, 30, 45]

Umělá radioaktivita přispívá k celkovému ozáření člověka velmi rozdílně, přesto jsou nejzávažnějším ozářením z umělých zdrojů v lékařských aplikacích, tedy vyšetření nebo léčení pomocí zdrojů ionizujícího záření. Podle zprávy UNSCEAR z roku 1993 dosahuje průměrná celosvětová dávka na jednoho obyvatele 0,3 mSv/rok, v České republice se průměrná hodnota z lékařského ozáření pohybuje okolo 1 mSv/rok. Dalším zdrojem umělé radioaktivity je spadá po havárii JE v Černobylu a ze zkoušek jaderných zbraní a ostatní zdroje, kam spadá ozáření při práci (0,002 mSv/rok), výpusti z jaderných zařízení (0,001 mSv/rok) a spotřební zboží (0,0005 mSv/rok). [9, 23, 30, 45]



Graf. 1.1. Rozdělení efektivních dávek na obyvatele z jednotlivých druhů záření ^[26]

Tab. 1.1. Rozdělení efektivních dávek na obyvatele z jednotlivých druhů záření ^[26]

Zdroje ozáření		svět		ČR	
		mSv/rok	%	mSv/rok	%
Přírodní zdroje	kosmické záření	0,39	14,5	0,39	9,5
	gama záření ze země	0,46	17,1	0,46	11,2
	přírodní radionuklidy v těle člověka	0,23	8,6	0,23	5,6
	radon v domě	1,3	48,3	2,03	49
	celkem	2,38	88,5	3,11	75,3
Umělé zdroje	černobylská havárie	0,007	0,26	0,007	0,17
	lékařské ozáření	0,3	11,2	1	24,4
	ostatní ozáření	0,0035	0,13	0,0035	0,085
	celkem	0,31	11,5	1,01	24,7
celkem		2,69		4,12	

1.1.1 Přírodní radioaktivita

Organismy byly na světě vystaveny přírodnímu ozáření odnepaměti a do značné míry nevyhnutelně, protože ho nelze nikdy úplně odstranit. Avšak některé přírodní zdroje je možné lidskou činností regulovat. Příkladem jsou protiradonová opatření u stávajících i u nových budov nebo opatření ke snížení ozáření z používané podzemní vody. Ozáření z přírodních zdrojů je nerovnoměrné a vede buď k ozáření vnitřnímu (způsobené příjmem radioaktivních prvků do organismu), nebo k ozáření zevnímu (pochází ze zdrojů vyskytujících se v nejbližším okolí člověka). [9, 22, 23, 30, 45]

Přírodní radioaktivita má dva zdroje záření:

1. Kosmické záření, které dopadá na Zem z vesmíru a jeho intenzita je různá v závislosti na nadmořské výšce a poloze na Zemi. Lidé žijící ve vysokohorských oblastech jsou ozařováni 2-3x více než lidé žijící na úrovni hladiny moře. Stejně tak cesty letadlem vedou k většímu ozáření kosmickým zářením. [9, 30, 45]

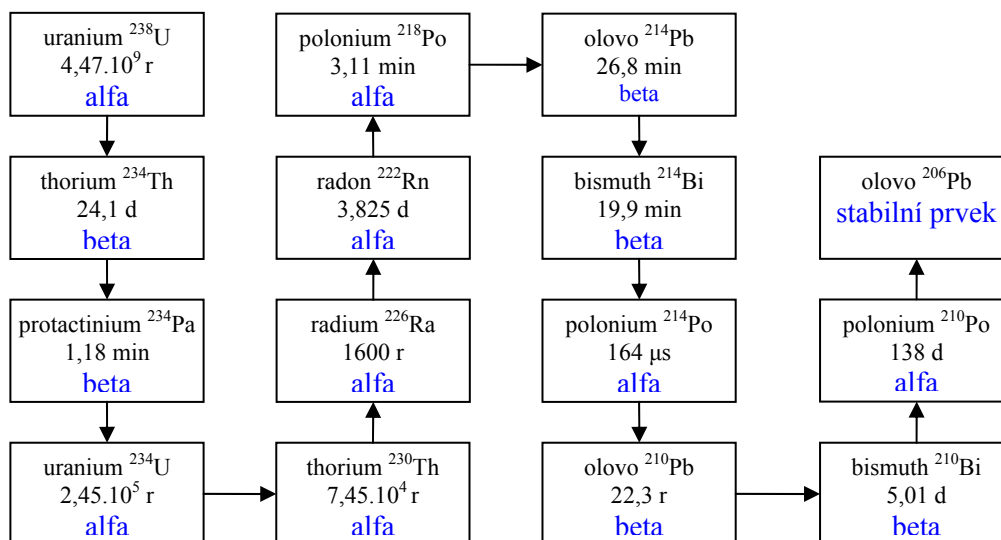
2. Přírodní radionuklidy, které se vyskytují v geosféře, atmosféře, hydrosféře a biosféře a vedou jak k ozáření zevnímu, tak i k ozáření vnitřnímu. Většina prvků, z nichž jsou složeny všechny minerály, horniny i zeminy v přírodě, je stabilní a během geologického vývoje Země se nemění. Ale existuje část prvků, které nejsou stabilní, mají nestabilní jádro a během doby se samovolně přeměňují na stabilnější prvky. Tento proces, který probíhá po celou geologickou historii Země, se nazývá radioaktivní přeměna. Při tomto rozpadu vznikají nové stabilnější radioaktivní prvky, ve většině případů s nižším atomovým číslem, a jaderné záření (α , β , γ). Tyto radionuklidy dělíme podle původu do tří skupin:

- ✦ *Kosmogenní radionuklidy*, které vznikají jadernými reakcemi při interakci kosmického záření se stabilními prvky, hlavně ve vnějším obalu Země. Jde především o ^{14}C (uhlík, poločas rozpadu 5730 let) a ^3H (tritium, poločas rozpadu 12,3 let).

- ✘ *Původní primordiální radionuklidy*, které vznikly v raných stádiích vesmíru, se dodnes vyskytují na Zemi ve značných množstvích, a to díky velice dlouhému poločasu rozpadu ($>10^8$ roků). Jde například o ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Rb . Řada dalších původně přítomných radionuklidů již zanikla kvůli kratšímu poločasu rozpadu nebo je prakticky nedetekovatelná.
- ✘ *Radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů*, které tvoří rozpadové řady. V přírodě se setkáváme s uran-radiovou (od ^{238}U), thoriovou (od ^{232}Th) a uran-aktiniovou (od ^{235}U) rozpadovou řadu. Existuje ještě čtvrtá rozpadová řada, neptuniová (od ^{237}Np), ale ta se v přírodě již nevyskytuje.

Původní primordiální radionuklidy a radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů se nazývají terestrální radionuklidy.

Z hlediska ozáření člověka jsou významné jen některé přírodní radionuklidy. Vzhledem k tomu, že se zabýváme problematikou radonu, je pro nás nejdůležitější uran-radiová rozpadová řada, jejíž součástí je i plyn radon. Uran ^{238}U je jedním z přírodních radionuklidů přítomných ve stopovém množství ve všech horninách a zeminách. Rozpadem uranu vznikají další radioaktivní prvky s postupně se zvyšující stabilitou jádra a záření alfa nebo beta. Dobu, za kterou se rozpadne právě polovina původního množství radionuklidu, označujeme jako poločas přeměny. Poločas přeměny radionuklidů v uran – radiové rozpadové řadě je různý, např. poločas rozpadu výchozího člena řady ^{238}U je $4,47 \cdot 10^9$ let, pro radium ^{226}Ra je tato hodnota 1600 let a pro radon ^{222}Rn je to 3,82 dne. [1, 9, 11, 40, 42]



Obr. 1.1. Uran - radiová rozpadová řada

1.1.2 Charakteristika jednotlivých druhů ionizujícího záření

Ionizující záření je tok hmotných částic nebo fotonů (kvantum elektromagnetického záření), které mají schopnost ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jejich jádra.

Záření α je přímo ionizující záření tvořené jádry helia (částice α , záření s vysokým LET) a nese kladný elektrický náboj (dva protony a dva neutrony). Při jejich interakci s atomy předávají část své energie elektronům, čímž vznikají páry ionizovaných, anebo jen excitovaných atomů a molekul. Při excitaci se elektrony vrací do původního místa na orbitu a nadbytečnou energii vyzáří pomocí fotonů. Radioaktivní přeměna α se vyskytuje pouze u těžkých přírodních radionuklidů. Dosah záření α je velmi krátký, ve vzduchu činí řádově několik cm, ve tkáni desítky μm a k jeho odstínění stačí i list papíru.

Záření β je přímo ionizující záření, které vzniká v jádře přeměnou neutronu nebo protonu. Rozlišujeme záření β^- (elektrony) a β^+ (pozitrony). Dolet záření β je ve vzduchu maximálně 2 m, ve tkáni několik mm až cm. K odstínění záření β je nutné použít materiál s vyšší hustotou (lépe s nízkým protonovým číslem), například hliník nebo plast.

Záření γ je elektromagnetické záření s malou vlnovou délkou a s velkou energií. Záření γ nemá elektrický náboj, je tvořeno kvanty elektromagnetického pole, která vznikají při přechodu jádra z vyšší na nižší energetickou hladinu. Záření γ ionizuje látku nepřímo, a to tak, že produkuje elektrony, které mají nízký LET. Je z uvedených typů záření nejméně radiotoxické a má větší dosah. Záření γ má ve vzduchu dolet stovky m, v organismu až 1 m. Na odstínění záření γ se nejčastěji používá olovo, železo, železobeton. Například vrstva olova silná 1,3 cm pohltí přibližně 50% záření γ . [10, 15, 17, 18]

1.2 Vlastnosti radonu

Radon je přírodní radioaktivní plyn, který vzniká v horninovém podloží. Existují tři izotopy radonu. Nejčastějším izotopem (objevuje se v 95 %) je ^{222}Rn , který zpravidla nese název radon. Je členem uran-radiové rozpadové řady. Vzniká rozpadem radia ^{226}Ra . Je zdrojem záření alfa a jeho poločas přeměny je 3,825 dne. Kromě izotopu radonu ^{222}Rn existují ještě dva izotopy: ^{220}Rn (thoron) s poločasem přeměny 55,6 sekund, který je členem thoriové rozpadové řady a třetím je ^{219}Rn (aktinon), člen aktiniové rozpadové řady s poločasem přeměny 3,92 sekund. Všechny izotopy radonu jsou zdrojem záření alfa, ale podíl ^{220}Rn a ^{219}Rn na ozáření osob je malý díky jejich krátkým poločasům přeměny, a proto jim není věnovaná velká pozornost. [11, 41, 42]

Radon je bez barvy, chuti a zápachu. Má 8x větší hustotu než vzduch. Patří do skupiny vzácných plynů, stejně jako argon, neon, krypton a xenon. Je chemicky netečný, protože jeho valenční elektrony zcela zaplňují valenční orbity 6s a 6p a znesnadňují tak reakci s jinými prvky. Radon se ve vodě rozpouští poměrně v malé míře, lépe je rozpustný v některých organických látkách. Je všudypřítomný a se svými rozpadovými produkty tvoří normální složku venkovního ovzduší.

Radon ^{222}Rn vzniká přeměnou alfa z radia ^{226}Ra v podložních horninách. S poločasem rozpadu 3,825 dne se radon přeměňuje na krátkodobé produkty přeměny radonu. Přeměnou alfa přechází na izotop polonia ^{218}Po (dříve radiumA, ve zkratce RaA). Polonium se přeměňuje s poločasem rozpadu 3,05 minuty na izotop olova ^{214}Pb

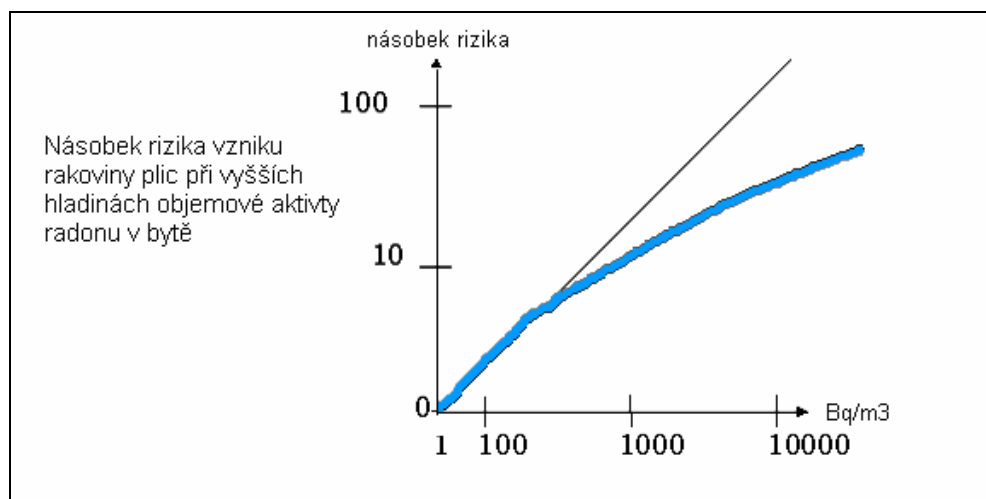
(dříve radiumB, RaB), ten dále s poločasem rozpadu 26,8 minuty na izotop vizmutu ^{214}Bi (RaC) a ten s poločasem rozpadu 19,9 minut přes krátkodobé ^{214}Po na dlouhodobý izotop olova ^{210}Pb (RaD), který má poločas rozpadu 22 let. Z hlediska nebezpečí ozáření člověka jsou významné izotopy s krátkým poločasem přeměny (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po). Jsou to kovy, které se po svém vzniku usazují na povrchu prachových nebo aerosolových částic ve vzduchu a spolu s nimi jsou vdechovány nebo jsou deponovány na povrchu předmětů v objektech. Tyto krátkodobé produkty přeměny radonu jsou z hlediska zdravotních účinků velmi závažné. [9, 11, 22, 45]

Radon se uvolňuje do vnějšího ovzduší a ovzduší budov z horninového podloží, vody a stavebních materiálů. V České republice se objemová aktivita radonu ve venkovním ovzduší pohybuje kolem 5-10 Bq/m³, a to z důvodu, že se radon rychle v atmosféře ředí. Ve vnitřních prostorách budov se však radon může hromadit a jeho obsah v ovzduší budov závisí na řadě faktorů (množství radonu v půdním vzduchu v podloží budovy, izolace základů, stupeň větrání, rozdíl teplot uvnitř a vně budovy, atmosférický tlak atd.). Objemová aktivita radonu ve vnitřním ovzduší se pohybuje od desítek do tisíců Bq/m³, průměr v ČR je kolem 118 Bq/m³. Tato hodnota staví Českou republiku na pozici s nejvyšší koncentrací radonu v bytech na světě. [13, 22]

1.3 Zdravotní účinky radonu na lidský organismus

Jak již bylo napsáno, krátkodobé produkty přeměny radonu (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po) jsou z hlediska působení na zdraví člověka velmi významné. Mají tu vlastnost, že se na rozdíl od radonu usazují na povrchu prachových částic a aerosolů ve vzduchu obytných místností a společně s nimi mohou být vdechovány. Samotný radon se jako inertní plyn po inhalaci pouze rozpouští v tělních tekutinách, ale v žádné tkáni nebo orgánu se výrazně nekonzcentruje. Naproti tomu rozpadové produkty radonu vdechnuty společně s prachovou nebo aerosolovou částicí zůstávají v dýchacích cestách, kde se dále rozpadají, přičemž dlouhodobě vnitřně ozařují zářením alfa tenkou plicní výstelku s matečnými buňkami vysokými rozpadovými energiemi. Ozáření matečných buněk,

kteřé průběžně a po celý život zajišťují regeneraci výstelky, vede k jejich poškození nebo smrti. Tato poškození se kumulují a po překročení určité meze nevzniká již funkční buňka výstelky, ale buňka rakovinná. Tato buňka je velká, nefunkční a rychle se množí. Vytváří nádor, který může časem prorůst plicemi a způsobit smrt. Při dlouhodobém působení radonu se může projevit zvýšený výskyt rakoviny plic, ale je velmi obtížné stanovit podíl radonu na vzniku rakoviny. Rakovina plic způsobená radonem je pozdním zdravotním účinkem (stochastickým), vyskytuje se v pozdějším věku a spíše zkracuje délku života, nevyskytuje se v dětském věku ani v rané dospělosti. [31, 32]

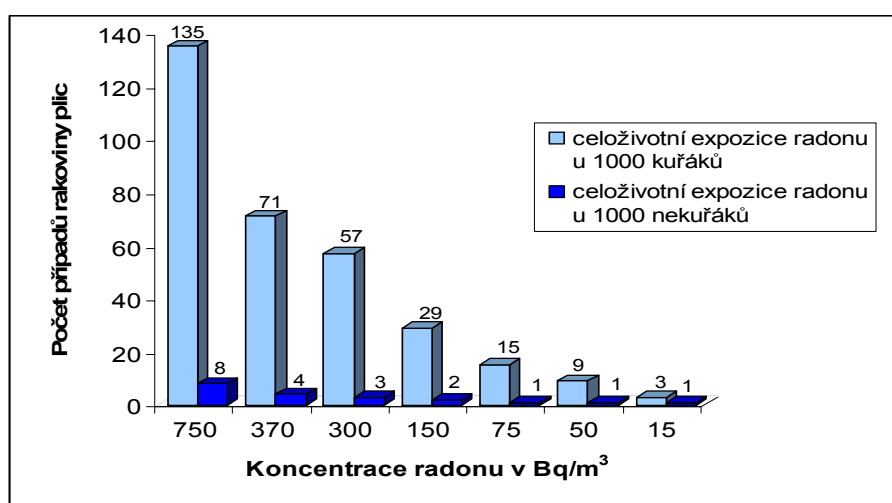


Graf 1.2. Nárůst rizika vzniku rakoviny plic při vyšších hladinách OAR v bytě [43]

Odborníci pomocí dlouhodobých výzkumů a statistik zjistili, že ze sta případů onemocnění rakovinou plic přichází 84 % na vrub kouření a zbývajících 16 % způsobuje ozáření radonem a jeho rozpadovými produkty. U rakoviny plic způsobené inhalací produktů přeměny radonu se předpokládá, že s rostoucí dávkou ozáření se zvyšuje pravděpodobnost vzniku této nemoci a že neexistuje žádná prahová, zdraví neškodná dávka, při kterých k onemocnění dojít nemůže. Vyhláška pouze stanovuje hranice, při níž je ještě riziko vzniku rakoviny plic pro společnost únosné – tzv. směrná hodnota, která je ve stávajících budovách stanovena na 400 Bq/m³. Podle epidemiologických zkoumání, které zveřejnila S. Darby ve své studii v r. 2004, se riziko rakoviny plic zvyšuje o 15 % na každých 100 Bq/m³. Studie, které se věnují zkoumání kombinovaného

efektu z kouření a radonu, ukázaly, že kouření významně zvyšuje riziko rakoviny plic u osob exponovaných radonem (viz. graf 1.3.). [23, 30]

Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu ve svém doporučení č. 65 z roku 1993 doporučuje počítat se 100 případy rakoviny plic ročně na milion obyvatel, kteří bydlí celý život v objemové aktivitě radonu 250 Bq/m^3 . Pro Českou republiku by z toho vyšel odhad 1000 případů rakoviny plic ročně následkem působení radonu. Tento odhad však může být jak podceněn, tak i přeceněn. [29, 31, 45]



Graf 1.3. Závislost kouření a expozice radonu [30]

1.3.1 Porovnání rizika radonu s rizikem lékařského ozáření

Riziko, které pramení z radonu je nutno porovnat se všemi ostatními riziky, kterým je každý člověk vystavován. Obyvatelé na celém světě jsou ozařováni ze dvou hlavních zdrojů - ze zdrojů přírodních a umělých. Největší podíl na ozáření obyvatelstva mají přírodní zdroje záření, hlavě radon a jeho produkty přeměny. Nejvýznamnější podíl ozáření člověka z umělých zdrojů představuje lékařské ozáření, tedy ozáření lidí, kteří jsou vyšetřováni nebo léčeni pomocí zdrojů ionizujícího záření.

V České republice se průměrná hodnota z lékařského ozáření na jednu osobu pohybuje kolem 1 mSv/rok , největší podíl na tomto ozáření má radiodiagnostika, kde

průměrná efektivní dávka na jedno vyšetření je 0,87 mSv a v průměru na jednoho obyvatele je 0,72 mSv. Podle zprávy UNSCEAR z r. 1993 dosahuje celosvětově průměrná dávka na jednoho obyvatele 0,3 mSv/rok, přestože průměrná efektivní dávka při radio-diagnostice se pohybuje kolem 1 mSv. [26]

Pro srovnání velikosti efektivních dávek od radonu a od lékařské diagnostiky přikládám tabulku, kde je ukázán nárůst efektivní dávky při vyšších hladinách objemové aktivity radonu v bytě. [22]

Tab.1.2. Odhad efektivní dávky podle OAR [22]

OAR [Bq/m ³]	Odhad efektivní dávky mSv/rok
< 200	< 4,2
200 – 400	4,2 – 8,4
400 – 1000	8,4 – 21
> 1000	> 21

1.4 Veličiny a jednotky v radonové problematice

Nejdůležitější veličiny a jednotky, které se používají v radonové problematice jsou takové, které popisují radioaktivní vlastnosti radionuklidů. Mezi takové patří objemová aktivita radonu, absorbovaná dávka, dávkový příkon, efektivní dávka, expozice, koncentrace latentní energie, příjem. [9, 10, 13, 15, 18]

Aktivita A je definovaná jako podíl středního počtu radioaktivních přeměn dN v látce a časového intervalu dt , ve kterém k přeměně došlo. Jednotkou aktivity je 1Bq (becquerel) s rozměrem [s⁻¹]. Aktivita o velikosti 1 Bq odpovídá 1 radioaktivní přeměně za 1 sekundu.

$$A = dN / dt$$

Hmotnostní aktivita a_m je aktivita dA vztažená na jednotku hmotnosti dm . Je udávána v Bq/kg a používá se například při měření aktivity stavebního materiálu.

$$a_m = dA / dm$$

Poločas přeměny $T_{1/2}$ je střední doba, za kterou se z počátečního počtu atomů daného radionuklidu samovolně přemění právě polovina. Jednotkou je 1 s (sekunda).

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

λ ... přeměnová konstanta

Absorbovaná dávka D je definována jako energie ionizujícího záření $d\varepsilon$ absorbovaná v jednotce hmotnosti dm ozařované látky v určitém místě. Jednotkou je 1 Gy (gray) s rozměrem [J/kg]. To znamená, že pokud člověk o hmotnosti 70 kg absorbuje energii záření o velikosti 70 J, jde o ozáření rovné 1 Gy.

$$D = d\varepsilon / dm$$

ε ... sdělená energie, tj. energie, kterou ionizující záření předalo objemovému elementu látky, s kterou interagovalo

Dávkový příkon je přírůstek dávky dD za jednotku času dt . Jednotkou je Gy/s, často se dávkový příkon vyjadřuje v mGy/h nebo v μ Gy/h. Dávkový příkon přírodního pozadí je 0,1 – 0,3 μ Gy/h.

Dávkový ekvivalent H je součin absorbované dávky D v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q . Jakostní činitel Q charakterizuje rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření, závisí na lineárním přenosu energie LET. Jednotkou je 1 Sv (sievert) s rozměrem [J/kg].

$$H = Q \cdot D$$

Mezinárodní komise pro ochranu před zářením (ICRP) doporučila v roce 1990 nahradit veličinu dávkový ekvivalent veličinou ekvivalentní dávka.

Ekvivalentní dávka H_T je součet součinů absorbované dávky $D_{T,R}$ ve tkáni T působením záření typu R a radiačního váhového faktoru w_R , kde se sčítají příspěvky od jednotlivých druhů záření. Jednotkou je 1 Sv (sievert).

$$H_T = \Sigma (w_R \cdot D_{T,R})$$

w_R ... radiační váhový faktor, jeho hodnoty závisí na druhu a energii dopadajícího záření (pro záření $\alpha = 20$).

Hodnoty w_R plní stejnou funkci jako hodnoty jakostního činitele Q , ale ty, na rozdíl od jakostního činitele Q , zohledňují i další okolnosti ozáření.

Legislativa radiační ochrany preferuje pro limitování ozáření veličinu efektivní dávka.

Efektivní dávka E je součet součinů ekvivalentních dávek H_T v jednotlivých tkáních či orgánech a tkáňových váhových faktorů w_T , který vyjadřuje míru závažnosti ozáření pro kterýkoliv orgán nebo tkáň. Jednotkou je 1 Sv (sievert) s rozměrem [J/kg].

$$E = \Sigma (w_T \cdot H_T)$$

Efektivní dávka určuje míru poškození organismu stochastickými účinky. Umožňuje vyjádřit jedním číslem radiační zátěž jak při rovnoměrném ozáření, tak i při nerovnoměrném ozáření či ozáření jen určitých orgánů. Veličina efektivní dávky zohledňuje typ záření, homogenitu ozáření a riziko vzniku stochastických účinků.

Kolektivní efektivní dávka je součet efektivních dávek všech jednotlivců v určité skupině. Jednotkou je 1 Sv (sievert), ale pro zdůraznění, že jde o kolektivní dávku, se spíše používá jednotka označená manSv.

Expozice produktům přeměny radonu P je dána součinem (konstantní nebo průměrné) objemové aktivity radonu ve vzduchu a a doby pobytu T v ní. Jednotkou je Bq.h/m³.

$$P = a \cdot T$$

Příjem I je aktivita radionuklidu přijatá do lidského organismu z prostředí, obvykle požitím nebo vdechnutím. Příjem I je dán součinem koncentrace radonu a , doby pobytu v ní T a plicní ventilací Q . Jednotkou je 1 Bq.

$$I = a \cdot T \cdot Q$$

Koncentrace potenciální (latentní) energie produktů přeměny radonu vyjadřuje množství energie záření α vyslané při úplné přeměně všech atomů krátkodobých produktů přeměny radonu v jednotce objemu. Je vyjadřovaná v MeV/l, kde EOAR 1 Bq/m³ = 35 MeV/l. Tato jednotka se používala dříve, a to v dolech.

Objemová aktivita radonu OAR je aktivitou samotného plynu radonu ²²²Rn v jednotce objemu vzduchu a uvádí se v jednotkách Bq/m³ (někdy ještě pCi/l s převodním vztahem 1pCi/l = 37 Bq/m³). Pokud bude objemová aktivita radonu např. 100 Bq/m³, znamená to, že v 1 m³ vzduchu dojde každou sekundu k přeměně 100 atomů izotopu ²²²Rn.

Ekvivalentní objemová aktivita radonu EOAR je v České republice od roku 2002 nahrazena veličinou OAR. Jen pro ucelený přehled vysvětlím, co veličina EOAR popisuje. Ekvivalentní objemová aktivita radonu souvisí s koncentrací latentní energie produktů přeměny radonu. Je to rovnovážná směs radonu a jeho produktů přeměny, která má v jednotce objemu vzduchu stejnou koncentraci potenciální energie produktů přeměny radonu jako reálná nerovnovážná směs. Důsledkem ventilace v budovách a stálé dotace radonu nemůže prakticky existovat rovnovážná směs radonu a jeho produktů přeměny. EOAR se zavedla proto, aby se nemuselo vždy uvádět konkrétní zastoupení jednotlivých produktů přeměny radonu. Ekvivalentní objemová aktivita radonu je mírou efektivní dávky (v mSv). Zohledňuje negativní zdravotní účinky dceřiných produktů radonu. Pro ekvivalentní objemovou aktivitu radonu platí stejné jednotky jako pro objemovou aktivitu radonu, to znamená Bq/m³ (nebo pCi/l). Můžeme se setkat ještě se starou jednotkou WL (working level), která byla používaná v dolech. Jeden WL odpovídá EOAR rovné 3700 Bq/m³ a 130 000 MeV potenciální energie alfa uvolněné krátkodo-

bými produkty přeměny v jednom litru vzduchu. Expozice pracovníků v dolech se vyjadřovaly v jednotkách **WLM** (working level month), které spojují koncentrace produktů přeměny radonu ve vzduchu (WL) a trvání expozice v měsíci (170 pracovních hodin). To znamená, že $1 \text{ WLM} = 170 \text{ WL} \cdot \text{h} = 1 \text{ WL} \cdot 170 \text{h}$.

Faktor rovnováhy F udává poměr EOAR / OAR a je vždy menší než 1. Roven 1 by mohl být právě jen v případě rovnováhy, což je ve vzduchu místnosti zcela nereálné. Faktor rovnováhy je bezrozměrný a v reálných podmínkách bytů se uvažuje $F = 0,4$ až $0,5$.

Převodní vztah mezi EOAR a OAR: $EOAR = F \cdot OAR$

Pokud uvažujeme reálné podmínky bytů, platí vztah $EOAR = 0,4 \cdot OAR$. Koncentrace radonu je tedy 2,5krát větší než koncentrace produktů přeměny radonu. ^[9, 13]

Přepoččet EOAR a OAR na efektivní dávku E

Přepoččet objemové aktivity na efektivní dávku samozřejmě závisí na době pobytu osob, na ventilaci plic a faktoru rovnováhy. Nejsou-li známy přesné doby pobytu uvnitř budov, uvažuje se 80% (přibližně 7000 hodin ročně) pobytu ročně uvnitř budov (doma a v práci) a 20% (přibližně 2000 hodin ročně) venku. Pobytu 7000 hodin ročně v obydlích s OAR 250 Bq/m^3 odpovídá roční efektivní dávka $4,3 \text{ mSv}$. ^[9, 13]

$$EOAR \ 100 \text{ Bq/m}^3 = 4,3 \text{ mSv}$$

$$OAR \ 250 \text{ Bq/m}^3 = 4,3 \text{ mSv}$$

Průměrná hodnota OAR v bytovém fondu České republiky je 118 Bq/m^3 , to odpovídá ročně efektivní dávce cca 2 mSv . Jsou i byty s hodnotami nad 2500 Bq/m^3 , to odpovídá ročně více než 43 mSv . Místa s vysokým rizikem vnikání radonu do budov jsou v České republice především v oblasti středočeského plutonu (leží na rozhraní středočeského a jihočeského regionu) a Třebíčský masiv. Dále pak všechny oblasti pohraničních hor. ^[13, 18]

1.5 Historie radonové problematiky

Přírodní radioaktivní látky byly přítomny na Zemi už od jejího počátku. Zatímco prvky s kratším poločasem rozpadu již vymizely, prvky s dlouhým poločasem rozpadu jsou stále přítomny. Manželé Curieovi v roce 1898 při výzkumu radioaktivity uranu objevili rádium, a tím studium radioaktivity významně posunuli kupředu. V roce 1900 fyzik F. Dorn objevil, že soli radia produkují radioaktivní plyn radon.

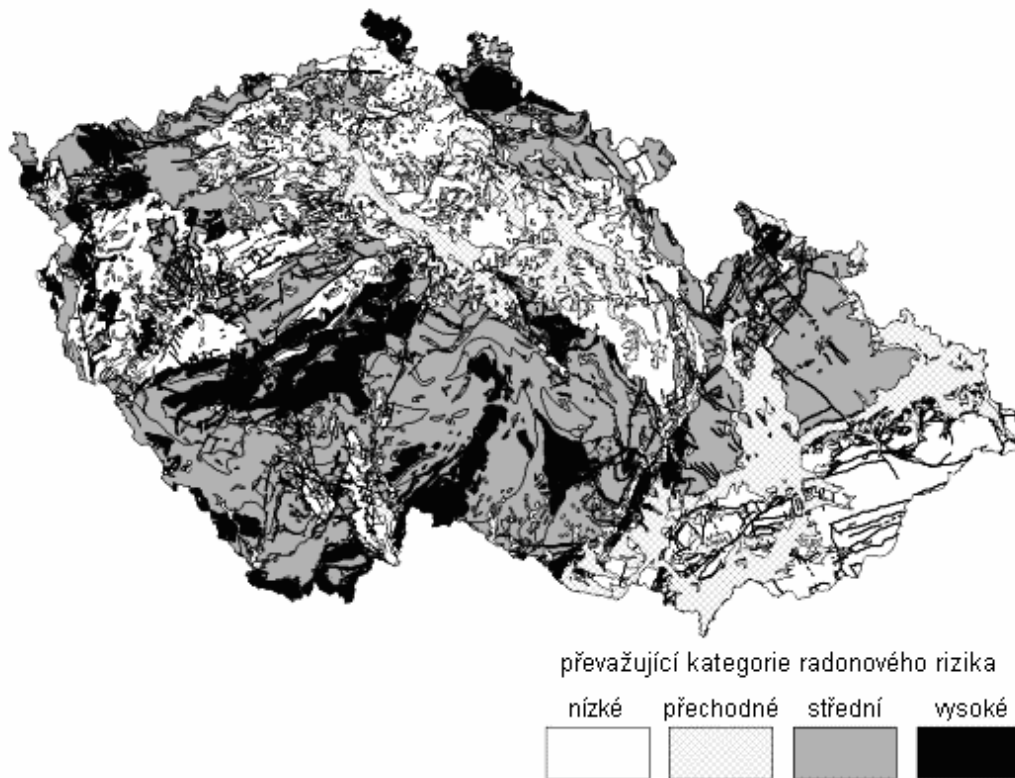
Počátky radonové problematiky spadají už do 16. století, kdy Agricola zaznamenal vysokou úmrtnost horníků stříbrných dolů v regionu Schneeberg v Sasku na onemocnění plic. V 17. a 18. století výskyt tohoto onemocnění, pojmenovaného „hornická choroba“, stoupal s intenzitou dolování. Až v roce 1879 byla tato nemoc diagnostikována jako rakovina plic. V roce 1901 byla provedena v schneebergských dolech měření, která prokázala vysoké hodnoty radonu. Na základě těchto výsledků byl stanoven vztah mezi vysokými objemovými aktivitami radonu a rakovinou plic. Další a přesnější měření, která potvrdila dřívější hypotézu, byla provedena na počátku dvacátých let 20. století i v jiných hlubinných dolech. Dolování uranu postupem času vzrůstalo, ale koncentrace radonu začaly být v dolech měřeny až v roce 1950. Od roku 1951 byl karcinogenní účinek radonu na plíce doložen i pokusy na zvířatech. Teprve v roce 1952 objevil W. F. Bale z USA (nezávisle na něm i akademik F. Běhounek) hlavní důvod onemocnění plic. Po vdechnutí krátkodobých produktů přeměny radonu se tyto produkty usazují v dýchacích cestách a následně ozařují kmenové buňky epitelu na povrchu dýchacích cest. Objev vedl v polovině 60. let 20. století v Československu k provedení řady epidemiologických studií horníků v uranových dolech, u kterých byl zaznamenán nárůst počtu rakoviny plic, čímž se potvrdil karcinogenní účinek radonu na člověka.

Přestože Ernest Rutherford tvrdil už v roce 1907, že každý denně inhaluje radon, byla první rozsáhlá měření objemových koncentrací radonu v domech provedena Bengtem Hultqvistem až v roce 1956 ve Švédsku. Ten odhalil uvolňování radonu ze stěn domů, které byly postaveny z tehdy nového stavebního materiálu, pórobetonu, a také nasávání radonu z podloží ledovcového původu. Zjištěné vysoké hodnoty radonu byly brány pouze za lokální problém a neměly žádnou mezinárodní odezvu. Teprve

v sedmdesátých letech 20. století byly objeveny vysoké koncentrace radonu v dalších zemích. To vedlo ke vzniku velkých národních antiradonových programů. Zjistilo se, že v některých oblastech hodnoty koncentrace radonu dosahují hodnot srovnatelných s koncentracemi v dolech. V Čechách byly přípravy na radonový program zahájeny v roce 1978 v Jáchymově. Ukázalo se, že je zde vyšší radonové riziko z podloží, špatná izolace domů vůči podloží a navíc zde bylo použito do stavebních materiálů vysoce radioaktivních odpadů z místní výroby uranových barev.

V roce 1982 byly v pórobetonu, který se vyráběl v Poříčí u Trutnova, objeveny koncentrace rádia vyšší, než připouštěla norma. Příčinou byl elektrárenský popílek z místní elektrárny Poříčí u Trutnova, který byl surovinou pro výrobu pórobetonu. Tato elektrárna spalovala černé uhlí vysoce obohacené o uran ze žacléřsko-svatoňovické uhelné pánve. Z tohoto materiálu bylo postaveno asi 30 000 rodinných domů, ale jen v několika bytech byla naměřená koncentrace radonu vyšší, než dovolovala norma. Tento případ vedl k zahájení výzkumu protiradonových opatření, zaměřených především na stavební materiály. Podobným případem bylo použití škváry pro výrobu stavebního materiálu z elektrárny v Rynholci u Nového Strašecí. Z těchto škvárobetonových panelů bylo vyrobeno v letech 1972-83 asi 3000 domů, mimo jiné i montované rodinné domy Start. Vláda po odhalení problému nabídla majitelům výkup nebo sanaci těchto domů. V letech 1982 a 1983 byl proveden v celé republice reprezentativní průzkum objemových aktivit radonu v domech. V polovině 80. let byly nalezeny budovy s velmi vysokými koncentracemi radonu, který prokazatelně pocházel z podloží. Český geologický ústav vytipoval oblasti s vysokým, středním a nízkým radonovým rizikem. Postupně bylo zahájeno systematické monitorování území republiky. Na základě zjištěných hodnot a informací o geologickém podloží byla v roce 1998 vypracována ČGÚ pro celou Českou republiku tzv. prognózní mapa radonového rizika. Česká republika je podle map rozdělena na území s nízkým, středním a vysokým radonovým indexem. Přejídnou kategorií jsou označeny nehomogenní kvartérní sedimenty. S využitím map radonového rizika se vyhledávají budovy s vyšším rizikem a následně se vyzývají k realizaci protiradonových opatření.

Už v roce 1991 vyšla první radonová vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 76/1991 Sb., která problematiku legislativně řešila. Po šesti letech byl přijat Atomový zákon, kterým se řídíme do dnešní doby. Důsledným řešením radonového rizika v bytech se mělo zabývat zpočátku Ministerstvo životního prostředí. Teprve v roce 2000 se hlavním gestorem radonové problematiky stal SÚJB. Cílené vyhledávání objektů se zvýšenou objemovou aktivitou radonu v ovzduší bylo zahájeno na základě předchozích usnesení vlády již v roce 1991 a od roku 2000 pokračuje v rámci Radonového programu. [9, 30, 45, 22, 23]



Obr. 1.2. Prognózní mapa radonového rizika v měřítku 1:500 000, zpracoval ČGÚ
Praha, 1998 [45.1]

1.6 Legislativa

Měřením radonu v minulých desetiletích bylo prokázáno, že Česká republika patří mezi nejvíce radonem postižené země Evropy. Z toho důvodu byla v roce 1991 vydána vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 76/1991 Sb., o požadavcích na omezování ozáření z radonu a z dalších přírodních radionuklidů, která zdůraznila význam preventivní ochrany u nově stavěných objektů a zahájila řešení ozdravných opatření u starších objektů za pomoci finančního příspěvku státu. V roce 1990 a 1993 byla vydána usnesení vlády k radonové problematice č. 150/1990 a č. 709/1993.

Vyhláška č. 76/1991 Sb. byla v roce 1997 nahrazena atomovým zákonem č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a o změně a doplnění některých zákonů a prováděcí vyhláškou č. 184/1997 Sb., která byla novelizována vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky 499/2005 Sb.. Ve čtvrté části této vyhlášky jsou stanoveny zásahy ke snížení ozáření z přírodních zdrojů ionizujícího záření a směrné a mezní hodnoty pro obsah radonu ve stávajících a nových stavbách, ve stavebním materiálu a ve vodě. Z hlediska radonové problematiky je důležitý i § 94, kde jsou určeny podrobnosti ke stanovení radonového indexu pozemku. ^[35, 37, 43]

Mezi další právní podklady, které slouží při řešení radonové problematiky, patří vyhláška Ministerstva financí č. 461/2005 Sb., o postupu při poskytování dotací na přijetí opatření ke snížení ozáření z přírodních radionuklidů ve vnitřním ovzduší staveb a ke snížení obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě pro veřejné zásobování a vyhláška SÚJB č. 462/2005 Sb., o distribuci a sběru detektorů k vyhledávání staveb s vyšší úrovní ozáření z přírodních radionuklidů a stanovení podmínek pro poskytnutí dotace ze státního rozpočtu. Tyto vyhlášky nabyly účinnosti k 1. 1. 2006 a stanovují podmínky pro poskytování dotací na protiradonová ozdravná opatření a určují pravidla pro nakládání s detektory. Ministerstvo financí vydalo k provedení vyhlášky č. 461/2005 Sb. Metodický postup čj. 12/33 569/2006 – 124.

Radonový program ČR byl schválen usnesením vlády ČR č. 538 ze dne 31.5. 1999, které je doplněno usnesením vlády č. 970 ze dne 7. 10. 2002.

Doc. Ing. Martin Jiránek, CSc. ve spolupráci se SÚJB zpracoval dvě normy, které stanovují protiradonová ochranná opatření staveb ke snížení průměrných hodnot objemové aktivity radonu a ostatních přírodních radionuklidů v budovách a nově zavádějí pojem radonový štítek budovy: ČSN 73 0602 Ochrana staveb proti radonu a záření gama ze stavebních materiálů a ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží.

Ke stanovení radonového indexu stavebního pozemku byla v roce 2004 vydána Metodika pro stanovení radonového indexu pozemku ve formě doporučení SÚJB (nahradila dřívější metodiku z roku 1998). [20, 14, 34, 35, 36, 37]

1.6.1 Stavby

Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č.499/2005 Sb., určuje směrné a mezní hodnoty v obytném prostoru stávajících a projektovaných budov. Směrná hodnota nepředstavuje hranici mezi škodlivostí a nezávadností, je to kompromis mezi sociálně ekonomickými a zdravotními hledisky, je to kompromis mezi náklady na léčení nemocných s rakovinou plic a náklady na ozdravná opatření domů. To znamená, že neexistuje žádná prahová koncentrace radonu, pod kterou by lidé nebyli vystaveni žádnému riziku vzniku rakoviny plic. Směrná hodnota je taková hodnota objemové aktivity radonu, při jejímž překročení je zvažován zásah ke snížení stávajícího ozáření z radonu a jsou připravována a prováděna opatření proti pronikání radonu z podloží, ze stavebních materiálů a dodávané vody. [23]

V obytném prostoru stávajících budov je směrná hodnota pro objemovou aktivitu radonu 400 Bq/m^3 v průměru za rok. V obytném prostoru projektovaných a nově stavěných budov je směrná hodnota pro objemovou aktivitu radonu 200 Bq/m^3 v průměru za rok. Jako administrativní hodnota pro poskytování státní dotace na ozdravná opatření byla v České republice zvolena hodnota pro objemovou aktivitu radonu ve stávajících budovách 1000 Bq/m^3 v průměru za rok. Nad zásahovou úrovní má majitel obytného objektu možnost požádat o dotaci ze státního rozpočtu ve výši 150 000,- Kč, podle §3 vyhlášky č. 462/2005 Sb. Stát poskytuje úhradu jen na nejjed-

nodušší, ale postačující protiradonová opatření a samozřejmě pouze jednou. Další ozdravná opatření si musí majitel domu uhradit sám. Mezní hodnota pro objemovou aktivitu radonu ve stávajících budovách je 4 000 Bq/m³ v průměru za rok. Překročení této hodnoty s sebou nese naléhavé zahájení ozdravných opatření. [14, 34, 35, 36, 37]

1.6.2 Stavební materiál

Atomový zákon a vyhláška č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., ukládají výrobcům a dovozcům stavebních materiálů povinnost zajišťovat systematické stanovení indexu hmotnostní aktivity měřením obsahu všech přírodních radionuklidů, tj. měřením obsahu ²²⁶Ra, ²³²Th a ⁴⁰K ve vyráběných materiálech. Četnost měření je určena podle druhu materiálu a jeho použití ve stavbách. Například u všech druhů cihel, tvárnic a betonů 1x za rok, pokud jsou použité pro stavby s pobytovým prostorem, nebo 1x za 2 roky při použití pro jiné stavby než s pobytovým prostorem. U ostatních stavebních materiálů 1x za 2 roky při použití pro stavby s pobytovým prostorem nebo 1x za 5 let při použití pro jiné stavby než s pobytovým prostorem.

Pro hodnocení výsledků jsou stanoveny dvě úrovně - mezní a směrná hodnota. Pokud je obsah radia vyšší než stanovená mezní hodnota, nesmí být stavební materiál uveden do oběhu. Pokud jsou překročeny směrné hodnoty, posuzuje se, zda není možné nějakým rozumným způsobem radioaktivitu snížit, například změnou technologie, změnou surovin, tříděním surovin a nebo jiným vhodným zásahem (§96 odst. 2 vyhlášky č. 307/2002 Sb.).

Mezní hodnoty hmotnostní aktivity ²²⁶Ra pro stavby s obytnými místnostmi jsou stanoveny takto: 150 Bq/kg (pro materiály používané ve stavbě ve velkém množství, jako jsou cihly a výrobky z betonu, pórobetonu, škvárobetonu, cementu, sádry a vápna) a 300 Bq/kg (pro materiály používané ve stavbě v omezeném množství, jako jsou obkladačky, stavební kámen, písek, štěrk, cement, vápno, atd.).

Mezní hodnoty hmotnostní aktivity ²²⁶Ra pro stavby, kde není pobytový prostor, jsou stanoveny takto: 500 Bq/kg (pro materiály používané ve stavbě ve velkém množ-

ství, jako jsou cihly a výrobky z betonu, pórobetonu, škvárobetonu, cementu, sádry a vápna) a 1000 Bq/kg (pro materiály používané ve stavbě v omezeném množství, jako jsou obkladačky, stavební kámen, písek, štěrk, cement, vápno, atd.).

Směrné hodnoty jsou stanoveny hodnotami indexu hmotnostní aktivity, což je číslo určené na základě hmotnostních aktivit ^{40}K , ^{226}Ra a ^{228}Th . [4, 35]

1.6.3 Voda

Atomový zákon a vyhláška č.307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., ukládají dodavatelům vody do veřejných vodovodů povinnost zajišťovat systematické měření a hodnocení obsahu radonu ve vodě 1x za rok. Pro hodnocení výsledků jsou stejně jako u stavebních materiálů stanoveny dvě úrovně - mezní a směrná hodnota.

Mezní hodnota objemových aktivit ^{222}Rn pro balenou kojeneckou vodu je 100 Bq/l, pro veřejné zásobování pitnou vodou je 300 Bq/l a pro balenou přírodní minerální vodu je to 600 Bq/l. Pokud je mezní hodnota objemové aktivity radonu překročena, nesmí být voda dodávána a je zapotřebí obsah radonu ve vodě snížit vhodnou úpravou nebo nahradit zdroj vody.

Směrná hodnota objemových aktivit ^{222}Rn pro balenou kojeneckou vodu je 20 Bq/l, pro veřejné zásobování pitnou vodou je 50 Bq/l a pro balenou přírodní minerální vodu je to 100 Bq/l. Pokud je obsah radonu ve dodávané vodě vyšší než směrná hodnota, požaduje se posoudit, zda by nebylo v tomto případě výhodné radon z vody odstranit. Porovnávají se náklady a přínos takového opatření. [35]

V příloze 3 je přiložen na ukázkou protokol, který vydává Zdravotní ústav v Českých Budějovicích soukromým osobám, které si měření radonu z vodního zdroje objednali. Měření vody pro osobní zásobování z individuální studně není povinné. Doporučuje se alespoň v oblastech s vysokým radonovým rizikem geologického podloží.

V rámci Radonového programu České republiky provádí bezplatné měření obsahu radonu ve vodě Státní ústav radiální ochrany, oddělení přírodních zdrojů v prostředí, laboratoř Hradec Králové. Ke stanovení objemové aktivity ^{222}Rn stačí naplnit malou

vzorkovnici (PET láhev o objemu 0,28 litru) vodou podle pokynů SÚRO, vyplnit průvodku vzorku a ihned poslat do laboratoře v Hradci Králové. Zde se k měření OAR používá tříkanálového analyzátoru JKA 300 a scintilačního detektoru NKG 315.

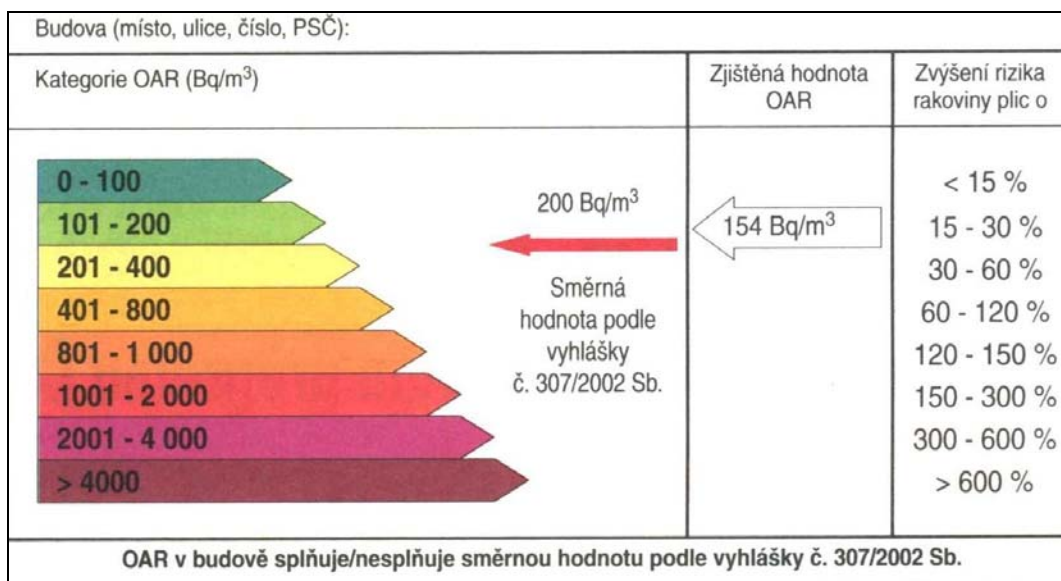
1.6.4 Radonový index pozemku

Radonový index pozemku je index, který popisuje míru rizika pronikání radonu z geologického podloží na daném pozemku do budov. S radonovým indexem pozemku úzce souvisí pojem radonový index stavby, což je index vyjadřující míru potřebné ochrany stavby před vnikáním radonu z geologického podloží. Radonový index stavby se stanovuje s ohledem nejen na radonový index pozemku, ale uvážením řady dalších okolností projektované stavby. Při stanovení radonového indexu pozemku se vychází ze 3 ukazatelů: měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu, posouzení plynopropustnosti základových půd a posouzení dalších charakteristik geologického podloží, které ovlivňuje transport radonu v základových půdách. Na základě těchto měření je určena kategorie radonového indexu základových půd - nízký, střední, vysoký a přechodný. Přechodný index znamená, že půda vykazuje rozdílné vlastnosti a nejde s přesností zařadit do určité kategorie. Většinou jsou to sedimenty, které jsou pro všechny látky různě propustné. Proto ve svých výsledcích přiřazuji obcím, které leží v přechodném indexu, takovou kategorii radonového indexu geologického podloží (nízký, střední, vysoký), který k obci přiléhá nebo jí obklopuje. Podrobnosti ke stanovení radonového indexu pozemku jsou uvedeny v příloze č. 11 vyhlášky č. 307/2002 Sb.

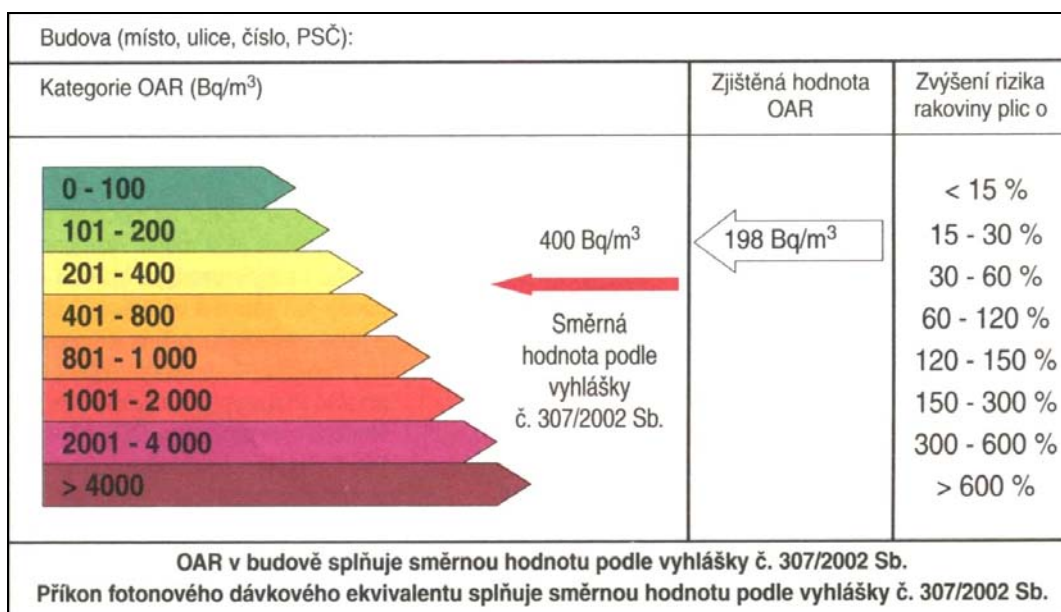
Ten, kdo žádá o stavební povolení, je povinen, podle §6 odst. 4 zákona č. 18/1997 Sb., zajistit stanovení radonového indexu pozemku a výsledky předložit stavebnímu úřadu. Při výstavbě nových budov na pozemku s vysokým a středním radonovým indexem ukládá zákon provést opatření ke snížení pronikání radonu z geologického podloží podle podmínek stanovených stavebním úřadem. ^[35, 37]

1.6.5 Radonový štítek budovy

Česká technická norma ČSN 73 0601 z února 2006 zavádí nový pojem – radonový štítek budovy. Jeho hlavním úkolem je přiblížit běžnému občanovi hodnocení budovy z hlediska míry ozáření radonem. Radonový štítek budovy tedy slouží k přehlednému porovnání objemové aktivity radonu, která byla naměřena v budově, se směrnou hodnotou a zároveň se zvýšením rizika vzniku rakoviny plic (obr. 1.3 a 1.4). Na rozdíl od směrné hodnoty informuje občana o úrovni zdravotního rizika, kterému se v budově vystavuje. Podle epidemiologických zkoumání, které zveřejnili S. Darby et al. ve své studii v roce 2004, se riziko rakoviny plic zvyšuje o 15 % na každých 100 Bq/m³. Součástí radonového štítku budovy jsou identifikační údaje o budově, jejím majiteli a o zpracovateli štítku. Dále obsahuje popis protiradonového opatření, výsledky měření OAR a příkonu fotonového dávkového ekvivalentu v jednotlivých místnostech a jiné údaje. Radonový štítek může být vystaven buď pro celou budovu, nebo pro jednotlivé funkční části domu. Radonový štítek budovy lze použít k prokázání koncentrace radonu v budově pro kolaudační řízení nebo pro prokázání účinnosti protiradonových opatření, k jednání o prodeji či zástavě nemovitosti a podobně. U nových nebo u rekonstruovaných staveb by měl být radonový štítek budovy součástí dokumentace o předání stavby. [4, 3, 23]



Obr.1.3. Radonový štítek budovy pro novou stavbu před kolaudací ^[3]



Obr.1.4. Radonový štítek budovy pro stávající stavbu ^[3]

1.6.6 Dotace

Postup při poskytování dotací stanovuje vyhláška Ministerstva financí č. 461/2005 Sb. a také vyhláška SÚJB č. 462/2005 Sb., které nabyly účinnosti k 1. 1. 2006. K provedení vyhlášky č. 461/2005 Sb. byl vydán Metodický postup čj. 12/33 569/2006 – 124, který seznamuje žadatele o dotaci s postupem k poskytnutí dotace. Vlastník nemovitosti vyplní žádost o poskytnutí dotace (vzor této žádosti je uveden v příloze vyhlášky) a podá ji příslušnému krajskému úřadu. Pokud má být dotace poskytnuta ještě v roce podání žádosti, musí být žádost podána do 30. září. Krajský úřad zkontroluje, zda žádost obsahuje všechny náležitosti (uvedené v §2 vyhlášky č. 461/2005 Sb.), zda jsou splněny všechny podmínky pro poskytnutí dotace (podle §3 vyhlášky č. 462/2005 Sb.) a předá žádost Ministerstvu financí. Po obdržení žádosti ministerstvo písemně potvrdí krajskému úřadu přijetí žádosti a uvede výši částky, která bude pro vlastníka nemovitosti ve státním rozpočtu na ozdravná opatření rezervovaná. Podle §3 vyhlášky č. 462/2005 Sb. lze dotaci poskytnout pouze tehdy, pokud bylo provedeno účinné opatření ke snížení radonu. Za účinné opatření se považuje snížení radonu v ovzduší budov pod směrnou hodnotu 400 Bq/m^3 nebo alespoň o 75 % z původní hodnoty a v pitné vodě pod směrné hodnoty. O dotaci ve výši 150 000 Kč může zažádat vlastník nemovitosti s pobytoým prostorem, pokud zde byla celoročním měřením naměřena hodnota OAR v průměru přes celý byt vyšší než 1000 Bq/m^3 . O dotaci do výše 100 000,- Euro může žádat vlastník budovy školského zařízení, kde byla naměřena hodnota OAR vyšší než 400 Bq/m^3 , dále pak vlastník budovy, která slouží pro zabezpečení sociálních a zdravotních služeb, kde byla hodnota OAR překračující 1000 Bq/m^3 , a také vlastník vodovodu pro veřejné zásobování, pokud byly překročeny mezní hodnoty. Dotaci uvolní Ministerstvo financí příslušnému krajskému úřadu, který následně zajistí převod na účet vlastníka nemovitosti, a nebo pošle hotovost poštovní poukázkou. [14, 34, 35, 36]

1.6.7 Distribuce detektorů

Distribucí a sběrem detektorů k vyhledávání staveb s vyšší úrovní ozáření z přírodních radionuklidů se zabývá vyhláška SÚJB č. 462/2005 Sb. Detektory jsou určeny k měření OAR v bytových a rodinných domech, ve školských zařízeních a v budovách pro zabezpečení sociálních nebo zdravotních služeb, které byly postaveny po roce 1991. Distribuci a sběr detektorů zajišťuje krajský úřad. Detektory pro krajské úřady zabezpečuje Státní úřad pro jadernou bezpečnost a krajské úřady zajišťují za úplatu rozmístění detektorů do míst, která stanoví SÚJB podle prognózních map především tam, kde lze předpokládat vysoké radonové riziko. Sebrané detektory předává krajský úřad SÚJB, který zajistí vyhodnocení detektorů a výsledky měření pošle krajskému úřadu. Následně krajský úřad písemně informuje vlastníky nemovitostí o výsledcích měření, o možných opatřeních ke snížení ozáření z radonu a o podmínkách získání dotace ze státního rozpočtu. ^[36]

1.7 Radonový program

Reprezentativní průzkum provedený v roce 1993 ukázal, že kolem 32 tisíc domů v České republice (2 % bytového fondu) má obsah radonu vyšší než 400 Bq/m³. To je hodnota považovaná za důvod k zásahu ke snížení ozáření. S ohledem na možné zdravotní důsledky z ozáření radonem je u nás i v řadě dalších zemí snahou státu ozáření obyvatel z radonu regulovat. Proto byla v České republice přijata dvě usnesení vlády (usnesení vlády č. 538 z 31. května 1999, které bylo doplněno usnesením vlády č. 970 ze dne 7. října 2002), která schválila Radonový program ČR na období od 31. května 1999 do konce roku 2009. ^[19, 45]

Hlavním cílem Radonového programu České republiky je snížit ozáření obyvatelstva vlivem radonu a dalších přírodních radionuklidů. Z toho plynou jednotlivé úkoly Radonového programu ČR, jako je vyhledávání objektů s vysokou koncentrací radonu, preventivní protiradonová opatření, protiradonová ozdravná opatření v objektech a při

úpravě vod, zajištění informování veřejnosti a výzkumná a vývojová činnost. Jednotlivé úkoly budou rozebrány dále. Radonový program ČR je koordinován Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Na Radonovém programu vzájemně úzce spolupracují tyto instituce: Státní ústav radiační ochrany, Český geologický ústav, Přírodovědecká fakulta UK, ČVUT a Asociace radonové riziko (sdružení měřících firem).

1.7.1 Úkoly Radonového programu

1.7.1.1 Vyhledávání rizikových objektů

Program vyhledávání budov je zaměřen především na rodinné domy, kde se většinou proměřují byty v prvním nadzemním podlaží nebo byty přízemní. Při vlastním vyhledávání jsou používány prognózní mapy radonového indexu geologického podloží, kde se SÚJB soustředí hlavně na výběr lokalit ležících ve vysokém radonovém indexu. Podle prognózních map leží v České republice asi 17 % obcí na území s vysokým radonovým indexem, 48 % na území se středním radonovým indexem a 15 % na území s nízkým radonovým indexem. Od začátku vyhledávání v roce 1991 až do roku 2007 bylo nalezeno více než 25 000 domů, kde byla překročena směrná hodnota 400 Bq/m^3 . Do tohoto bodu spadá dále výroba a vyhodnocení detektorů (pod patronací SÚJCHBO), distribuce a sběr detektorů (KÚ), sdělení výsledků samosprávě (SÚJB) a samotným majitelům budov (KÚ). Při vyhledávání rizikových objektů hrají důležitou roli mapy radonového indexu (viz. obr. 1.6.) Státní úřad pro jadernou bezpečnost podle nich určuje, které obce leží na vyšších radonových indexech půd a které tak budou proměřeny.

Při distribuci detektorů dostane každý měřený dům dva detektory, které zde zůstávají na dobu jednoho roku a radonový leták, který vydává SÚRO. V tomto letáku jsou stručné, ale výstižné informace, které by měl každý občan znát. Mimo to je zde popsán i princip a umístování detektoru (viz příloha č. 4). Ten, kdo detektory roznáší, musí vyplnit s obyvatelem domu dotazník, který obsahuje pro SÚJCHBO důležité informace při vyhodnocování a určení zdrojů radonu (viz. příloha č. 5).^[22]

1.7.1.2 Preventivní protiradonová opatření

Protiradonová prevence, která je nedílnou součástí Radonového programu ČR, má výhledově významný vliv na snížení výskytu rakoviny plic u populace ČR. Účelem preventivních opatření je zabránit výstavbě budov, kde by objemová aktivita radonu byla vyšší než jsou směrné hodnoty. Pro tento účel byla zavedena veličina radonový index pozemku a vydána Metodika pro stanovení radonového indexu pozemku. Zákon č. 18/1997 Sb. a vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., ukládá žadatelům o stavební povolení zaprojektovat protiradonová opatření, pokud je radonový index pozemku střední nebo vysoký. Stanovení radonového indexu pozemku směřují provádět pouze firmy, které mají povolení od SÚJB. [22]

1.7.1.3 Protiradonová ozdravná opatření

Tento bod náplně Radonového programu ČR obsahuje tři základní cíle – poskytování dotace na ozdravná opatření, vyhodnocení efektivnosti ozdravných opatření a poskytování dotací na snížení obsahu radionuklidů ve veřejných vodovodech. Na dotaci má vlastník nemovitosti nárok až po překročení hodnoty objemové aktivity radonu 1000 Bq/m^3 podle vyhlášky SÚJB č. 462/2005 Sb. Dotace je poskytována Ministerstvem financí dodatečně až po provedení protiradonových opatření a prokázání jejich účinnosti, Objemová hodnota radonu v domě musí klesnout buď pod směrnou hodnotu, anebo o 75 % z původní hodnoty. [22]

1.7.1.4 Informování veřejnosti

Informování veřejnosti o radonovém riziku je dvojího typu: informování veřejnosti u nových staveb a u stávajících staveb. Vlastníkům stávajících budov jsou poskytovány informace o směrných hodnotách a o hodnotách, při jejichž překročení mají možnost dostat státní dotaci na provedení protiradonových ozdravných opatření. Stavebníkům nových budov jsou na stavebních úřadech k dispozici brožury, kde je popsána správná protiradonová prevence a požadavky ČSN 73 0601. Státní ústav radiální

ochrany vydává také pololetně bulletin RADON, který je dodáván na všechny krajské, stavební a obecní úřady. [22]

1.7.1.5 Vývojová a výzkumná činnost

V rámci Radonového programu probíhá i vývojová a výzkumná činnost, která je zaměřena na vývoj nových stavebních ozdravných a preventivních opatření, metod měření a hodnocení, metod stanovení radonového indexu pozemku a na vývoj map radonového rizika bytového fondu. [22]

1.7.2 Cíle Radonového programu

Radonový program je zaměřen na 2 hlavní systémy: **preventivní opatření**, která mají za cíl omezit výskyt radonu v nových stavbách, a na **intervence** (zásahy) ke snížení ozáření z radonu ve stávajících objektech.

Preventivní opatření znamenají především zajištění právního rámce pro regulaci a kontrolu možných zdrojů radonu (radon z podloží, ze stavebních materiálů a z vody) a zajištění dostatečné informovanosti obyvatelstva. Jedná se konkrétně o:

- kontrolování výstavby nových budov na horninovém podloží se středním a vysokým radonovým indexem,
- zajištění dozoru nad obsahem přírodních radionuklidů ve vyráběném a dováženém stavebním materiálu a
- zajištění kontroly nad obsahem přírodních radionuklidů ve vodě dodávané zejména do veřejných vodovodů.

Pro nové stavby a možné zdroje radonu jsou v zákoně č. 18/1997 Sb. a ve vyhlášce č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., stanovena kritéria, při jejichž splnění by nová stavba měla vyhovět požadavkům na obsah radonu v ovzduší (v průměru by měla objemová aktivita radonu dosahovat hodnot menších než 200 Bq/m³).

Intervence ke snížení ozáření obyvatelstva z radonu ve stávajících objektech řeší otázku, zda zásahy mají být vynucovány, nebo zda mají být ponechány na svobodném rozhodnutí majitelů budov. Program intervence ke snížení ozáření ve stávajících budovách je tedy založen na nabídce podpory ze strany státu a svobodném rozhodnutí ze strany občanů tuto podporu přijmout. Intervence je založena na:

- provedení reprezentativního průzkumu obsahu radonu v budovách na území státu (zmapování situace),
- stanovení zásahových úrovní pro provedení protiradonových opatření (vyhláškou č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.),
- zajištění informovanosti obyvatelstva a státní správy,
- zorganizování systematického vyhledávání objektů s vyššími koncentracemi radonu,
- nabídka pomoci občanům při realizaci ozdravných opatření jejich domů.

Systematické vyhledávání objektů s vyššími koncentracemi radonu nyní organizuje SÚJB a SÚRO ve spolupráci s krajskými úřady. K vyhledávání se používají stopové detektory, které se vyhodnocují v SÚJCHBO. Měří se především starší rodinné domy, mateřské a základní školy v oblastech, kde se podle prognózních map očekává vyšší riziko radonu z podloží.

Do konce roku 2007 bylo změřeno více než 150 000 budov. Ve více než 25 000 byla překročena směrná hodnota 400 Bq/m^3 . [22, 31, 45]

1.8 Zdroje radonu v přírodě

1.8.1 Horniny a půdy

Horniny jsou primárním zdrojem radonu. Množství radonu v půdě je závislé na geologickém podloží, hlavně na obsahu uranu v horninách, protože radon ^{222}Rn vzniká radioaktivní přeměnou uranu ^{238}U . Koncentrace uranu se v jednotlivých typech hornin velmi liší. Nejvyšší koncentrace uranu se vyskytují ve vyvřelých, magmatických horni-

nách tvořených zvětralou žulou, zvětralými vulkanickými půdami a některými břidlicemi. Naopak nízké koncentrace uranu je možné očekávat v půdách tvořených sedimenty. Objemovou aktivitu radonu pro dané místo však nelze přepočítat z hodnot koncentrace uranu, protože migrace radonu z místa jeho vzniku k povrchu je závislá na řadě klimatických a pedologických faktorů.

Radon se uvolňuje při přeměně radia a proniká (difúzí, konvekcí – kap.9) póry a štěrbinami v půdě, část radonu se rozpouští ve vodě, která je obsažena v pórech, část se přemění a část unikne do atmosféry. Proto je v půdním vzduchu u povrchu země objemová aktivita radonu malá. Koncentrace radonu roste s hloubkou. V hloubce kolem jednoho metru je dosaženo hodnot v rozmezí 1-100 kBq/m³, v extrémních případech více než 1000 kBq/m³. Uvolnění radonu z půdy do prostředí je závislé na propustnosti půdy (hutnost, poréznost a zrnitost), na jejím stavu (suchá, nasáklá vodou, zmrzlá nebo pokrytá sněhem), na meteorologických podmínkách (teplota půdy a vzduchu, barometrický tlak, rychlost a směr větru). [1, 9, 11, 38]

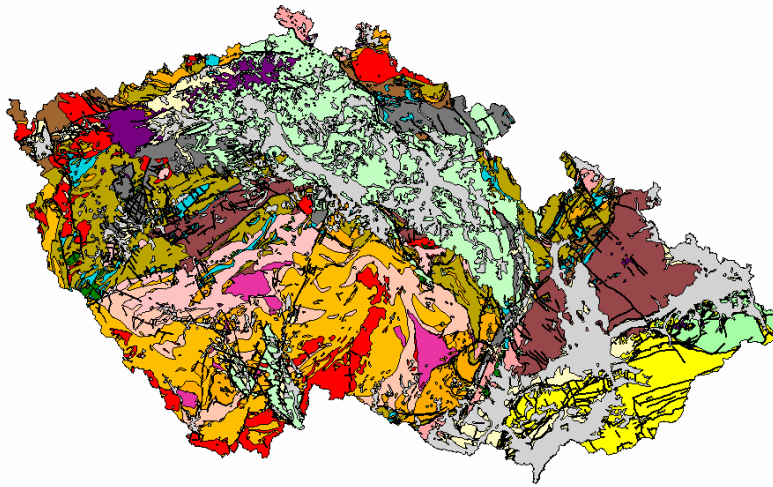
1.8.1.1 Geologické podloží v ČR

Charakter geologického podloží má výrazný vliv na množství uvolňovaného radonu, a tím i na radonové riziko příslušného území. Jak již bylo řečeno, výskyt radonu je závislý na množství uranu v horninách. Uran je prvkem v zemské kůře dosti rozšířeným. I když máme tři izotopy uranu, prakticky lze počítat pouze s uranem ²³⁸U, jehož relativní hmotnostní zastoupení je 99,28 %. V jedné tuně horniny jsou cca 4 gramy uranu. V celé zemské kůře ho pak předpokládáme 4.10¹³ tun. Uran tvoří ložiska nerostných surovin výjimečně. Charakterem uranu je rozptýlenost v horninách. Uran vytváří samostatné minerály (uraninit – smolinec, uranové slídy) nebo je přítomen v horninových minerálech jako biotit, zirkon a apatit. Nejvíce uranu je v horninách vulkanických, v kterých není uran v podobě samostatných minerálů. Takovou typickou horninou je žula, která obsahuje draselný živec (ortoklas). Přestože míst s ložisky uranu není na světě mnoho, geologické výzkumy prokázaly výskyt uranové rudy i v jižních Čechách (ložisko Okrouhlá Radouň, okolí Milevska).

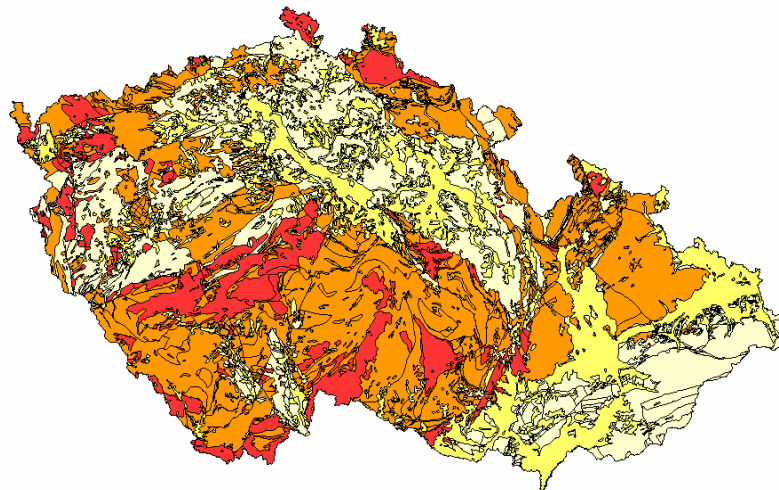
Zdrojem radonu jsou tedy hlavně žuly. Po jejich tektonických liniích (zlomech) probíhá nejen cirkulace vod, ale i plynů. Velikost radonového rizika nezáleží pouze na výchozu zlomů, ale může být ovlivněno i pokryvem, kde jsou horniny v různé propustnosti. Například pokud je žulový výchoz (= tektonicky podrcená žula) pokryt několika metry jílu, radon se obtížně dostane na povrch, a tak se zde radonové riziko nemusí objevit. Pokud je však pokryvem písčité rozpadavá hornina, radon má dobré podmínky pro transport a radonové riziko zde může být značně vysoké. Radon neproniká jen po zlomech, ale i po kontaktu hornin žula – rula. Koncentrace radonu je tedy závislá na typu a propustnosti hornin a pokryvných zemin, četnosti zlomů a také na stáří. Jižní Čechy byly v podstatě vytvářeny od předprvohorního (ruly) až přes prvohorní (žuly) vrásnění. Byly též zaplaveny mořskou transgresí (Třeboňská a Českobudějovická pánev), která zde zanechala vrstvu sedimentů. Všechny regionální celky jižních Čech jsou postiženy tektonikou z proteozoického, variského a nakonec i alpínského vrásnění na rozhraní druhohor a třetihor. Díky těmto rozdílnostem ve stáří jsou zde přítomny zlomy různých směrů a četností. Vysoké koncentrace radonu jsou také na křížení zlomů, v okolí žulových těles (žula, rula) a v místech, kde je žulové pásmo drceno.

Radon se tedy nejvíce vyskytuje v podloží tvořeném zvětřalými vulkanickými horninami (zvětřalou žulou, durbachity), neboť tyto horniny vznikají utuhnutím magmatu, které se vytváří přetavením hornin ve svrchním plášti Země. Při diferenciaci zemského tělesa došlo ke klesání těžkých prvků směrem ke středu Země, a proto koncentrace uranu s hloubkou roste. Z místa vzniku vystupuje magma obohacené radionuklidy do zemské kůry, kde tuhne a vytváří tělesa intruzivních vyvřelin, které nazýváme plutony, batolity, lakolity nebo tvoří v podloží žilné vyvřelé horniny. Horninové složení českého masívu je z velké části tvořeno právě vyvřelými a metamorfovanými horninami. Střední obsah uranu mají metamorfované horniny typu pararuly a nízké koncentrace radonu jsou v sedimentech typu pískovců, jílovců a slepenců, neboť tyto horniny byly již jednou zvětřávacím procesem rozrušeny, separovány, přetransportovány, usazeny a nakonec diagenézí zpevněny. Existují však určité výjimky. Uranové doly se mohou nalézat i v oblastech s převahou sedimentů, stejně jako se může radon vyskytnout v křídových útvech. [Kachlík Jan, ústní podání]

Geologické mapy v měřítku 1:200 000 vydal Český geologický ústav v roce 1991. Každý region Čech je zakreslen na samostatný list. Pro lepší představu jsem přiložila geologickou mapu ČR z internetových stránek Českého geologického ústavu z roku 2003 v měřítku 1:500 000 a mapu radonového rizika (dnes indexu) ČR z roku 2004 v měřítku 1:500 000. Když srovnáme obě mapy, je patrné, na jaké hornině je vyšší obsah radonu. V tabulce 1.3. jsou vyjmenovány jednotlivé horniny a jejich průměrná a maximální hodnota OAR.



Obr. 1.5. Mapa geologického podloží v měřítku 1:500 000, legenda k mapě je v příloze č.1 ^[38.3]



Obr. 1.6. Mapa radonového indexu (dříve rizika) v měřítku 1:500 000, legenda k mapě je v příloze č.2 ^[38.2]

Tab. 1.3. Průměrné a maximální hodnoty objemové aktivity radonu ve zvětralých horninových typech Českého masívu ^[43]

	průměrná hodnota v [kBq/m ³]	maximální hodnota v [kBq/m ³]
durbachity	98,7	435
žula	51,9	332
diority	48,2	125
ortoruly	29,9	155
fenolity	25	59
pararuly	24,8	126
břidlice	23	61
granulity	22,3	68
spraše	13,7	75
pískovce	10,9	73
neovulkanity	10,5	152
jílovce	8,9	55

1.8.2 Voda

Radon se do vody uvolňuje z hornin obsahujících uran a radium poměrně složitými procesy, které závisí na geochemických, fyzikálních a hydrologických podmínkách. Podzemní voda obsahuje řádově vyšší hodnoty radonu než vody povrchové. To je dáno dlouhodobým kontaktem vody s horninami s vyšším obsahem uranu. Vody vyplňují póry a dutiny v půdě a horninách. Objemové aktivity radonu v podzemních vodách jsou na úrovni objemových aktivit radonu ve vzduchových pórech hornin a půd. To odpovídá hodnotám 10-1000 Bq/l. Extrémní hodnoty objemové aktivity radonu dosahují v podzemních vodách 10-1000 kBq/l. Výskyt vyšších hodnot radonu je zjištěn v okresech Jindřichův Hradec, Písek, Prachatice, Strakonice, Plzeň. ^[9, 11, 45]

1.8.3 Ovzduší

Jak už bylo řečeno, radon se uvolňuje do ovzduší zejména z hornin a půdy. Radon uniká ze Země do atmosféry difúzí (uniká z prostředí s vyšší OAR do prostředí s nižší OAR). Rychle se rozptýluje díky vzdušným proudům. Podle známých koncentrací radonu v zemi a známé difúzní délky lze určit, že difúzní tok aktivity z povrchu Země do atmosféry je v rozmezí 10-20 mBq/m²s. Průměrná objemová aktivita radonu v přízemní vrstvě atmosféry se pohybuje kolem 5-10 Bq/m³. Koncentrace radonu klesají velmi rychle s výškou nad terénem. Roční efektivní dávka od radonu a jeho produktů přeměny při pobytu venku 2000 hodin ročně je kolem 0,1 mSv. Vyšší koncentrace radonu jsou samozřejmě v budovách. [9]

1.9 Migrace radonu z podloží do atmosféry

Tato kapitola popisuje migraci radonu z geologického podloží, kde vznikl, do atmosféry, kde se rozptýluje a postupně se rozpadává na stabilní radioaktivní prvky. Z mateřské horniny, která obsahuje radium ²²⁶Ra, se uvolňují při radioaktivním rozpadu atomy radonu ²²²Rn. Tento proces se nazývá emanace. Je to děj, kdy při přeměně radia je emitována náhodným směrem částice α a opačným směrem atom radonu, tzv. zpětný odraz. Pokud se atom radonu po zpětném odrazu ocitne ve vzduchu, stává se lépe transportovatelným, následuje migrace atomu radonu po krystalové mřížce minerálu k jeho povrchu a nakonec přechod atomu radonu do pórů a trhlin horniny. Koncentraci radonu v půdním vzduchu tvoří ty atomy radonu, které pronikly až do pórů hornin a zemin. V této fázi dochází ke dvěma základním typům transportu radonu z geologického podloží, difúzi a konvekci. [43]

a) Difúze je jev způsobený tepelným pohybem molekul a atomů plynu radonu, který vede k jejich transportu z míst s vyšší koncentrací (horniny a zeminy kde vznikl) do míst s koncentrací nižší (atmosféra). Migrace radonu difúzí závisí na pórovitosti prostředí, uspořádání částic horniny, na nasycenosti pórů zeminy kapalinou a na teplotě.

Vzdálenost i rychlost transportu difúzí je velmi malá a pohybuje se ve většině typů prostředí v cm/s. Celková vzdálenost, kterou může radon difúzí překonat, než se přemění na atom kovu, činí maximálně 10 metrů.

b) Konvekce radonu je způsobena vnějšími fyzikálními jevy. Například tlakovými a teplotními gradienty v geologickém prostředí, velikostí tektonických struktur a poruch (zlomy), pohybem podzemních vod a podobně. Rychlost transportu radonu konvekci je o několik řádů vyšší než difúzí. Radon může v půdě či tektonicky porušené hornině migrovat až na vzdálenost několika desítek metrů od zdroje. [42, 43]

U těchto dvou základních typů migrace radonu jsou ještě další doplňující faktory, které migraci radonu ovlivňují. Patří mezi ně:

Propustnost hornin a půd. Horniny se zvýšenou propustností (písky a štěrky) slouží jako transportní cesta pro radon, a to jak ve svislém, tak i ve vodorovném směru. Naopak horniny s nízkou propustností (jíly) brání pronikání radonu z podloží a mohou vytvářet bariéry, pod nimiž se radon nasatí do rovnovážné objemové aktivity.

Tektonické porušení hornin různými zlomy a přesmyky. Tyto poruchy tvoří výbornou transportní cestu pro radon, neboť může podél poruch migrovat jednodušeji než kompaktní horninou. Zlomy jsou navíc velmi často provázeny uranovou mineralizací a tím se stávají i výrazným zdrojem radonu.

Meteorologické vlivy. Teplota atmosféry a půdy způsobuje změny objemové aktivity radonu během kalendářního roku. V letních měsících dochází ke snížení průměrných radonových hodnot (nízká vlhkost půdy, dobře odvětraný půdní profil) a v zimním období k jejich nárůstu. Tyto rozdíly jsou způsobeny promrzáním svrchních půdních profilů v zimních měsících. Dochází k uzavření pórů v půdě, radon se hromadí v hlubších horizontech profilu a nemůže volně unikat do atmosféry.

Mezi další faktory ovlivňující pronikání radonu z podloží patří vlhkost půdy, rychlost větru, srážková činnost, tlak vzduchu, nasycenost horninového podloží mineralizovanou podzemní vodou, charakter vertikálního profilu hornin a jejich homogenita. Tyto faktory většinou působí ve vzájemné kombinaci. Obecně lze říci, že za vlhkého počasí je radon zadržován v půdě a do atmosféry uniká méně. [1, 9, 11, 31, 43]

1.10 Vstup a šíření radonu v domě

Radon migruje z geologického podloží do atmosféry způsoby, které byly popsány v předchozí kapitole (kap.9). Komplikovanější situace ale nastane, když je přirozená cesta narušena základy stavebního objektu. Pokud jsou v základech domu nějaké netěsnosti nebo trhliny, má radon volnou cestu vstoupit do domu. Radon se do domu dostává dvěma způsoby:

- difúzí, což je migrace radonu z míst vyšší koncentrace do míst s koncentrací nižší,
- konvekcí, což je pohyb radonu z míst vyššího tlaku do míst s tlakem nižším.

Přísun radonu do objektu je tedy závislý na teplotním a následném tlakovém gradientu. Teplotní gradient je definován jako rozdíl průměrných denních teplot uvnitř a vně stavebního objektu. V letních měsících je tento teplotní gradient několik málo stupňů, ale v zimním období může dosahovat i několika desítek stupňů. Na tomto teplotním gradientu přímo závisí i tlakový gradient. Teplý (ohřátý) a řidší vzduch uvnitř objektu stoupá díky vznosovým silám (komínový efekt) vzhůru a má tendenci pronikat do vyšších podlaží objektu. Tím vzniká ve spodních částech objektu (v přízemí, případně ve sklepě) podtlak, který je vyrovnáván přisáváním studeného a na radon vysoce obohaceného vzduchu trhlinami a prasklinami v neizolované podlaze, betonových deskách, spárami mezi zdmi a podlahou. Objekt tak vlastně nasává radon z geologického podloží objektu. Hlavním transportním mechanismem se v tomto případě stává proudění (konvekce) půdního vzduchu s radonem trhlinami a netěsnostmi do objektu. Dá se obecně říci, že čím je vyšší teplotní gradient, tím je vyšší přísun radonu do objektu. To znamená, že v zimní sezóně je přísun radonu velmi výrazný a komínový efekt působí během celého dne. Zatímco mimo topnou sezónu je přísun radonu malý a komínový efekt působí zpravidla jen během noci. Při vysokých venkovních teplotách může dojít až k převrácení tlakových gradientů, a tedy až k zatlačování vzduchu zpět do podloží. Pokud má dům kvalitní izolaci vůči podloží, radon neproniká do domu konvekcí, ale difúzí. [5, 6, 9, 14]

Radon, který pronikl do objektu a do obytných místností, se rovnoměrně rozptýlí a v dané místnosti vystoupí na určitou koncentraci, která je pro každou místnost specifická. Tato koncentrace je výsledkem přísunu radonu z geologického podloží a jeho následného odvětrání z místnosti. Odvětrání místnosti ovlivňuje mnoho stavebně – technických faktorů (typ konstrukce objektu, typ zdiva, typ a těsnost oken, těsnost dveří, apod.) a klimatických faktorů (teplota, tlak a vlhkost vzduchu, povětrnostní podmínky atd.). Nejvyšší koncentrace radonu bývá zaznamenávána v nevětraných sklepních a přízemních místnostech. [9, 11, 31]

1.10.1 Kinetika radonu

Použití tzv. kinetiky radonu umožňuje popsat množství radonu v místnosti. Objemová aktivita radonu v určitém čase je dána bilancí všech přísunů a úbytků radonu. Pro výpočet musí být známy tyto parametry:

- a(t) objemová aktivita radonu ve vyšetřovaném obytném prostoru v Bq/m³
- \dot{R} (t) rychlost přísunu OAR do jednotkového objemu za jednotku času v Bq/m³h
- v(t) ventilační koeficient místnosti, tj. kolikrát se za jednotku času obmění objem vzduchu v h⁻¹
- λ_{Rn} přeměnová konstanta radonu, je rovna 0,072 h⁻¹

Potom je změna objemové aktivity radonu a(t) za čas dána vztahem:

$$da/dt = \dot{R} - a(\lambda_{Rn} + v),$$

kde je na pravé straně zohledněn úbytek OAR fyzikální přeměnou i ventilací.

Pro ustálený stav v místnosti platí:

$$a = \dot{R}/v$$

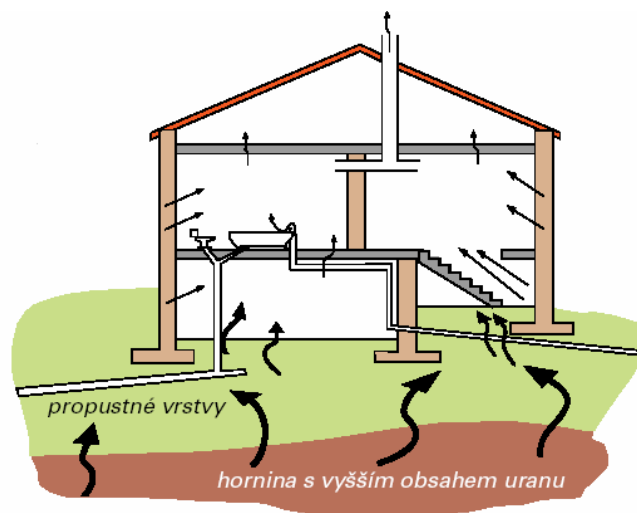
Vztah tedy popisuje výsledek dynamické rovnováhy mezi oběma procesy a umožňuje stanovit libovolnou z veličin, pokud jsou změřeny ostatní dvě. [9,13]

1.11 Radon a budovy

Radon migruje z geologického podloží, kde vznikl, do atmosféry, kde se rozptyluje a postupně se přeměňuje na další radionuklidy. Pokud je jeho přirozená cesta narušena základy stavebního objektu, hromadí se pod základovou deskou a dosahuje až několikanásobných objemových aktivit než ve volném půdním profilu mimo objekt. Neexistuje budova, kde by nebyl radon přítomen. Nejnižší možnou objemovou aktivitou radonu v objektu by mohla být OAR shodná s venkovním ovzduším, pokud by ovšem neexhalovaly radon stavební materiály. Naproti tomu jsou místa s objemovými aktivitami radonu tisíckrát vyššími. Rozpětí hodnot OAR v domech se tedy pohybuje od nejnižších 5-10 Bq/m³ až po 10 000 Bq/m³. Riziko vzniku rakoviny plic z takto vysokých hodnot radonu je velmi reálné a zasluhuje si určitě pozornost. [9, 11, 43]

1.11.1 Zdroje radonu v budovách

Radon v domech pochází ze tří hlavních zdrojů. Z geologického podloží objektu, ze stavebních materiálů a z podzemní vody, ve které se radon rozpouští (obr. 1.7.). Za další možný zdroj radonu lze považovat i zevní prostředí (pokud dochází k exhalaci radonu například z hald po těžbě uranu apod). Každý ze zdrojů radonu má svůj vlastní mechanismus přísunu. Z podloží domu je radon nasáván skrz nedostatečnou bariéru, ze stavebního materiálu se radon exhaluje z povrchu stěn a z podzemní vody se deemanuje. Ve venkovním vzduchu se pohybují objemové aktivity radonu většinou v rozmezí 5-10 Bq/m³.



Obr. 1.7. Zdroje radonu v domě ^[45]

1.11.1.1 Radon z geologického podloží

Z podloží, na kterém je budova postavena, pochází většina radonu v domě. Existují tři faktory, které ovlivňují množství radonu v budovách. Je to objemová aktivita radonu v půdním vzduchu, jeho aktivní nasávání do domu a bariéra domu vůči podloží. V půdním vzduchu se OAR pohybují od 1 až do 1 000 kBq/m³. Na základě těchto hodnot jsou zavedeny tzv. kategorie radonového indexu základových půd – s vysokým, středním a nízkým radonovým indexem. Rozdělení základových půd je odvozené od množství radonu v půdním vzduchu, což závisí na koncentraci uranu v půdě a na propustnosti základové půdy pro plyny.

Tab. 1.4. Kategorie radonového rizika základových půd ^[6]

Radonové riziko stavebního pozemku	Třetí kvartil objemové aktivity radonu [kBq/m ³] v půdním vzduchu při různé propustnosti základových půd		
	nízká propustnost	střední propustnost	vysoká propustnost
nízké	<30	<20	<10
střední	30-100	20-70	10-30
vysoké	>100	>70	>30

Ale riziko ze základových půd se v domě projeví pouze tehdy, pokud je dům špatně odizolován od podloží nebo pokud je vzduch z podloží aktivně do domu nasáván. Jestliže je bariéra domu vůči podloží bez poruch, proniká radon jen difúzí, což většinou nevede k jeho vysokým koncentracím v domě. Poruchy v kontaktní ploše domu s podložím jsou však velmi časté a dosahují různých rozměrů. Proto vstupní cesty radonu do domu dělíme na zdroje bodové (drenážní otvory, vsakovací jímky, studny ve sklepě), lineární (praskliny v důsledku odtržení podlahy od stěn, neutěsněné instalační prostupy, kanálky topení v podlaze) a zdroje plošné a objemové (neizolovaná podlaha, základové zdivo se zvětralým pojivem). Také jsou budovy, které protiradonovou bariéru na kontaktní ploše s podložím úplně postrádají, například mají ve sklepě podlahy z dusané hlíny nebo dřevěné podlahy v nepodsklepené místnosti. Závady v protiradonových bariérách jsou zejména ve starších budovách, kde byla použita zastaralá stavební technologie, v domech s levnými základy a s nekvalitním provedením izolace, ale závady se objevují i při sedání staveb, při vzniku prasklin v důsledku otřesů nebo z důvodů stárnutí izolačních materiálů.

Dalším faktorem, který ovlivňuje přísun radonu do budovy, je aktivní nasávání půdního vzduchu do domu tzv. komínovým efektem. Nasávání plynu je způsobené podtlakem v domě, který je vytvořen hlavně v důsledku rozdílu vnitřních a venkovních teplot (je to zejména během topné sezóny v zimě). Teplý lehčí vzduch stoupá vzhůru a uniká ven střechou nebo horní částí oken či dveří. Současně je nasáván studený venkovní vzduch a také půdní vzduch poruchami v kontaktní ploše s podložím. To znamená, že o množství nasátého vzduchu nerozhoduje jen kvalita základové bariéry, ale také těsnění oken a dveří v obytném prostoru. Samotná koncentrace radonu v domě nebo bytě je velmi proměnlivá během dne i roku. Je daná podílem rychlosti přísunu radonu do místnosti a rychlosti výměny vzduchu. Obě veličiny jsou ovlivnitelné. Buď se najde místo vstupu radonu do místnosti anebo se dostatečně větrá, či obojí. [9, 11, 31, 45]

1.11.1.2 Radon ze stavebního materiálu

Použité stavební materiály představují další možný zdroj radonu. Jsou vyrobeny z přírodních surovin, které obsahují určité množství radioaktivních látek, zvláště uran ^{238}U a radium ^{226}Ra . Suroviny nejsou obvykle používány v původní formě, ale jsou drceny, mlety a tepelně upravovány, což může vést k většímu uvolňování radonu z povrchu zrn a tím ze stavebního materiálu do interiéru domu. Stavební materiál je tedy neodstranitelným zdrojem radonu v domě a vede k významnému ozáření osob.

Odhad průměrného ozáření ze stavebních materiálů v České republice je 0,4 až 0,6 mSv za rok. To je několikrát méně než z radonu, který do budov proniká z podloží. Vyšší hodnoty vykazují některé druhy kamene, například žula nebo materiály vyrobené z odpadních surovin, jako popílek, škvára a struska, které byly použity v minulosti na stavbu domů (viz. tab. 1.5.). Pro stavební materiály jsou vyhláškou č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky 499/2005 Sb., stanoveny směrné a mezní hodnoty pro hmotnostní aktivitu radia. Mezní hodnota pro materiály používané na stavbě ve velkém množství je 150 Bq/kg. Materiály, které překročí mezní hodnotu, nesmí být dány do oběhu. U těch, které překročí směrnou hodnotu, musí výrobce nebo dovozce provést optimalizační analýzu. [9, 11, 31, 45]

Tab. 1.5. Výsledky měření obsahu radia ^{226}Ra ve stavebních materiálech v ČR ^[43]

stavební materiál	průměrná hodnota [Bq/kg]
popílek, škvára	75,5
škvárobeton	66,7
keramické obklady	63,0
pórobeton	46,1
cihly	45,2
jíl	40,9
cement	36,5
kamenivo	34,9
stavební kámen	27,5
beton	21,1
malta	19,8
omítka	13,9
písek	13,3
vápno	12,5
sádra	12,1

1.11.1.3 Radon z vody

Podzemní voda je třetím z možných zdrojů radonu. Podzemní voda proudí skrz horniny a zeminy, které obsahují radium, a vzniká tedy radon. Jelikož je radon ve vodě rozpustný, je voda tímto plynem nasycována. Nejvyšší obsah radonu je typický pro spodní vodu, která protéká podloží tvořeným vyvřelými horninami. [33]

Riziko radonu nespočívá v inesci vody, ale v inhalaci radonu uvolněného (deemanovaného) při spotřebě vody v domě. Při využití této vody (sprchování, praní, koupání, mytí nádobí) dochází k uvolňování radonu do objektů. Uvolněný radon se v bytě rozptýlí, čímž se objemová aktivita radonu ve vzduchu přechodně zvýší a podle frekvence větrání opět klesne. Nejrizikovějším místem, kde dochází k největšímu zkoncentrování radonu, je koupelna či sprchový kout bez odvětrávání. V koupelnách se produkty přeměny radonu nemají na co vázat, protože je prach díky vlhkosti na zemi. Problém nastává v momentě, kdy se otevrou dveře z koupelny do bytu. Dochází k obohacení vzduchu radonem z vody. I přes lokální krátkodobé vysoké koncentrace není tento zdroj radonu významný. Objemová aktivita radonu v podzemních vodách se pohybuje v rozmezí 10 – 1000 Bq/l, ale v domě se projeví o faktor 10^4 nižší. Mezní hodnotou, nad kterou nesmí být voda dodávaná do veřejných vodovodů, je 300 Bq/l. Obranou proti uvolňování radonu z vody je důkladné a přímé větrání koupelen nebo použití deemačních zařízení. [9, 31, 45]

1.11.2 Měření a hodnocení zdrojů radonu

Všechna měření radonu a jiných přírodních radionuklidů, pokud mají sloužit jako podklady pro rozhodnutí státní správy či samosprávy, mohou podle atomového zákona č. 18/1997 Sb. vykonávat pouze firmy, které k tomu mají platné povolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Principem metod měření radonu a jeho dceřiných rozpadových produktů je detekce ionizujícího záření. Při přirozených radioaktivních rozpadech vznikají částice alfa, beta a fotony, které vyvolávají v určitých chemických látkách elektrický náboj či světelné jevy. Ty mohou být zachyceny citlivým detektorem.

Detektory (polovodičové, scintilační, stopové) ve spojení s fotonásobičem měří energii i počet fotonových záblesků vznikajících v detekční látce. Příslušným výpočtem se získá objemová aktivita radonu.

Při stavbě nových domů i při radonové diagnostice je zapotřebí změřit a posoudit všechny možné zdroje radonu. Je to podloží budovy, použitý stavební materiál a dodávaná voda. [9, 43, 45]

1.11.2.1 Podloží budovy – stanovení radonového indexu pozemku

Radonový index pozemku se stanovuje minimálně ze dvou parametrů. Z objemové aktivity radonu ^{222}Rn v půdním vzduchu a z propustnosti základové půdy pro plyny. Na základě naměřených výsledků je pozemek zařazen do odpovídající kategorie radonového indexu základových půd – nízký, střední a vysoký index. K odběru vzorku půdního radonu se používá metoda ztraceného hrotu. Principem této metody je nasátí půdního plynu skrze ocelovou tyč z hloubky 0,8 metrů do ionizační, tzv. Lucasovy komůrky. Vnitřní stěny komory jsou potaženy scintilačním materiálem ZnS, který při dopadu částic alfa (záření alfa provází přeměnu radia na radon) vydává světelné záblesky. Světelné jevy mohou být zachyceny citlivým detektorem, který ve spojení s fotonásobičem měří počet fotonových záblesků vznikajících v detekční látce. Potom je pomocí kalibrační rovnice množství záblesků přepočteno na objemovou aktivitu radonu v půdním vzduchu. Na každé měřené ploše je odebráno minimálně 15 vzorků půdního vzduchu. Pokud je hodnocená plocha větší než 800 m^2 , jsou odběry prováděny v základní síti $10 \times 10\text{ m}$ v budoucí zastavěné ploše a nejbližším okolí. Výsledná objemová aktivita radonu v půdním vzduchu se vypočítá jako 3. kvartil souboru všech naměřených hodnot, s vyloučením hodnot menších než $1,0\text{ kBq/m}^3$. Plynopropustnost podloží se stanovuje zrnitostním rozborem základových půd nebo měřením zemním plynopropustoměrem přímo na pozemku. Pozemek s nízkým radonovým indexem je takový pozemek, kde OAR v půdním vzduchu je menší než 10 kBq/m^3 u vysoce propustných, 20 kBq/m^3 u středně propustných a 30 kBq/m^3 u nízko propustných základových půd. Podrobnosti ke stanovení radonového indexu pozemku jsou popsány v Metodice

pro stanovení radonového indexu pozemku, kterou vydal SÚJB v roce 2004 na základě vyhlášky č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. [35, 20, 37, 9]

1.11.2.2 Stavební materiál – stanovení měrné aktivity ^{226}Ra

Stavební materiály nerostného původu obsahují vždy určité množství radioaktivních látek. Z nich je nejvýznamnější, a pro nás nejdůležitější, radium ^{226}Ra . Přítomnost radia ^{226}Ra ve stavebním materiálu vede k ozáření osob uvnitř staveb, jednak vdechováním produktů přeměny radonu, který unikl z povrchu stavebního materiálu do vnitřního prostoru domu, a jednak pronikavým zářením gama, které vzniká ve stavebním materiálu jako důsledek radioaktivní přeměny přítomných přírodních radionuklidů. Stanovení měrné aktivity radia ^{226}Ra ve stavebním materiálu se provádí v laboratoři. Vzorek materiálu v množství 0,5 až 1 kg se drtí na zrna do několika milimetrů a vysuší se. Vlastní měření se provádí polovodičovou nebo scintilační spektrometrií. Měření obsahu přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu je zařazeno mezi činnosti zvláště významné z hlediska radiační ochrany, a proto jej může vykonávat pouze firma, která má k této činnosti povolení ze SÚJB. [45]

Pro určení, zda použitý stavební materiál ve stávajících budovách neobsahuje významné množství radia ^{226}Ra , lze použít měření dávkového příkonu záření gama u stěny. Ale tato metoda nevypovídá o emanačních vlastnostech materiálu, a tak v případech, kdy materiál má velký emanační koeficient, může dojít k podcenění měrných aktivit. [9]

Obsah radia ^{226}Ra ve stavebních materiálech používaných v České republice je obvykle řádu desítek Bq/kg. Vyšší hodnoty vykazují materiály vyrobené z odpadních surovin, jako popílek, škvára a struska nebo některé druhy kamene, například žula. Odhad průměrného ozáření ze stavebního materiálu v ČR je 0,4 až 0,6 mSv za rok. (tab. 1.5.)

1.11.2.3 Voda – stanovení obsahu radonu ^{222}Rn

Měření obsahu radonu ^{222}Rn ve vodě se provádí v laboratořích. Vzorky vody o objemu několika desetin litru se odebírají do speciálních nádob, které musí být chráněny před únikem radonu, protože by následně mohlo dojít k podcenění jeho obsahu. Měření je důležité provést do 4 dnů po odběru. Ke stanovení obsahu radonu ve vodě se používá řady metod, například měření emitovaného záření gama ze vzorku, převedení radonu do Lucasových komůrek nebo měření pomocí elektretů. Stanovení obsahu radonu ^{222}Rn ve vodě je zařazeno mezi činnosti zvláště významné z hlediska radiační ochrany, proto tuto činnost může provádět pouze firma, která vlastní povolení ze SÚJB. SÚRO má samostatnou laboratoř v Hradci Králové, která se měřením vody zabývá.

Průměrný obsah radonu v pitné vodě z podzemních zdrojů je v ČR kolem 15 Bq/l, nejvyšší nalezené hodnoty jsou řádu tisíců Bq/l. Lázeňské vody používané v Jáchymovských lázních mají hodnoty řádu 10 000 Bq/l. Obsah radonu ve vodě souvisí s obsahem přírodních radionuklidů v geologickém podloží. Častý výskyt vyšších hodnot je v jižních Čechách zjišťován například v okresech Jindřichův Hradec, Písek, Prachatice, Strakonice a mimo jižní Čechy v okresech Plzeň, Sokolov a Tachov. Odhad průměrného ozáření z radonu při používání vody je 0,05 mSv za rok. To je asi stokrát méně než z radonu pronikajícího do budov přímo ze země. Kromě radonu se sleduje ve vodě i obsah dalších přírodních radionuklidů, jako například izotopy uranu ^{234}U a ^{238}U a radia ^{226}Ra , dále ^{210}Pb , ^{210}Po aj. [45]

Pro odstraňování radonu z podzemní vody se používají v České republice v podstatě jenom aerační zařízení, která vytěsňují radon z vody jejím provzdušňováním. Jejich účinnost je vysoká. Umožňují snížit obsah radonu ve vodě více než desetkrát. Náklady na pořízení a provoz takového zařízení se pohybují kolem statisíce korun, proto se nepoužívá u velmi malých zdrojů vody. [45]

1.11.3 Měření a hodnocení radonu ve stavbách

Správné změření a zhodnocení obsahu radonu ve stavbách je poměrně obtížné. Důvodem je kolísání objemové aktivity radonu jak během dne a noci, tak i během ročních období. Proto jsou zavedeny různé typy měření, od měření okamžité koncentrace radonu, měření integrální (měření průměrných hodnot), měření kontinuální až po radonovou diagnostiku (při překročení zásahové úrovně).

- **Měření okamžité objemové aktivity radonu** je velmi nespolehlivé, jelikož objemová aktivita radonu se v budově mění jak během dne a noci, tak i během ročního období.
- **Měření integrální** nebo-li měření průměrných hodnot je jedním ze spolehlivých metod hodnocení radonu ve stavbách. Je to měření, které trvá delší časový interval. Nejideálnější je roční měření, jelikož jsou zde zohledněny hodnoty během jednotlivých ročních období. Při ročním měření se používají stopové detektory. Za rozumné se považuje i týdenní měření, s tím, že se v budově omezí větrání a dosáhne se významného teplotního rozdílu uvnitř a vně budovy, aby nedošlo k podcenění roční průměrné objemové aktivity radonu, a tím i podcenění ozáření obyvatel. Nejkratším oficiálně povoleným integrálním měřením je měření během 168 hodin, které zohledňuje rozdíly během dne a noci po dobu celého týdne.
- **Měření kontinuální** nebo-li měření časového průběhu objemových aktivit radonu v ovzduší místnosti v cyklu 20 minut až 1 hodiny. Toto měření umožňuje stanovit reálnou variabilitu objemové aktivity radonu a posoudit tak odchylky od referenční (standardní) výměny vzduchu.
- **Radonová diagnostika** je souborem měření, které se používá v případech, kdy je prokazatelně překročena zásahová úroveň. Patří sem inspekce na místě s cílem odhalit jednotlivé zdroje radonu, jejich podíl na celkové bilanci, transport radonu v budově, údaje o radonovém indexu podloží a další.

Pro detekování radonu v interiérech objektů se v současné době používají tři druhy detektorů:

- **Stopové detektory** patří do tzv. integrálních detektorů. Jsou určeny pro stanovení průměrné roční hodnoty objemové aktivity radonu v ovzduší místnosti. Jsou považovány za nejjednodušší, nejlevnější a z hlediska doby, po kterou jsou v bytě, za nejefektivnější. Stopové detektory jsou používány v rámci Radonového programu, kde nese název RAMARN. Tyto stopové detektory jsou uloženy na dně měřicí komůrky (kelímek s víčkem) a pracují na principu detekce stop vytvořených částicemi alfa z radonu a jeho produktů přeměny v červené měřicí folii. Čím větší je koncentrace radonu a čím déle je detektor v místnosti, tím více bude stop v detekční folii. Poté je detektor leptán speciální chemickou látkou, která zviditelní stopy a umožní je pod mikroskopem spočítat. Podle jejich počtu a doby, po kterou byl detektor v místnosti, se stanoví průměrná koncentrace radonu v místnosti. Detektor se umísťuje do trvale užívaných obytných místností bytu, kde se očekává vyšší koncentrace radonu, na dobu jednoho roku. Jsou to hlavně místnosti, které jsou v přímém nebo nejbližším kontaktu s podložím, jsou méně větrané, mají špatnou izolaci od podloží nebo místnosti s podezřelým stavebním materiálem.
- **Elektretové detektory** jsou jiným typem integrálních detektorů. Slouží ke střednědobému měření průměrné koncentrace radonu, od jednoho dne do maximálně několika týdnů. Tato měření se požadují při stavebním nebo kolaudačním řízení. Elektretové dozimetry pracují na bázi vybíjení nabitého elektretového disku (elektretu) umístěného v plastové vodivé ionizační komůrce, do které difúzí vstupuje radon. Při přeměně radonu na své rozpadové produkty vzniká záření alfa a beta, které v komůrce způsobí ionizaci vzduchu a vybíjení elektretu (při ionizaci vznikají záporné ionty, které jsou přitahovány na elektret a následně ho vybíjí). Množství radonu v objektu se určí z míry vybití elektretu, tedy z rozdílu napětí před a po měření.
- **Kontinuální monitory** se používají ke sledování časových změn v koncentraci radonu a jeho produktů přeměny, měření rychlosti přísunu radonu do objektu, kontrole účinnosti větrání, stanovení průměrných hodnot v době pobytu osob a ke kontro-

le účinnosti protiradonových opatření. Kontinuální monitory umožňují kontinuální měření koncentrace radonu nebo jeho produktů přeměny ve zvolených časových intervalech. Monitory prosávají vzduch přes filtr, na němž se zachycují produkty přeměny radonu. Emitované částice alfa jsou pak detekovány polovodičovým Si detektorem. Tyto monitory jsou však velmi drahé, proto se používají pouze při radonové diagnostice k velmi přesným měřením koncentrace radonu a jeho produktů přeměny. [9, 11, 43, 45]

1.12 Ochrana staveb proti pronikání radonu z podloží

Cílem ochrany staveb proti radonu je zajistit, aby OAR v každé místnosti bytového prostoru byla menší než směrná hodnota. Pokud se u stávajících staveb nepodaří hodnoty OAR dostat pod směrnou hodnotu, musí být protiradonová opatření natolik účinná, aby se dosáhlo 75% poklesu hodnot. Jestliže je ve stávajících stavbách OAR tvořena nejen radonem z podloží, ale i radonem uvolňovaným ze stavebního materiálu, postupuje se při návrhu na protiradonová opatření podle normy ČSN 73 0601 a ČSN 73 0602. Při umístění stavby v terénu tak, že všechny její obvodové konstrukce jsou od podloží odděleny vzduchovou vrstvou, kde může proudit vzduch, je toto umístění považováno za dostatečnou ochranu proti radonu, a to ve všech kategoriích radonového indexu. S ohledem na fyzikální vlastnosti zeminy pro transport vody a plynů se doporučuje omezit kontakt stavby s podložím na minimum; nenavrhovat kolem stavby povrchové úpravy s nízkou plynopropustností (asfalt, beton); na obsyp kolem stavby používat materiál s vysokou plynopropustností; pod podlahami v kontaktních podlažích nenavrhovat nevětrané vrstvy o vysoké propustnosti (např. drenážní šterkové vrstvy); konstrukce, kde bude protiradonová izolace, navrhovat v jednoduchých tvarech, aby nebylo zapotřebí velkého počtu spojů. Protiradonová opatření se liší u nových staveb a u stávajících budov. [3, 4]

1.12.1 Protiradonová opatření u nových staveb

Protiradonová opatření u nových staveb jsou zaměřena na ochranu proti radonu z podloží. Rozhodnutí, zda nová stavba vyžaduje provedení preventivního protiradonového opatření, vychází ze stanovení radonového indexu pozemku a z údajů o stavbě. Radonový index pozemku byl stanoven z objemové aktivity radonu ^{222}Rn v půdním vzduchu a z propustnosti základové půdy pro plyny při radonovém průzkumu. [3, 45]

1.12.1.1 Opatření na pozemku s nízkým radonovým indexem

Na takovém pozemku se nevyžaduje žádné speciální opatření. Dostatečnou ochranou objektu na pozemku s nízkým radonovým indexem je hydroizolace stavby provedená po celé kontaktní ploše objektu a podle místních hydrogeologických poměrů. Zároveň se doporučuje pro eliminaci komínového efektu oddělit dveřmi schodišťový prostor vedoucí z podzemních podlaží do podlaží vyšších. [3, 40]

1.12.1.2 Opatření na pozemku se středním radonovým indexem

Na pozemku se středním radonovým rizikem se za dostatečné protiradonové opatření považuje položení plynotěsné protiradonové izolace, která zároveň plní i funkci hydroizolace. Tato protiradonová izolace musí být položena spojitě v celé ploše kontaktní konstrukce, to znamená, že i pod stěnami. Protiradonová izolace je ve formě pásů z oxidovaného nebo kaučukem modifikovaného asfaltu, nebo se jedná o nopové fólie, fólie na bázi PVC a PE a různé nátěrové a stěrkové hmoty. Zvláštní pozornost je zapotřebí věnovat vzduchotěsnému provedení všech prostupů instalací protiradonovou izolací. O výsledné účinnosti opatření rozhoduje ve velké míře kvalita položení protiradonové izolace. Proto se doporučuje svěřit izolační práce specializovaným firmám. V objektech, které jsou podsklepeny a tyto sklepní prostory se nevyužívají k bydlení, může být protiradonová izolace v kontaktních konstrukcích nahrazena běžnou hydroizolací. Ovšem za předpokladu, že během celého roku bude zajištěno spolehlivé přirozené vět-

rání sklepa a vstup do něj z vyšších podlaží bude opatřen dveřmi v těsném provedení a s automatickým zavíráním. [3, 6, 7, 9, 40]

1.12.1.3 Opatření na pozemku s vysokým radonovým indexem

Na stavebním pozemku s vysokým radonovým rizikem se zpravidla provádí kromě protiradonové izolace odvětrávací drenážní systém pod základovou deskou objektu nebo odvětrávání vzduchovou mezerou pod izolací. Úkolem drenážních systémů i odvětrávané vzduchové mezery je snížit koncentraci radonu pod základovou deskou, nebo vytvořit podtlak v podloží vůči tlaku vzduchu v interiéru.

Drenážní odvětrávací systém je tvořen soustavou perforovaných trubek (plastových, keramických, kameninových), které se kladou do vrstvy štěrku zhutnělého pod základovou deskou a uspořádají se tak, aby docházelo k odvětrávání drenážní vrstvy ve všech místech půdorysu. Trubky se vyvedou zpod základů objektu a ukončí se na fasádě objektu nad volným terénem nejlépe mřížkou z umělé hmoty. Pro zvýšení účinnosti se doporučuje perforované trubky uložit ve štěrku paprskovitě a napojit je na odvětrávací komín, který je vyveden až nad střechu. Drenážní systémy mohou pracovat buď pasivně – na základě teplotního rozdílu a tlaku větru, nebo aktivně - pomocí ventilátoru.

Pro vytvoření vzduchové mezery se nejčastěji používají plastové profilované (nopované) fólie, které vytvářejí jak vzduchovou mezeru, tak protiradonovou izolaci nad ní. Větší účinnosti se dosáhne, stejně jako u drenážních systémů, odvětráváním vzduchové mezery svislým potrubím nad střechu objektu. [3, 6, 7, 9, 40]

1.12.2 Protiradonová opatření u stávajících staveb

Rozhodnutí, zda stávající stavba vyžaduje protiradonová opatření, vychází z výsledku diagnostických měření a stavebnětechnického průzkumu. Diagnostická měření zjišťují zdroje radonu, přísunové cesty radonu a způsob jeho šíření v budově. Při plánování protiradonových opatření se musí zohlednit celkový stav objektu, poloha

obytných místností ve vztahu k podloží, těsnost obvodového pláště a systém větrání. Největší pozornost by měla být věnována stavu kontaktních konstrukcí. Protiradonová opatření u stávajících staveb se liší podle toho, je-li zdrojem radonu podloží, stavební materiál nebo voda. Všechny postupy protiradonových opatření jsou dobře popsány v příručce Ing. Jiráňka *Opatření proti radonu ve stávajících budovách*.^[6, 7, 9, 40]

1.12.2.1 Opatření proti radonu z podloží

Pokud jsou obytné místnosti od podloží odděleny sklepem nebo v nich hodnota ekvivalentní objemové aktivity radonu nepřesahuje 400 Bq/m^3 , stačí utěsnit vstupní cesty radonu do objektu a zvýšit intenzitu výměny vzduchu. Jedná se zejména o utěsnění trhlin, prostupů a otvorů v kontaktních konstrukcích, nahrazení trativodů podlahovými vtoky se zápachovou uzavírkou, utěsnění prostupů ve stropu mezi sklepem a přízemím, zabránění proudění vzduchu ze sklepa do vyšších podlaží utěsněním stávajících nebo osazením nových dveří vedoucích do sklepa nebo zvýšení výměny vzduchu ve sklepě pomocí větracích průduchů.

Převyšuje-li ekvivalentní objemová aktivita radonu v objektu 400 Bq/m^3 , rozhoduje se v závislosti na stavebně technickém stavu objektu a propustnosti podloží mezi instalací bodového odvětrávání podloží, rekonstrukcí podlah zahrnující položení nové protiradonové izolace a aplikací nucené ventilace.

Aktivní odvětrávání radonu z podloží pod objektem pomocí několika odsávacích míst je velmi efektivním a účinným opatřením. Odsávací místa jsou umístěna tak, aby byl umožněn pohyb vzduchu pod celým půdorysem objektu. Půdní vzduch se odsává téměř vždy nuceně pomocí ventilátoru. Aby bylo dosaženo co možná nejvyšší účinnosti systému, je třeba zajistit těsnost podlahové konstrukce ležící na podloží. Optimální podlahou jsou z tohoto důvodu betony, méně vhodné jsou prkenné podlahy. Toto opatření má nízké pořizovací náklady, velkou účinnost a možnost rychlé realizace.

Dalším typem opatření je výměna podlahových konstrukcí. Je vhodná pouze u těch stávajících objektů, které mají obytné místnosti v kontaktních podlažích a podlahy jsou ve velmi špatném stavu a netěsní. Vytvoření nových podlah je opatření velmi dra-

hé, realizace je časově náročná a účinnost je nejistá. Toto opatření je efektivní v kombinaci s drenážním systémem nebo s odvětrávanými vzduchovými mezerami.

Aplikace nucené mírně přetlakové ventilace vnitřního vzduchu v objektu je ve stávajících stavbách podmíněno poměrně kvalitní a těsnou kontaktní konstrukcí. Větrací systémy mohou být navrženy centrálně pro celý dům, nebo pro jeho části. Seřizují se podle změřené rychlosti přísunu radonu do jednotlivých místností a může pracovat buď nepřetržitě, nebo cyklicky s dobou spínání závislou na rychlosti přísunu radonu do interiéru nebo pouze v době pobytu osob v budově. Nucená ventilace je považována za jedno z nejefektivnějších, ale poměrně nákladných opatření. Toto opatření se používá i tam, kde je zdrojem radonu stavební materiál. [3, 45]

1.12.2.2 Opatření proti radonu ze stavebních materiálů

Nejúčinnějším opatřením proti radonu ze stavebních materiálů je nucená ventilace, popsána již v kapitole o opatření proti radonu z podloží. Dalším řešením je odstranění materiálů o vysoké rychlosti plošné exhalace radonu. Zpravidla lze odstraňovat jen nenosné konstrukce, jako jsou štuky, omítky, příčky, tepelně-izolační násypy podlah ze škvár a popílků. Dalším možným opatřením je použití speciálních elastických nátěrů nebo tapet z PVC. Nevýhodou tohoto způsobu sanace je však nízká účinnost a malá životnost způsobená velkou náchylností k perforaci, proto se v současné době používání těchto opatření nedoporučuje. [3, 45]

1.12.2.3 Opatření proti radonu z vody

Nejúčinnější opatření proti radonu z vody je jeho odstranění z vody dříve, než je přivedena do objektu. Používá se speciálního zařízení, aeračních věží. Z ekonomických důvodů je však tento způsob opatření možný pouze u větších zdrojů vody a zejména pro hromadné zásobování. Individuálním opatřením je zajistit dostatečné odvětrávání místností, kde je velká spotřeba vody (koupelny, prádelny a kuchyně), z níž se radon při mytí uvolňuje do ovzduší. [3, 45]

2. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

2.1 Cíl práce

Veškerá pozornost i obavy obyvatelstva z radioaktivity jsou soustředěny zejména na umělé zdroje záření, hlavně na jaderná zařízení. Největší ozáření lidí je však způsobeno zdroji přírodními, zvláště radonem. Proto jsem si zvolila jako cíl práce přiblížit a usnadnit pochopení problematiky radonu pro širší vrstvu populace a jednoduše nastínit dopady pramenící z působení radonu na lidský organismus. Zároveň jsem se snažila zhodnotit reakce lidí na radon, na hodnoty, které budou v jejich domě naměřeny, jejich obavy nebo naopak lhostejnost.

Hlavní náplní mé diplomové práce bylo zpracování výsledků hodnot objemové aktivity radonu, které byly v objektech naměřeny, porovnání výsledků s radonovým indexem geologického podloží a určení vztahu mezi objemovou aktivitou radonu a dalšími parametry, jako je stáří domu, kontakt s podložím, těsnost oken, použitý stavební materiál a dodávaná voda.

2.2 Hypotézy práce

Hypotéza 1: Předpokládám, že výsledky měření z objektů budou odpovídat horninovému podloží

Hypotéza 2: Předpokládám, že kontakt s podložím bude mít vliv na naměřenou hodnotu OAR v budovách.

Hypotéza 3: Předpokládám, že použitý stavební materiál bude mít na hodnotu objemové aktivity radonu vliv.

Hypotéza 4: Předpokládám, že těsnost oken bude mít na naměřenou hodnotu objemové aktivity radonu vliv.

Hypotéza 5: Předpokládám, že přítomnost vlastní studny bude mít efekt na naměřenou hodnotu OAR.

Hypotéza 6: Předpokládám, že výsledky měření z objektů budou odpovídat stáří objektu.

Hypotéza 7: Domnívám se, že se názor obyvatel na radon bude v průběhu měření měnit.

3. METODIKA PRÁCE

V rámci své diplomové práce jsem provedla pod patronací Státního ústavu radiační ochrany distribuci 100 detektorů na měření objemové aktivity radonu. Stopové detektory radonu jsem umístila do obytných budov v deseti obcích Jihočeského kraje, které leží v různých kategoriích radonového indexu geologického podloží. Do nízké kategorie radonového indexu jsem umístila 31 detektorů (tři obce), do středního 54 detektorů (šest obcí) a do vysokého radonového indexu 15 detektorů (jedna obec). Téměř po šesti měsících jsem detektory sebrala a poslala na vyhodnocení do Státního ústavu jaderné, chemické a biologické ochrany. Po obdržení výsledků měření objemové aktivity radonu jsem je předala majitelům měřených budov.

V průběhu měření jsem zjišťovala řadu informací o lidech, kteří v domech bydlí, ale hlavně o domu samotném. Zajímala mě rok dokončení stavby, zdroj vody (zda je u objektu vlastní studna s přívodem do domu), těsnost oken, zda dům je v kontaktu s podložím a jaký byl pro stavbu domu použit stavební materiál. Tyto poznatky mi posloužily k dalšímu zpracování výsledků.

Metodika mé diplomové práce se skládala ze tří hlavních kroků - analýza dokumentů, diskuse s obyvateli a analýza výsledků. Základní částí celé práce byla již popsána distribuce detektorů.

a) analýza dokumentů

Důležitou součástí metodiky při zpracování tématu byla analýza dostupných dokumentů. Shromažďování teoretických informací zejména z odborné literatury, prostudování veškeré platné legislativy týkající se ionizujícího záření a radiační ochrany, využití rešeršních služeb knihoven a internetových vyhledávačů. Snažila jsem se získané informace utřídit tak, aby tato práce podala ucelený pohled na danou problematiku.

a) diskuse s obyvateli

Během již zmíněných tří etap měření (distribuce detektorů, sběr detektorů, roznos výsledků) jsem poznala mnoho lidí rozdílného věku a vzdělání, se kterými jsem měla možnost navázat ústní kontakt. Sledovala jsem dva hlavní znaky. Jaký je v průběhu

měření zájem obyvatel o informace týkající se radonové problematiky a jaký je jejich postoj k měření.

Při distribuci detektorů jsem si všímala jaké stanovisko člověk zaujímá k měření radonu a zda má zájem o informace. Také jsem se ptala na znalosti radonové problematiky, jestli už o radonu někdy něco slyšel a při jaké příležitosti. Při sběru detektorů jsem zjišťovala, zda se člověk během měření více informoval o radonu a jestli jej zajímají výsledky měření v jeho obydlí. První otázku lze chápat jako míru zájmu o informace a druhou jako měřítko postoje k měření radonu. Během roznosu výsledků jsem sledovala, jestli lidé projevují zájem o výsledky, to znamená, jaký je jejich postoj k poslední fázi měření a zda chtějí zhodnotit a vysvětlit naměřené hodnoty, což můžeme formulovat jako míru zájmu o informace. Díky jednotné formulaci otázek jsem mohla na základě použití kvalitativního výzkumu, metody pozorování a nestrukturovaného rozhovoru, sestavit dotazníky, z nichž jsem pomocí McNemarova testu a χ^2 testu dobré shody určila, zda se postoj dotazovaných k radonové problematice během měření měnil. Dotazníků bylo zpracováno celkem 74, jelikož ne všech 100 majitelů měřených budov bylo při každé mé návštěvě přítomno.

McNemarův test

McNemarův test je párovou variantou χ^2 (chí kvadrát) testu, který lze použít pro dvě proměnné se stejnými kódy. Testuje se nulová hypotéza o shodě četností v políčkách kontingenční tabulky mimo hlavní diagonálu.

Postup testování:

- stanovíme si nulovou hypotézu H_0 : mezi skupinami je nulový rozdíl (soubory jsou stejné, změna je symetrická)
- sestavíme si kontingenční tabulku

	X ₀₁	X ₀₂	X ₀₃	celkem
X ₁₀	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	
X ₂₀	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	
X ₃₀	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	
celkem				

- vypočítáme testovou statistiku:

$$X^2 = \sum_{i < j} \frac{(N_{ij} - N_{ji})^2}{N_{ij} + N_{ji}}$$

- ve statistické tabulce si najdeme χ^2_{krit} podle hladiny významnosti a stupňů volnosti

hladina významnosti $\alpha = 0,05$

stupně volnosti $df = k \cdot (k-1) / 2$

- porovnáme hodnoty χ^2 a χ^2_{krit} , pokud je $\chi^2 > \chi^2_{\text{krit}}$ zamítáme H_0

χ^2 test dobré shody

Test dobré shody umožňuje ověřit, zda má náhodná veličina určité, předem dané, rozdělení pravděpodobnosti. Test se používá pro ověřování nulové hypotézy v kontingenční tabulce a zjišťuje, zda jsou veličiny v kontingenční tabulce nezávislé (H_0 : veličiny jsou nezávislé). Počítá se s testovou statistikou chí kvadrát, která má normální rozdělení. Při výpočtu se pracuje s pozorovanými a očekávanými četnostmi. Pro svůj záměr k určení nezávislosti jsem použila test dobré shody v programu SPSS, jehož výstupem jsou normované odchylky od náhodného uspořádání, tzv. adjustovaná rezidua.

b) analýza výsledků

Naměřené hodnoty objemové aktivity radonu byly statisticky zpracovány. Byl použit průměr, analýza rozptylu a t-test.

Průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Analýza rozptylu (ANOVA test - ANalysis Of VAriance).

Analýza rozptylu jednoduchého třídění (ANOVA) slouží k porovnání více než 2 skupin. Je používán, když jsou data rozdělena do skupin pouze podle jednoho faktoru. Statistický test poskytuje odpověď na otázku, zda existuje významný rozdíl mezi skupinami. Pro své účely jsem použila jednocestné ANOVA testování v programu Statgraphics Výstup z programu Statgraphics obsahuje hodnotu testu, p-hodnotu (p-value), kterou porovnáme se zvolenou hladinou významnosti. Pokud hladina významnosti bude větší než uvedená p-hodnota, zamítáme H_0 .

Dvouvýběrový t – test

Pro statistické testování, které nám určuje, zda dva soubory jsou stejné nebo nejsou a je mezi nimi rozdíl, slouží dvouvýběrový t-test. Abychom ale mohli určit, kterou variantu t-testu použít, musíme si nejdříve pomocí f-testu zjistit, zda mezi rozptyly obou souborů je nebo není rozdíl. Podle toho potom volím variantu t-testu. Podle vypočítané p-hodnoty a hladiny významnosti určíme, zda nulovou hypotézu přijímáme nebo zamítáme (nulová hypotéza = mezi oběma soubory není rozdíl).

4. VÝSLEDKY

4.1 Kompletní výsledky měření z jednotlivých kategorií radonového indexu

Tab. 4.1. Kompletní informace o budovách měřených v nízké kategorii radonového indexu geologického podloží

obec	OAR (Bq/m ³)	stavební materiál	kontakt s podložím	stáří stavby	těsnost oken	vlastní studna
Hodětín	190	C	A	1939	B	N
	127	C	A	1871	B	N
	113	C+K	N	1861	B	N
	106	C	A	1972	B	N
	101	C+K	A	1920	B	N
	96	C	A	1911	B	N
	70	C	A	1972	V	N
Klečaty	168	C+K	A	1890	V	N
	141	C+K	A	1880	B	N
	98	C	A	1920	B	A
	80	C	N	1976	B	A
	79	C+K	A	1875	B	N
	72	K	A	1880	V	N
	69	C	A	1930	V	N
	61	C	A	1880	M	A
	Sudoměřice u Bechyně	387	C+K	A	1881	B
160		C+K	A	1932	V	N
136		C	N	1920	B	N
134		C+K	N	1880	B	N
114		C	A	1930	B	A
96		C+K	A	1926	B	N
93		C+K	A	1830	B	N
93		K	A	1856	B	N
91		K	N	1820	B	N
82		C+K	A	1968	B	N
73		C+K	A	1800	M	N
67		C	N	1986	B	N
65		C	A	1930	B	A
62		C+K	A	1880	V	N
56	C	A	1930	V	A	
53	C	N	1990	V	A	

Tab. 4.2. Kompletní informace o budovách měřených ve střední kategorii radonového indexu geologického podloží

obec	OAR (Bq/m ³)	stavební materiál	kontakt s podložím	stáří stavby	těsnost oken	vlastní studna
Březnice	289	C	A	1990	B	A
	178	C+K	A	1846	B	A
	173	C+K	A	1896	V	A
	132	C+K	A	1920	B	A
	88	C	N	1974	B	N
	69	C	N	1970	B	A
	67	C+K	A	1900	B	A
	67	C	N	1990	V	N
	60	C	N	1985	B	A
	58	C	A	1920	B	A
Hlavatce	211	C+K	A	1880	B	N
	211	C	A	1894	B	A
	93	C+K	N	1930	V	N
	69	C+K	N	1888	V	N
	51	C	N	1968	B	N
Hodonice	125	C+K	A	1910	B	N
	122	K	A	1842	V	A
	96	C+K	A	1867	B	A
	84	K	N	1820	V	N
	84	C+K	A	1922	B	A
	84	K	N	1909	B	A
	82	C+K	A	1920	B	A
	74	C	A	1946	V	N
	67	K	N	1862	V	A
	67	C+K	A	1900	B	A
	62	C	A	1962	V	A
	60	C	N	1970	B	A
	50	C	N	1980	B	A
Nová Ves u Ml.Vožice	348	C+K	A	1926	V	A
	198	C	A	1950	B	A
	162	C+K	A	1987	B	A
	80	C	A	1980	B	A
	68	C+K	A	1941	B	A
	60	C+K	A	1907	M	A
	58	C+K	A	1932	M	A
	48	C+K	A	1960	B	A
	27	C+K	A	1974	B	A
	22	C+K	A	1954	B	A
Vesce	284	C+K	A	1900	B	A
	222	K	A	1900	B	A
	208	C+K	A	1890	V	A

	199	C+K	N	1990	V	A
	149	C+K	N	1990	V	N
	135	K	N	1870	B	N
	79	C	A	1977	B	A
	62	C	N	1979	B	A
Záhoří	230	C+K	A	1920	B	A
	131	C+K	A	1890	V	A
	90	C+K	A	1930	B	A
	86	C+K	A	1828	V	A
	62	C	N	1972	V	A
	53	C	N	1977	V	A
	44	C	N	1979	B	A

Tab. 4.3. Kompletní informace o budovách měřených ve vysoké kategorii radonového indexu geologického podloží

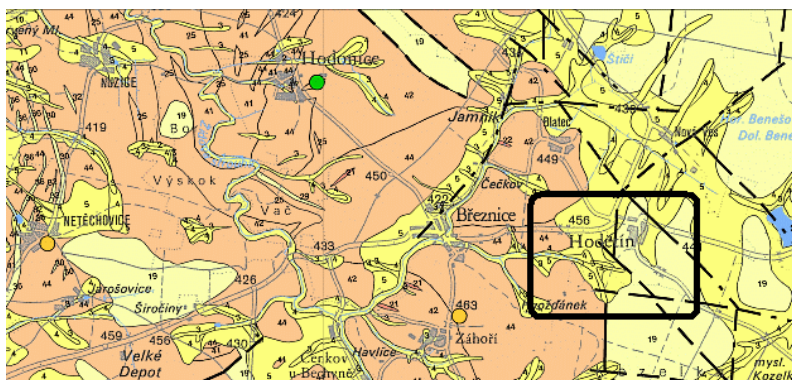
obec	OAR (Bq/m ³)	stavební materiál	kontakt s podložím	stáří stavby	těsnost oken	vlastní studna
Meziříčí	464	C+K	A	1900	B	A
	258	C+K	A	1980	B	A
	227	K	A	1900	V	A
	201	C+K	A	1850	B	A
	199	C+K	A	1847	B	A
	149	C	A	1983	B	A
	148	K	A	1850	B	A
	142	K	A	1900	B	A
	115	C+K	A	1800	B	A
	110	C+K	A	1930	B	A
	104	C	N	1967	B	A
	99	C+K	A	1928	B	A
	72	C	N	1965	B	A
	51	C	A	1945	B	A

- poznámky:
- stavební materiál (C – cihla, C+K – cihla a kámen, K – kámen)
 - kontakt s podložím (A – ano, N – ne)
 - těsnost oken (M – malá, B – běžná, V – výborná)
 - vlastní studna (A – ano, N – ne)

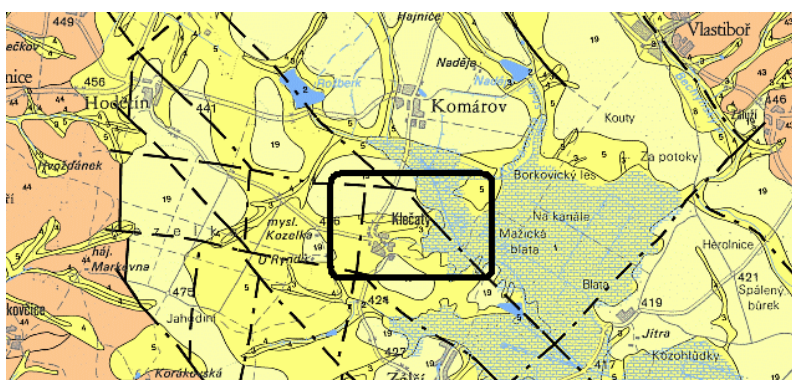
4.2 Vliv geologického podloží vesnic na objemovou aktivitu radonu (OAR) naměřenou v domech

V této kapitole jsou znázorněny jednotlivé obce zakreslené do map radonového indexu a průměrné hodnoty OAR naměřené v jednotlivých obcích Jihočeského kraje (okres Tábor). Legenda k mapám je v příloze 6.

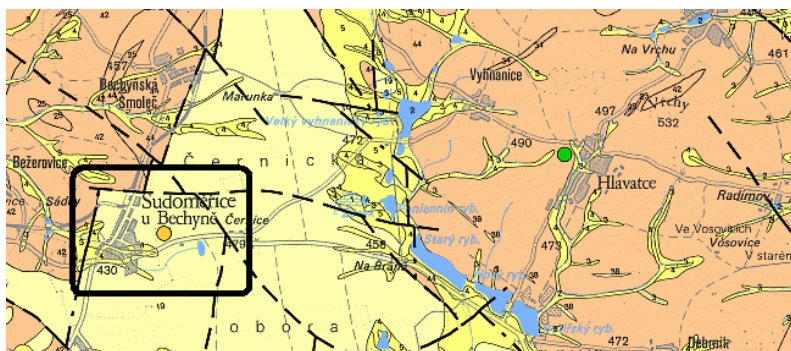
4.2.1 Obce v kategorii nízkého radonového indexu



Obr. 4.2.1. Obec Hodětín, umístěno 7 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR 114,7 Bq/m³



Obr. 4.2.2. Obec Klečaty, umístěno 8 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR 96 Bq/m³

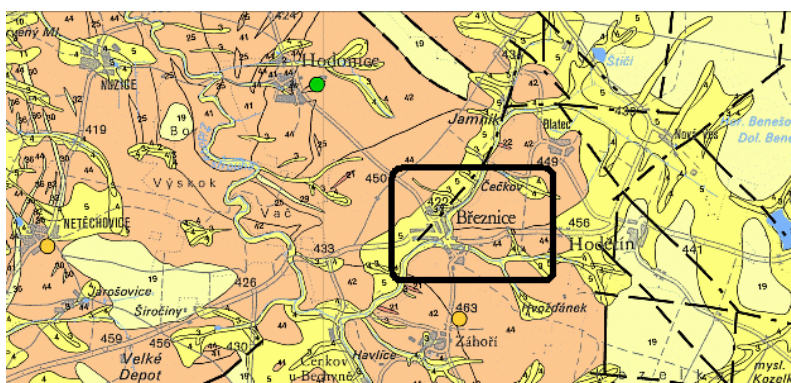


Obr. 4.2.3. Obec Sudoměřice u Bechyně, umístěno 16 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR $110,1 \text{ Bq/m}^3$

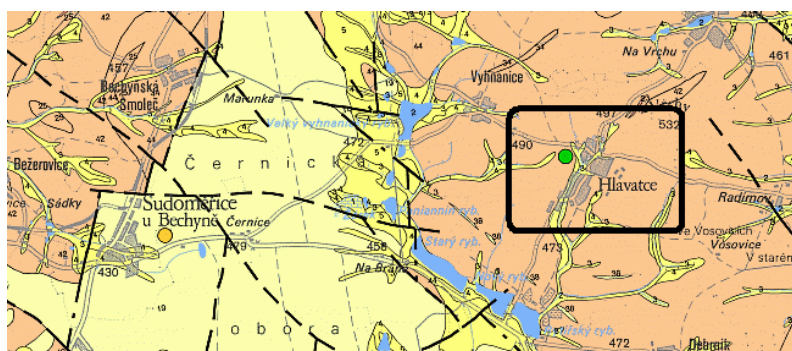
Tab. 4.2.1. Průměrné hodnoty OAR naměřené v jednotlivých obcích ležících v nízkém radonovém indexu

obce	průměr hodnot OAR (Bq/m^3)
Hodětín	114,7
Klečaty	96,0
Sudoměřice u Bechyně	110,1
celkem	107,5

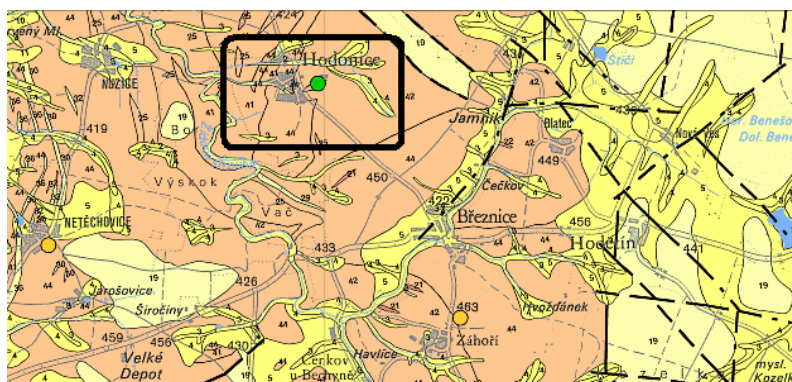
4.2.2 Obce v kategorii středního radonového indexu



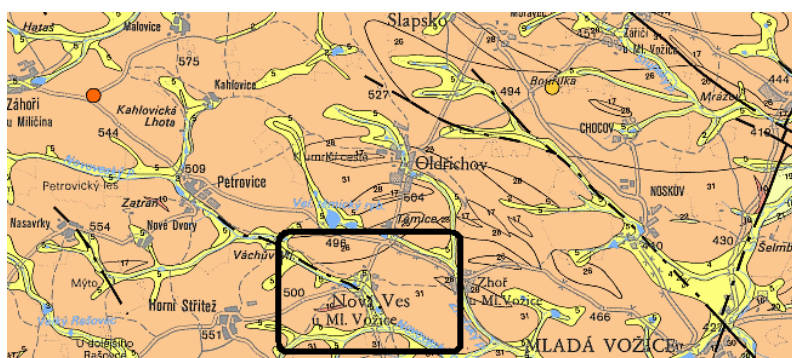
Obr. 4.2.4. Obec Březnice, umístěno 10 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR $118,1 \text{ Bq/m}^3$



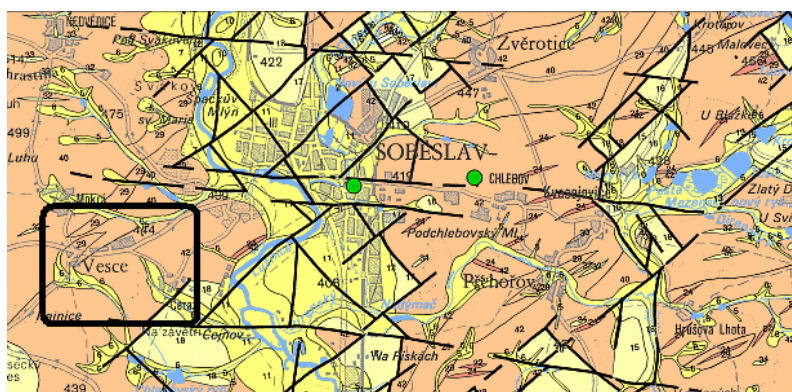
Obr. 4.2.5. Obec Hlavatce, umístěno 5 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR 127 Bq/m³



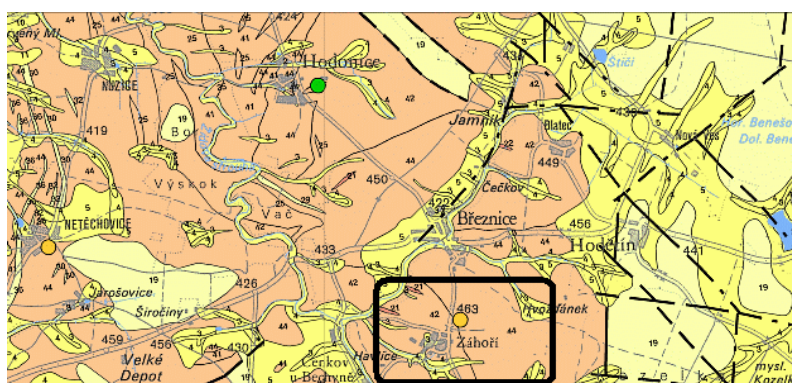
Obr. 4.2.6. Obec Hodonice, umístěno 13 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR 81,3 Bq/m³



Obr. 4.2.7. Obec Nová Ves u Mladé Vožice, umístěno 11 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR 99,1 Bq/m³



Obr. 4.2.8. Obec Vesce, umístěno 8 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR 167,3 Bq/m³

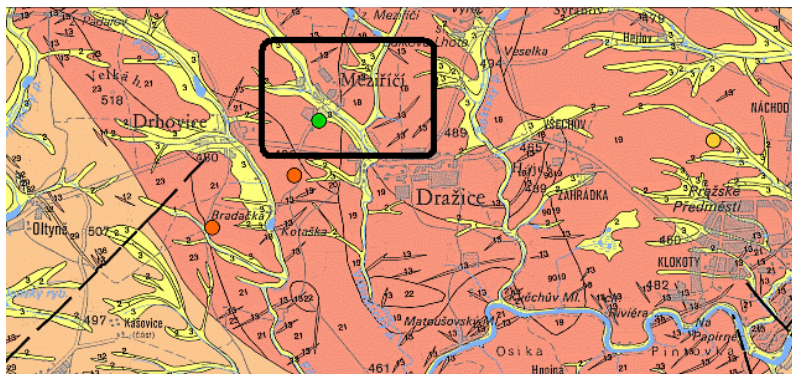


Obr. 4.2.9. Obec Záhoří, umístěno 7 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR 99,4 Bq/m³

Tab. 4.2.2. Průměrné hodnoty OAR naměřené v jednotlivých obcích ležících ve středním radonovém indexu

obce	průměr hodnot OAR (Bq/m ³)
Březnice	118,1
Hlavatce	127,0
Hodonice	81,3
Nová Ves u Mladé Vožice	99,1
Vesce	167,3
Záhoří	99,4
celkem	111,1

4.2.3 Obce v kategorii vysokého radonového indexu



Obr. 4.2.10. Obec Meziríčí, umístěno 15 detektorů, průměrná naměřená hodnota OAR 167,1 Bq/m³

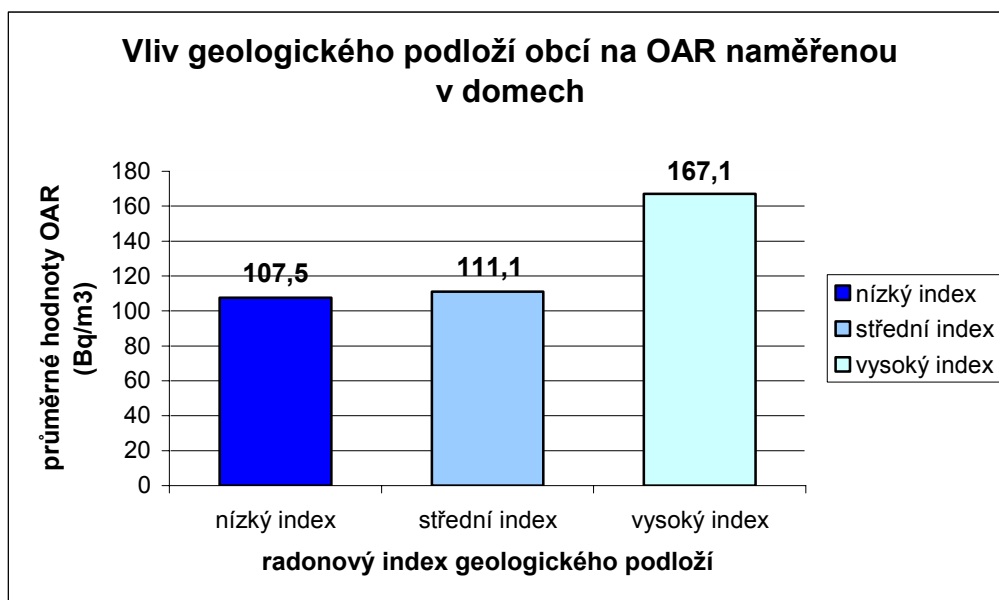
Tab. 4.2.3. Průměrné hodnoty OAR naměřené v obci s vysokým radonovým indexem

obec	průměr hodnot OAR (Bq/m ³)
Meziríčí	167,1
celkem	167,1

4.2.4 Vliv geologického podloží obcí na objemovou aktivitu radonu naměřenou v jednotlivých domech.

Tab. 4.2.4. Průměry hodnot OAR, které byly naměřeny v obcích ležících na stejné kategorii horninového podloží

kategorie radonového indexu	průměrné hodnoty OAR naměřené v obcích (Bq/m ³)
nízký index	107,5
střední index	111,1
vysoký index	167,1



Graf 4.2.11. Vliv geologického podloží obcí na OAR naměřenou v domech

4.3 Analýza rozptylu – vliv jednotlivých skutečností na hodnotu OAR

Statistickou metodu – analýza rozptylu – jsem použila, abych zhodnotila, zda některá z uvedených informací o měřené budově (kontakt domu s podložím, stáří objektu, použitý stavební materiál, těsnost oken a zdroj vody) má vliv na hodnotu objemové aktivity radonu (OAR).

4.3.1 Kontakt měřeného domu s podložím

Tab. 4.3.1. Naměřené hodnoty OAR v podsklepených domech (ne) a v domech s přímým kontaktem s podložím (ano)

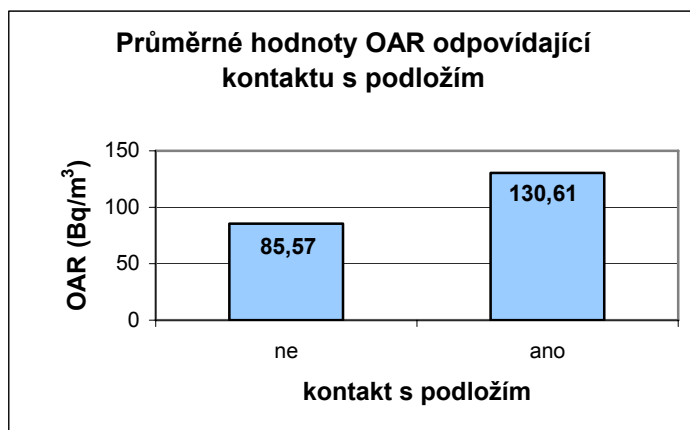
ne		ano						
OAR (Bq/m ³)		OAR (Bq/m ³)						
199	69	464	190	115	82	62		
149	67	387	178	114	82	61		
136	67	348	173	110	80	60		
135	67	289	168	106	79	58		
134	62	284	162	101	79	58		
113	62	258	160	99	74	56		
104	60	230	149	98	73	51		
93	60	227	148	96	72	48		
91	53	222	142	96	70	27		
88	53	211	141	96	69	22		
84	51	211	132	93	68	19		
84	50	208	131	93	67			
80	44	201	127	90	67			
72		199	125	86	65			
69		198	122	84	62			
85,57		130,61						průměr

ANOVA test

p-hodnota = 0,0083

hladina významnosti = 0,05

hladina významnosti > p-hodnota = zamítám H_0 (kontakt s podložím má na hodnotu OAR vliv)



Graf 4.3.1. Průměrné hodnoty OAR naměřené v objektech podle kontaktu s podložím

4.3.2 Použitý stavební materiál při stavbě domu

Tab. 4.3.2. Naměřené hodnoty OAR v domech postavených z cihel (cihla), z cihel a kamene (cihla + kámen) a z kamene (kámen)

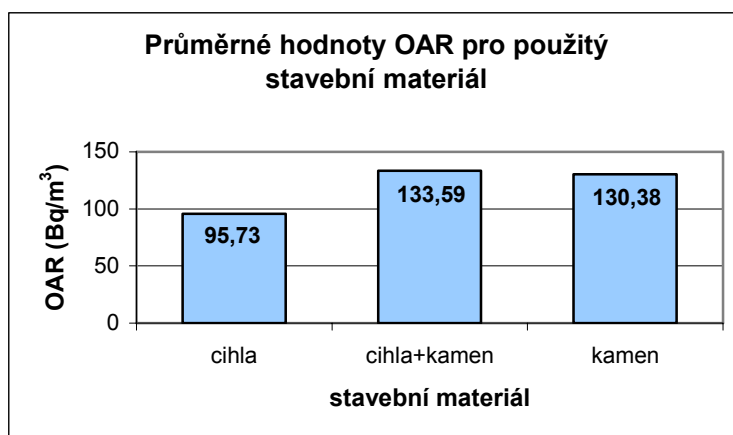
cihla		cihla + kámen			kámen	
OAR (Bq/m ³)		OAR (Bq/m ³)			OAR (Bq/m ³)	
289	70	464	113	60	227	
211	69	387	110	58	222	
199	69	348	101	48	208	
198	67	284	99	27	148	
190	67	258	96	22	142	
149	65	230	96	19	135	
149	62	211	93		122	
136	62	201	93		93	
127	62	199	90		91	
114	61	178	86		84	
106	60	173	84		84	
104	60	168	82		72	
98	58	162	82		67	
96	56	160	79			
88	53	141	73			
80	53	134	69			
80	51	132	68			
79	51	131	67			
74	50	125	67			
72	44	115	62			
95,73		133,59			130,38	průměr

ANOVA test

p-hodnota = 0,0614

hladina významnosti = 0,05

hladina významnosti < p-hodnota = přijímám H_0 (použitý stavební materiál nemá na hodnotu OAR vliv)



Graf 4.3.2. Průměrné hodnoty OAR naměřené v objektech podle použitého stavebního materiálu

4.3.3 Těsnost oken v domě

Tab. 4.3.3. Naměřené hodnoty OAR v domech s výbornou, běžnou a s malou těsností oken

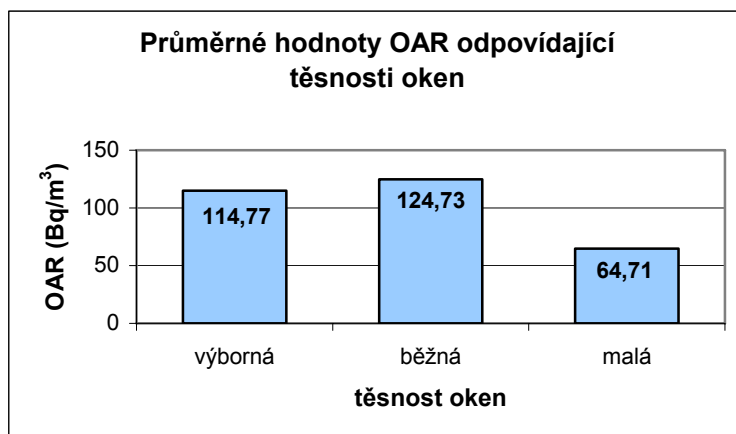
výborná		běžná				malá	
OAR (Bq/m ³)		OAR (Bq/m ³)				OAR (Bq/m ³)	
348	69	464	142	96	68	91	
227	67	387	141	96	67	60	
208	67	289	136	96	67	50	
199	62	284	135	93	67	61	
173	62	258	134	93	65	60	
168	62	230	132	90	62	58	
160	56	222	127	88	60	73	
149	53	211	125	84	58		
131	53	211	115	84	51		
122		201	114	82	51		
93		199	113	82	48		
86		198	110	80	44		
84		190	106	80	27		
74		178	104	79	22		
72		162	101	79	19		
70		149	99	72			
69		148	98	69			
114,77		124,73				64,71	průměr

ANOVA test

p-hodnota = 0,144

hladina významnosti = 0,05

hladina významnosti < p-hodnota = přijímám H₀ (těsnost oken nemá na hodnotu OAR vliv)



Graf 4.3.3. Průměrné hodnoty OAR naměřené v objektech podle těsnosti oken

4.3.4 Přítomnost vlastní studny

Tab. 4.3.4. Naměřené hodnoty OAR v domech s přívodem vody z vlastní studny (ano) a z veřejného vodovodu (ne)

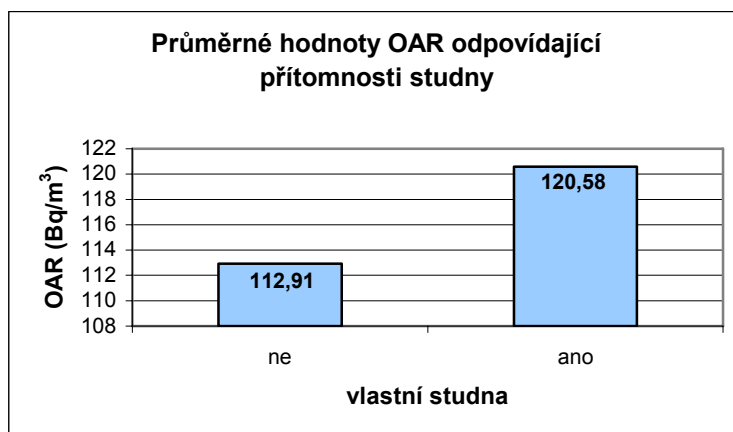
ne		ano				
OAR (Bq/m ³)		OAR (Bq/m ³)				
387	93	464	142	72	51	
211	91	348	132	69	50	
190	88	289	131	68	48	
168	84	284	122	67	44	
160	82	258	115	67	27	
149	79	230	114	67	22	
141	74	227	110	65	19	
136	73	222	104	62		
135	72	211	99	62		
134	70	208	98	62		
127	69	201	96	61		
125	69	199	90	60		
113	67	199	86	60		
106	67	198	84	60		
101	62	178	84	58		
96	51	173	82	58		
96		162	80	56		
93		149	80	53		
93		148	79	53		
112,91		120,58				průměr

ANOVA test

p-hodnota = 0,6393

hladina významnosti = 0,05

hladina významnosti < p-hodnota = přijímám H_0 (používaná voda z vlastní studny nemá na hodnotu OAR vliv)



Graf 4.3.4. Průměrné hodnoty OAR naměřené v objektech podle zdroje používané vody v domě

4.3.5 Rok dokončení stavby

Tab. 4.3.5. Naměřené hodnoty OAR v domech podle roku dokončení stavby

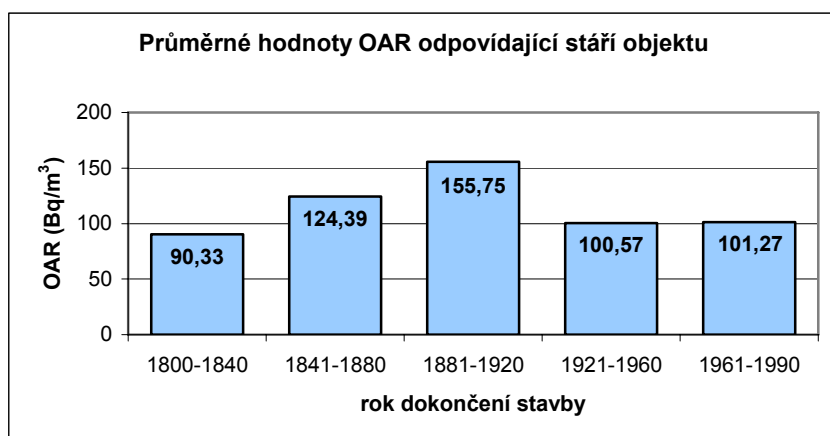
1800 – 1840	1841 – 1880	1881 - 1920		1921 - 1960		1961 - 1990		
OAR (Bq/m ³)	OAR (Bq/m ³)	OAR (Bq/m ³)		OAR (Bq/m ³)		OAR (Bq/m ³)		
115	211	464	82	348	48	289	67	
93	201	387	69	198	22	284	62	
91	199	230	67	190	19	258	62	
86	178	227	67	160		199	62	
84	148	222	60	114		162	60	
73	141	211	58	110		149	60	
	135	208		99		149	53	
	134	173		96		106	53	
	127	168		93		104	51	
	122	142		90		88	50	
	113	136		84		82	44	
	96	132		74		80	27	
	93	131		69		80		
	79	125		68		79		
	72	101		65		72		
	67	98		58		70		
	62	96		56		69		
	61	84		51		67		
90,33	124,39	155,75		100,57		101,27		průměr

ANOVA test

p-hodnota = 0,0549

hladina významnosti = 0,05

hladina významnosti < p-hodnota = přijímám H₀ (stáří objektu nemá na hodnotu OAR vliv)

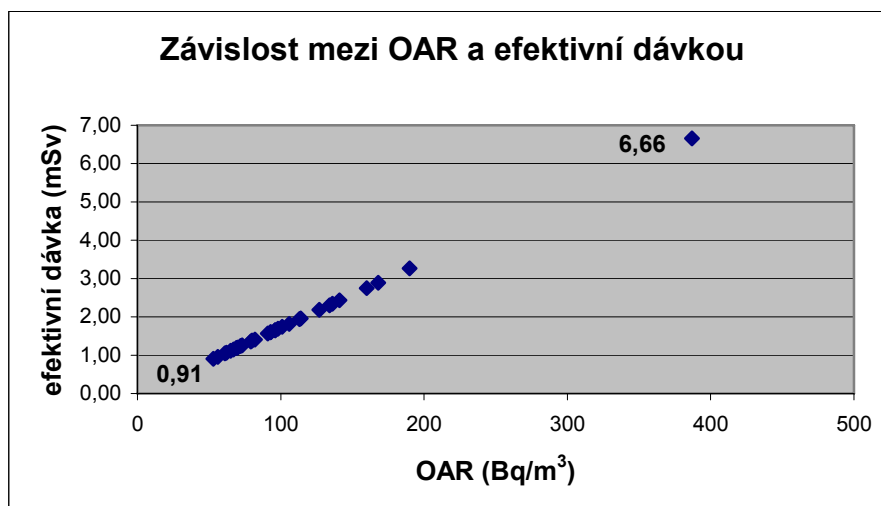


Graf 4.3.5. Průměrné hodnoty OAR naměřené v objektech podle stáří objektu

4.4 Závislost mezi OAR a efektivní dávkou

Tato kapitola je rozdělena podle kategorie radonového indexu geologického podloží obcí do tří dílů. V každé části je tabulka s hodnotami OAR, které byly v objektech naměřeny; efektivní dávku, která je spočítána podle vztahu $OAR \cdot 250 \text{ Bq/m}^3 = 4,3 \text{ mSv}$ (viz. kapitola 1.4); procentuální zvýšení vzniku rakoviny plic a počet lidí, kteří v dané objemové aktivitě radonu žijí. Grafy jsou zde vloženy pro lepší znázornění situace.

4.4.1 Nízký radonový index základových půd

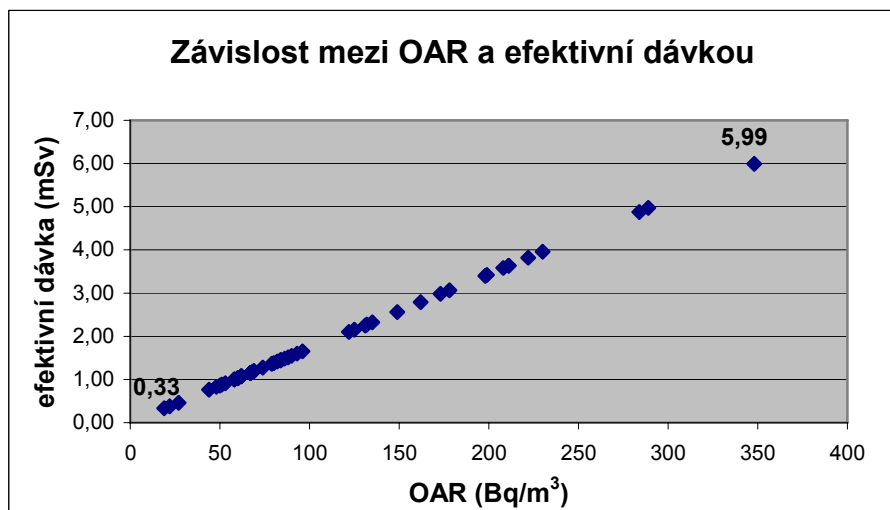


Graf 4.4.1. Závislost mezi OAR a efektivní dávkou v nízké kategorii radonového indexu

Tab. 4.4.1. Nízká kategorie radonového indexu

obec	OAR (Bq/m ³)	efektivní dávka (mSv)	% vznik rakoviny plic	počet lidí
Hodětín	387	6,66	58,1	1
Klečaty	190	3,27	28,5	4
Sudoměřice u Bechyně	168	2,89	25,2	3
	160	2,75	24,0	3
	141	2,43	21,2	4
	136	2,34	20,4	2
	134	2,30	20,1	2
	127	2,18	19,1	2
	114	1,96	17,1	4
	113	1,94	17,0	2
	106	1,82	15,9	2
	101	1,74	15,2	4
	98	1,69	14,7	4
	96	1,65	14,4	1
	96	1,65	14,4	4
	93	1,60	14,0	4
	93	1,60	14,0	2
	91	1,57	13,7	4
	82	1,41	12,3	2
	80	1,38	12,0	6
	79	1,36	11,9	1
	73	1,26	11,0	2
	72	1,24	10,8	1
	70	1,20	10,5	2
	69	1,19	10,4	4
	67	1,15	10,1	3
	65	1,12	9,8	1
	62	1,07	9,3	6
	61	1,05	9,2	2
	56	0,96	8,4	4
	53	0,91	8,0	4
průměr	107,5	1,85	16,1	

4.4.2 Střední radonový index základových půd



Graf 4.4.2. Závislost mezi OAR a efektivní dávkou ve střední kategorii radonového indexu

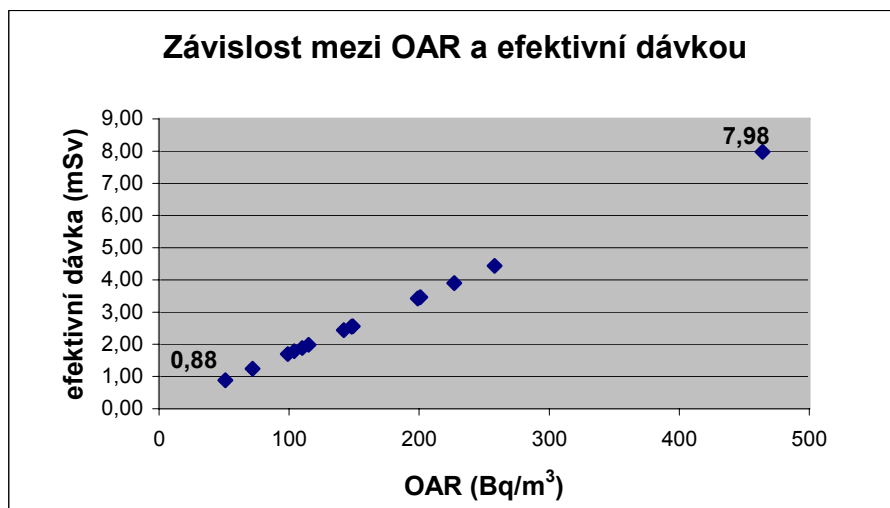
Tab. 4.4.2. Střední kategorie radonového indexu

obec	OAR (Bq/m ³)	efektivní dávka (mSv)	% vznik rakoviny plic	počet lidí
Březnice	348	5,99	52,2	1
Hlavatce	289	4,97	43,4	4
Hodonice	284	4,88	42,6	3
Nová Ves u Mladé Vožice	230	3,96	34,5	2
Vesce	222	3,82	33,3	2
Záhoří	211	3,63	31,7	1
	211	3,63	31,7	1
	208	3,58	31,2	3
	199	3,42	29,9	2
	198	3,40	29,7	5
	178	3,06	26,7	4
	173	2,98	26,0	2
	162	2,79	24,3	5
	149	2,56	22,4	4
	135	2,32	20,3	2
	132	2,27	19,8	2
	131	2,25	19,7	1
	125	2,15	18,8	1

Radonová studie ve vybraných obcích Jihočeského kraje – měření, analýza výsledků a vnímání
rizika obyvateli

	OAR (Bq/m³)	efektivní dávka (mSv)	% vznik rakoviny plic	počet lidí
	122	2,10	18,3	2
	96	1,65	14,4	3
	93	1,60	14,0	2
	90	1,55	13,5	2
	88	1,51	13,2	5
	86	1,48	12,9	2
	84	1,44	12,6	1
	84	1,44	12,6	1
	84	1,44	12,6	2
	82	1,41	12,3	3
	80	1,38	12,0	4
	79	1,36	11,9	4
	74	1,27	11,1	6
	69	1,19	10,4	5
	69	1,19	10,4	4
	68	1,17	10,2	2
	67	1,15	10,1	6
	67	1,15	10,1	4
	67	1,15	10,1	4
	67	1,15	10,1	3
	62	1,07	9,3	5
	62	1,07	9,3	4
	62	1,07	9,3	6
	60	1,03	9,0	2
	60	1,03	9,0	2
	60	1,03	9,0	1
	58	1,00	8,7	1
	58	1,00	8,7	2
	53	0,91	8,0	7
	51	0,88	7,7	5
	50	0,86	7,5	3
	48	0,83	7,2	4
	44	0,76	6,6	5
	27	0,46	4,1	4
	22	0,38	3,3	4
	19	0,33	2,9	2
průměr	111,1	1,91	16,7	

4.4.3 Vysoký radonový index základových púd

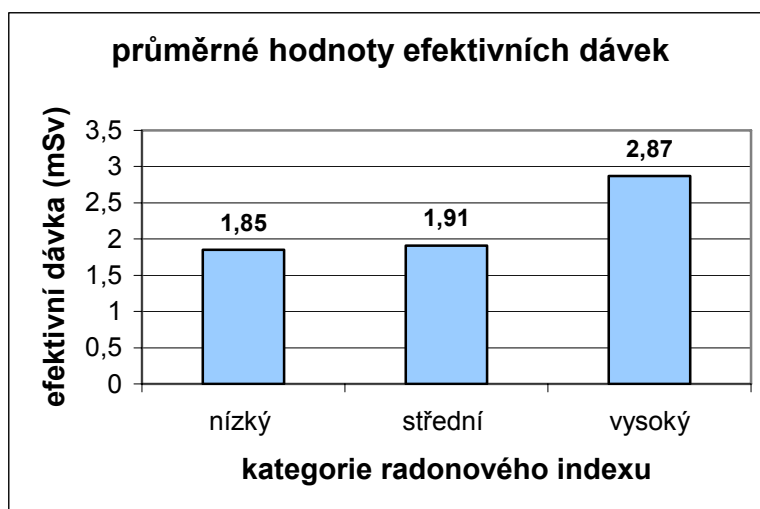


Graf 4.4.3. Závislost mezi OAR a efektivní dávkou ve střední kategorii radonového indexu

Tab. 4.4.3. Vysoká kategorie radonového indexu

obec	OAR (Bq/m ³)	efektivní dávka (mSv)	% vznik rakoviny plic	počet lidí
Meziříčí	464	7,98	69,6	5
	258	4,44	38,7	5
	227	3,90	34,1	2
	201	3,46	30,2	4
	199	3,42	29,9	2
	149	2,56	22,4	4
	148	2,55	22,2	1
	142	2,44	21,3	4
	115	1,98	17,3	2
	110	1,89	16,5	4
	104	1,79	15,6	2
	99	1,70	14,9	1
	72	1,24	10,8	5
	51	0,88	7,7	2
průměr	167,1	2,87	25,1	

4.4.4 Průměrné hodnoty efektivních dávek naměřené v jednotlivých kategoriích radonového indexu



Graf 4.4.4. Průměrné hodnoty efektivních dávek naměřené v jednotlivých kategoriích radonového indexu

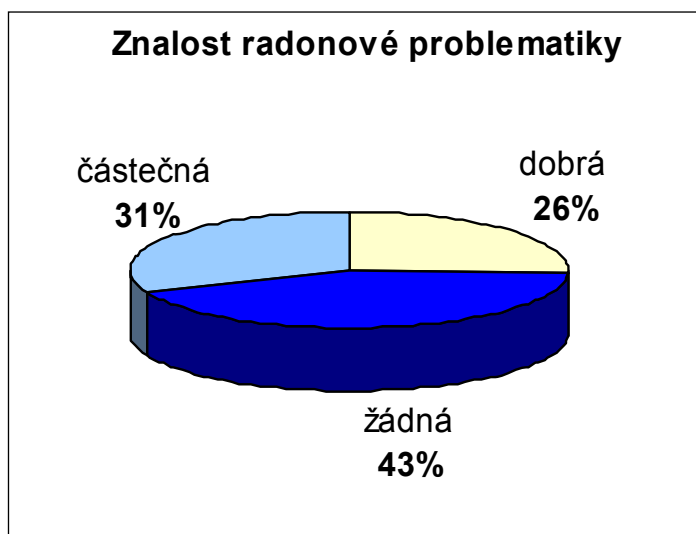
4.5 Vnímání rizika obyvateli

Při jednotlivých fázích měření jsem sledovala dva hlavní znaky. Jaký je v průběhu měření zájem o informace týkající se radonové problematiky a jaký je postoj k měření. Kromě toho mě zajímalo, jaká je u lidí znalost radonové problematiky.

4.5.1 Znalost radonové problematiky

Tab. 4.5.1. Znalost radonové problematiky u sta respondentů

znalost radonové problematiky	počet obyvatel
dobrá	26
žádná	43
částečná	31
celkem	100

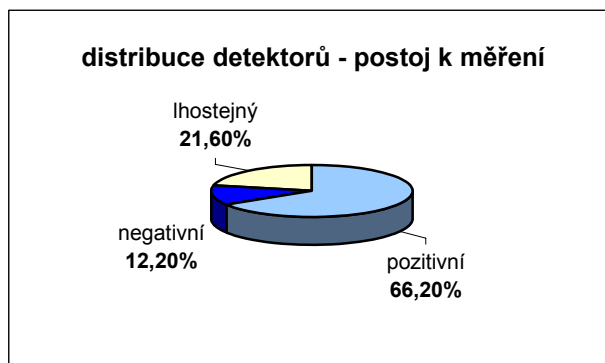


Graf 4.5.1. Znalost radonové problematiky u sta dotazovaných - vyjádřeno graficky

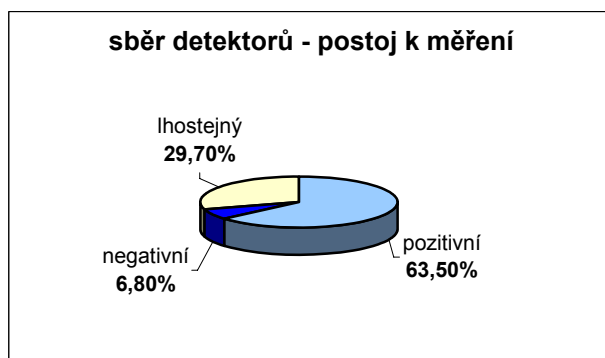
4.5.2 Postoj obyvatel k měření

Pozorování postoje respondentů, vytvoření dotazníků z mých poznatků a pocitů a následné zpracování hodnot pomocí McNemarova testu a chí kvadrát testu dobré shody.

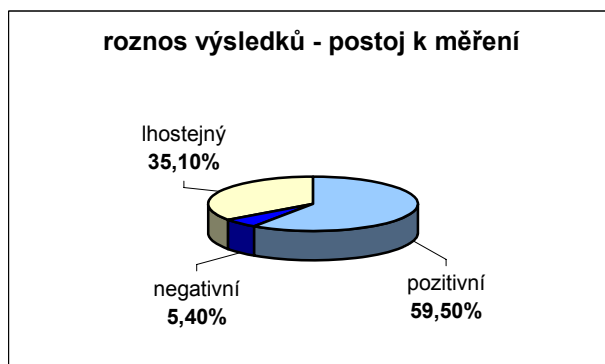
4.5.2.1 Grafické znázornění postoje obyvatel během jednotlivých měření



Graf 4.5.2. Postoj obyvatel k měření – distribuce detektorů



Graf 4.5.3. Postoj obyvatel k měření – sběr detektorů (= zájem znát výsledky)



Graf 4.5.4. Postoj obyvatel k měření – roznos výsledků (= zájem o výsledky)

4.5.2.2 Statistická metoda - McNemarův test

- stupně volnosti $df = 3$
- hladina významnosti = 0,05
- $\chi^2_{krit} = 7,81$
- H_0 – soubory jsou stejné, mezi skupinami je nulový rozdíl

Tab. 4.5.2. Postoj obyvatel k měření během distribuce a sběru detektorů

distribuce detektorů	sběr detektorů			
	pozitivní	negativní	lhostejný	
pozitivní	42	2	5	49
negativní	4	2	3	9
lhostejný	1	1	14	16
	47	5	22	

$$\chi^2 = 4,33$$

$\chi^2 < \chi^2_{krit} = H_0$ přijímám (soubory jsou stejné) – postoj k měření se mezi roznosem a sběrem detektorů nezměnil

Tab. 4.5.3. Postoj obyvatel k měření během sběru detektorů a roznosem výsledků

sběr detektorů	roznos výsledků			
	pozitivní	negativní	lhostejný	
pozitivní	41	1	5	47
negativní	1	1	3	5
lhostejný	2	2	18	22
	44	4	26	

$$\chi^2 = 1,49$$

$\chi^2 < \chi^2_{krit} = H_0$ přijímám (soubory jsou stejné) – postoj k měření se mezi sběrem detektorů a roznosem výsledků nezměnil

4.5.2.3 Statistická metoda – χ^2 test dobré shody

Test dobré shody se používá pro ověřování nulové hypotézy v kontingenční tabulce a zjišťuje, zda jsou veličiny v kontingenční tabulce nezávislé. Pro svůj záměr k určení nezávislosti jsem použila test dobré shody v programu SPSS, jehož výstupem jsou normované odchylky od náhodného uspořádání, tzv. adjustovaná rezidua.

Tab. 4.5.4. Porovnání vztahu mezi postojem obyvatel při distribuci detektorů a jejich sběrem

		sběr detektorů			celkem
		pozitivní	negativní	lhostejný	
distribuce detektorů	pozitivní	42	2	5	49
	negativní	4	2	3	9
	lhostejný	1	1	14	16
celkem		47	5	22	74
% během distribuce detektorů	pozitivní	85,7 %	4,1 %	10,2 %	100 %
	negativní	44,4 %	22,2 %	33,3 %	100 %
	lhostejný	6,3 %	6,3 %	87,5 %	100 %
celkem		63,5 %	6,8 %	29,7 %	100 %
% během sběr detektorů	pozitivní	89,4 %	40,0 %	22,7 %	66,2 %
	negativní	8,5 %	40,0 %	13,6 %	12,2 %
	lhostejný	2,1 %	20,0 %	63,6 %	21,6 %
celkem		100 %	100 %	100 %	100 %
adjustovaná rezidua	pozitivní	+++	o	---	
	negativní	o	+	o	
	lhostejný	---	o	+++	

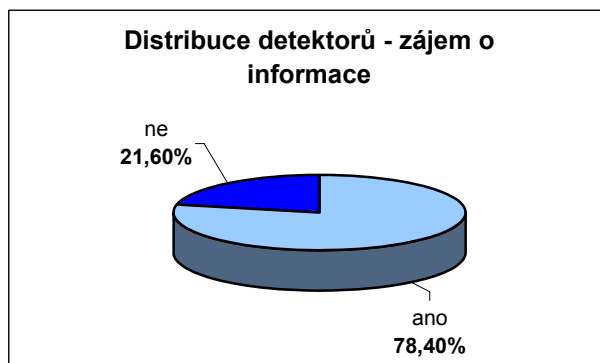
Tab. 4.5.5. Porovnání vztahu mezi postojem obyvatel při sběru detektorů a roznosem výsledků

		roznos výsledků			celkem
		pozitivní	negativní	lhostejný	
sběr detektorů	pozitivní	41	1	5	47
	negativní	1	1	3	5
	lhostejný	2	2	18	22
celkem		44	4	26	74
% během sběr detektorů	pozitivní	87,2 %	2,1 %	10,6 %	100 %
	negativní	20,0 %	20,0 %	60,0 %	100 %
	lhostejný	9,1 %	9,1 %	81,8 %	100 %
celkem		59,5 %	5,4 %	35,1 %	100 %
% během roznos výsledků	pozitivní	93,2 %	25,0 %	19,2 %	63,5 %
	negativní	2,3 %	25,0 %	11,5 %	6,8 %
	lhostejný	4,5 %	50,0 %	69,2 %	29,7 %
celkem		100 %	100 %	100 %	100 %
adjustovaná rezidua	pozitivní	+++	o	---	
	negativní	o	o	o	
	lhostejný	---	o	+++	

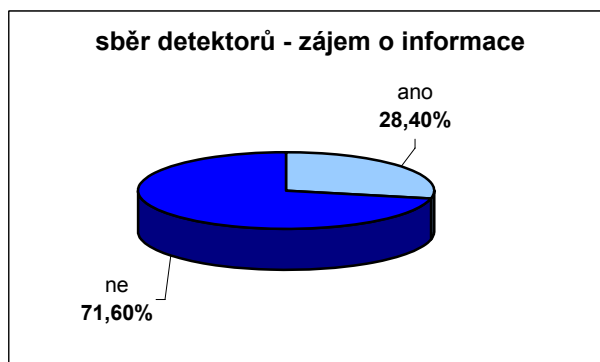
4.5.3 Zájem obyvatel o informace

Vytvoření dotazníků z odpovědí respondentů na nabídku informací týkající se radonové problematiky a následné zpracování hodnot pomocí McNemarova testu a chí kvadrát testu dobré shody.

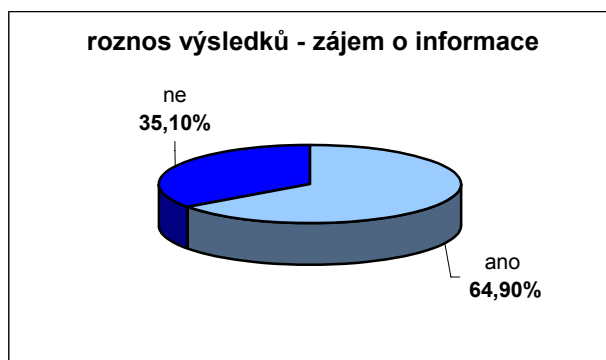
4.5.3.1 Grafické znázornění zájmu obyvatel o informace během jednotlivých měření



Graf 4.5.5. Zájem respondentů o informace – distribuce detektorů



Graf 4.5.6. Zájem respondentů o informace během měření – sběr detektorů



Graf 4.5.7. Zájem respondentů o informace – roznos výsledků

4.5.3.2 Statistická metoda - McNemarův test

- stupně volnosti $df = 1$
- hladina významnosti = 0,05
- $\chi^2_{krit} = 3,84$
- H_0 – soubory jsou stejné, mezi skupinami je nulový rozdíl

Tab. 4.5.6. Zájem obyvatel o informace během distribuce a sběru detektorů

distribuce detektorů	sběr detektorů			
		ano	ne	
ano		17	41	58
ne		4	12	16
		21	53	

$$\chi^2 = 30,4$$

$\chi^2 > \chi^2_{krit} = H_0$ zamítám (soubory stejné nejsou) – zájem o informace se mezi distribucí a sběrem detektorů změnil

Tab. 4.5.7. Zájem obyvatel o informace během sběru detektorů a roznosem výsledků

sběr detek- torů	roznos výsledků			
		ano	ne	
ano		20	1	21
ne		28	25	53
		48	26	

$$\chi^2 = 25,14$$

$\chi^2 > \chi^2_{krit} = H_0$ zamítám (soubory stejné nejsou) – zájem o informace se mezi sběrem detektorů a roznosem výsledků změnil

4.5.3.3 Statistická metoda – χ^2 test dobré shody

Tab. 4.5.8. Porovnání vztahu mezi zájmem obyvatel o informace při distribuci detektorů a při jejich sběru

		sběr detektorů		celkem
		pozitivní	negativní	
distribuce detektorů	pozitivní	17	41	58
	negativní	4	12	16
celkem		21	53	74
% během sběr detektorů	pozitivní	29,3 %	70,7 %	100 %
	negativní	25, %	75,0 %	100 %
celkem		28,4 %	71,6 %	100 %
% během roznos výsledků	pozitivní	81,0 %	77,4 %	78,4 %
	negativní	19,0 %	22,6 %	21,6 %
celkem		100 %	100 %	100 %
adjustovaná rezidua	pozitivní	o	o	
	negativní	o	o	

Tab. 4.5.9. Porovnání vztahu mezi zájmem obyvatel o informace při sběru detektorů a při roznosu výsledků

		roznos výsledků		celkem
		pozitivní	negativní	
sběr detektorů	pozitivní	20	1	21
	negativní	28	25	53
celkem		48	26	74
% během sběr detektorů	pozitivní	95,2 %	4,8 %	100 %
	negativní	52,8 %	47,2 %	100 %
celkem		64,9 %	35,1 %	100 %
% během roznos výsledků	pozitivní	41,7 %	3,8 %	28,4 %
	negativní	58,3 %	96,2 %	71,6 %
celkem		100 %	100 %	100 %
adjustovaná rezidua	pozitivní	+++	---	
	negativní	---	+++	

Tab. 4.5.10. Shrnutí podle použitých testových statistik

		Distribuce - sběr detektorů	Sběr detektorů – roznos výsledků
postoj k měření	<i>McNemarův test</i>	H ₀ přijímám	H ₀ přijímám
	<i>Test dobré shody</i>	H ₀ zamítám	H ₀ zamítám
zájem o informace	<i>McNemarův test</i>	H ₀ zamítám	H ₀ zamítám
	<i>Test dobré shody</i>	H ₀ přijímám	H ₀ zamítám

McNemarův test – H₀: změna je symetrická, skupiny jsou stejné

Test dobré shody – H₀: veličiny jsou nezávislé

5. DISKUSE

Již podle názvu mé diplomové práce je patrné, co bylo mým úkolem, abych dospěla k potřebným výsledkům. Nejdříve jsem si vybrala 10 obcí z Jihočeského kraje, okres Tábor, které se nachází v rozdílné kategorii radonového indexu. Ty obce, které leží v přechodném radonovém indexu jsem zařadila do takové kategorie (nízká, střední, vysoká), která k obci přiléhá nebo jí obklopuje. V nízké kategorii radonového indexu geologického podloží se nachází tři obce (Hodětín, Klečaty, Sudoměřice u Bechyně), ve střední kategorii je šest obcí (Březnice, Hlavatce, Hodonice, Nová Ves u Mladé Vožice, Vesce, Záhoří) a ve vysokém indexu obec jedna (Meziříčí).

Od Státního ústavu radiační ochrany jsem dostala 100 detektorů, které jsem umístila po jednom do obytných budov, které byly postavené před rokem 1991. Téměř po šesti měsících jsem detektory sebrala a za další dva měsíce jsem majitelům měřených budov předala výsledky objemové aktivity radonu z jejich domu. Během jednotlivých fází měření jsem musela s lidmi komunikovat, ptát se jich na jejich názory, znalosti a také si všimnout jejich postoje k měření radonu. V některých obcích mě při distribuci detektorů doprovázel starosta nebo zaměstnanec obecního úřadu, což mělo určitý pozitivní vliv na obyvatele, kterých jsem se ptala, zda mají zájem o změření objemové aktivity radonu u nich v domě. Výsledky z měření objemové aktivity radonu jsem dále zpracovávala pomocí statistické metody analýza rozptylů a t-testu. Z rozhovorů a pozorování majitelů měřených budov jsem sestavila dotazníky, které jsem s použitím McNemarova testu a χ^2 testu dobré shody vyhodnotila.

V kapitole 4.1 jsou kompletní výsledky z měření budov vložené do tří tabulek podle kategorií radonového indexu geologického podloží. V každé tabulce jsou všechny obce, které spadají do stejné kategorie radonového indexu a hodnoty objemové aktivity radonu (OAR) naměřené v budovách. Další důležité údaje zapsané v tabulkách, které jsem zjišťovala od majitelů budov, jsou rok dokončení stavby, kontakt s podložím, těsnost oken, přítomnost vlastní studny a druh stavebního materiálu, který byl použit na stavbu

domu. Těchto pět informací o měřené budově je důležitých z hlediska určení, zda mají vliv na hodnotu objemové aktivity radonu či nikoliv.

Pokud je dům podsklepen, nemá přímý kontakt s podložím, je označen v tabulce písmenem N, jestliže je dům v těsném kontaktu s podložím, nemá sklep, je označen písmenem A. Těsnost oken je rozdělena do tří kategorií - malá (M), běžná (B) a výborná (V). Přítomnost vlastní studny s přívodem do budovy je označena písmenem A, písmeno N označuje dům s vodou z veřejného vodovodu. Pokud byly jako stavební materiál použity pouze cihly, je v příslušném políčku písmeno C, jestliže byl použit jenom kámen, je označen písmenem K a v případě, že byl použit kámen v kombinaci s cihlami, značí tento fakt písmena C+K.

Kapitola 4.2 s názvem „Vliv geologického podloží obcí na objemovou aktivitu radonu (OAR)“ obsahuje názorné zakreslení obcí do mapy radonového indexu a průměrné hodnoty objemové aktivity radonu (OAR) zde naměřené. Do tabulek jsou umístěny průměrné hodnoty objemové aktivity radonu naměřené v jednotlivých obcích a průměry ze všech obcí spadajících do stejné kategorie radonového indexu.

V tabulce 4.2.1. jsou výsledky z obcí ležících v nízkém radonovém indexu. Průměrná hodnota OAR v Hodětíně je 114,7 Bq/m³, Klečatech 96,0 Bq/m³ a v Sudoměřicích u Bechyně 110,1 Bq/m³. Celkem odpovídá nízkému radonovému indexu průměrná hodnota OAR rovna **107,5 Bq/m³**.

V tabulce 4.2.2. jsou naměřené hodnoty z obcí ležících ve středním radonovém indexu. Průměrná hodnota OAR v Březnici je 118,1 Bq/m³, Hlavatcích 127,0 Bq/m³, Hodonicích 81,3 Bq/m³, Nové Vsi u Mladé Vožice 99,1 Bq/m³, ve Vescích 167,3 Bq/m³ a v Záhoří 99,4 Bq/m³. Střednímu radonovému indexu celkem odpovídá průměrná hodnota OAR **111,1 Bq/m³**.

Tabulka 4.2.3. obsahuje průměrnou hodnotu OAR z jediné obce, která leží ve vysokém radonovém indexu, z Meziříčí, a je rovna **167,1 Bq/m³**.

V **hypotéze 1** jsem předpokládala, že výsledky z měření objektů budou odpovídat horninovému podloží. Z grafu 4.2.1., kde jsou znázorněny průměrné hodnoty

v pořadí dle kategorie radonového indexu, je patrné, že určitý trend směrem vzhůru je přítomen, to znamená, že svou hypotézu mohu potvrdit. Ale je zřejmé, že rozdíl mezi kategorií nízkou a střední není tak velký, jak by měl být. Může to být dáno malou skupinou pozorovaných objektů, což hraje důležitou roli při neprokázání statisticky významného rozdílu.

V kapitole 4.3 jsem použila 2 statistické metody – analýzu rozptylu a dvouvýběrový t-test, abych zhodnotila, zda některá z uvedených informací o měřené budově (kontakt domu s podložím, stáří objektu, použitý stavební materiál, těsnost oken a zdroj vody) má vliv na hodnotu objemové aktivity radonu (OAR). Pro své účely jsem použila jednocestné ANOVA testování v programu Statgraphics. Výstup z programu Statgraphics obsahuje hodnotu testu, p-hodnotu (p-value), kterou jsem porovnávala se zvolenou hladinou významnosti ($\alpha = 0,05$). Pokud hladina významnosti byla větší než uvedená p-hodnota, zamítla jsem nulovou hypotézu H_0 , která zní: soubory jsou stejné, mezi sledovanými skupinami není rozdíl. Pro lepší znázornění a pochopení této problematiky jsem přiložila tabulky s naměřenými hodnotami a grafy, které graficky znázorňují rozdíl mezi jednotlivými skupinami.

V první **podkapitole 4.3.1** se zabývám otázkou, zda kontakt měřeného domu s podložím má vliv na hodnotu objemové aktivity radonu. Průměrné hodnoty OAR naměřené v domech s přímým kontaktem s podložím jsou rovny $130,61 \text{ Bq/m}^3$, v domech s nepřímým kontaktem s podložím je tato hodnota $85,57 \text{ Bq/m}^3$. Pomocí ANOVA testování jsem vypočetla p-hodnotu = 0,0083 a porovnávala se zvolenou hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Je zřejmé, že hladina významnosti je větší než vypočítaná p-hodnota, to znamená, že zamítám H_0 . Kontakt s podložím má na hodnotu objemové aktivity radonu vliv.

Mnou zvolená **hypotéza 2**, kde předpokládám, že kontakt s podložím bude mít vliv na naměřenou hodnotu, se zcela potvrdila. Tato hypotéza nám říká, že pokud měře-

né místnosti nejsou v přímém kontaktu s podlahou díky přítomnosti sklepních prostor, hodnoty objemové aktivity radonu jsou významně nižší.

Druhá *podkapitola 4.3.2* je zaměřená na zhodnocení použitého stavebního materiálu při stavbě domu a jeho případného působení na objemovou aktivitu radonu uvnitř domu. V měřených budovách byly použity celkem tři typy stavebního materiálu - cihla, kámen a cihla v kombinaci s kamenem. Průměrná hodnota objemové aktivity radonu (OAR) pro budovy postavené pouze z cihel je $95,73 \text{ Bq/m}^3$, z kamene $133,59 \text{ Bq/m}^3$ a postavené z cihel i kamene je průměrná hodnota OAR rovna $130,38 \text{ Bq/m}^3$. S použitím ANOVA testování jsem dospěla k p-hodnotě = 0,0614, kterou jsem porovnávala se zvolenou hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Hladina významnosti je menší než vypočítaná p-hodnota, to znamená, že nulovou hypotézu H_0 přijímám. Použitý stavební materiál pro stavbu domu nemá na hodnotu OAR vliv.

V *hypotéze 3* jsem předpokládala, že použitý stavební materiál bude mít na hodnotu objemové aktivity radonu vliv. Má hypotéza se nepotvrdila. Jedním z důvodů, proč tomu tak je, může být dobře zvolený výběr stavebního materiálu, který neobsahuje velké množství přírodních radionuklidů. Vyšší hodnoty vykazují některé druhy kamene, například žula nebo materiály vyrobené z odpadních surovin, jako popílek, škvára a struska. Proto také atomový zákon a vyhláška č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky 499/2005 Sb., ukládají výrobcům a dovozcům stavebních materiálů povinnost zajišťovat systematické měření obsahu všech přírodních radionuklidů ve vyráběných materiálech, čímž už nedochází k situacím, že by některý stavební materiál vedl k významnému ozáření osob.

Ve třetí *podkapitole 4.3.3* se zabývám otázkou, zda těsnost oken hraje významnou roli v naměřených hodnotách objemové aktivity radonu. Tato skupina výsledků je rozdělena do tří skupin podle kvality těsnosti oken na okna s těsností malou, běžnou a výbornou. Průměrná hodnota objemové aktivity radonu (OAR) pro budovy s malou těsností oken je $64,71 \text{ Bq/m}^3$, s běžnou těsností $124,73 \text{ Bq/m}^3$ a s výbornou těsností je $114,77 \text{ Bq/m}^3$. S využitím ANOVA testování jsem se dostala k p-hodnotě = 0,144, kte-

rou jsem porovnávala se zvolenou hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Hladina významnosti je menší než příslušná p-hodnota, to znamená, že nulovou hypotézu H_0 přijímám. Kvalita těsnosti oken nemá na hodnotu OAR vliv.

V **hypotéze 4** jsem předpokládala, že těsnost oken bude mít na naměřenou hodnotu objemové aktivity radonu vliv. Má hypotéza se nepotvrdila. Těsnost oken nehraje důležitou roli v množství OAR v domě. Jak je patrné z tabulky 4.3.3., kde jsou spočítány průměrné hodnoty OAR v jednotlivých kvalitách těsnosti, malá těsnost oken odpovídá nejnižším naměřeným hodnotám. Fakt je takový, že čím nižší kvalita těsnosti oken, tím více dochází k pasivnímu větrání právě přítomnými netěsnostmi. Dochází k častější výměně vzduchu v objektu a radon a jeho produkty přeměny se nekonztrují v místnostech tolik, jako je tomu u oken s těsností větší. Pokud porovnáme průměrné hodnoty OAR u oken s běžnou a výbornou těsností, jsou nižší hodnoty u oken s těsností výbornou. Což může být díky tomu, že nová plastová okna mají sice výbornou těsnost, ale mají možnost mikrovětrání, a to je podobný princip jako u oken s malou těsností. I přesto, že jsem hypotézu statisticky nepotvrdila, mají budovy s malou těsností oken hodnoty OAR znatelně nižší. Příčinou může být nízký počet hodnot ve skupině (budovy s malou těsností oken), ale trend je viditelný.

Čtvrtá **podkapitola 4.3.4** je zaměřená na posouzení, zda budovy s přívodem vody z vlastní studny mají vyšší hodnoty objemové aktivity radonu než budovy s vodou dodávanou z veřejného vodovodu. Průměrná hodnota objemové aktivity radonu (OAR) pro budovy, které mají vlastní studnu, je $120,58 \text{ Bq/m}^3$ a pro ty, které vlastní studnu nemají, je tato hodnota $112,91 \text{ Bq/m}^3$. S pomocí ANOVA testování jsem dospěla k p-hodnotě = 0,6393, kterou jsem porovnávala se zvolenou hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Hladina významnosti je menší než spočítaná p-hodnota, to znamená, že nulovou hypotézu H_0 přijímám. Přívod vody z vlastní studny do domu nemá na hodnotu OAR vliv.

V **hypotéze 5** jsem se domnívala, že přítomnost vlastní studny bude mít efekt na naměřenou hodnotu OAR. Hypotézu jsem však nepotvrdila. Používaná voda v domácnosti tedy natolik nezvyšuje objemovou aktivitu radonu, jak jsem předpokládala-

la. Jak je vidět i z grafu 4.3.4., mezi oběmi průměrnými hodnotami OAR není takový rozdíl.

V poslední **podkapitole 4.3.5** jsem se zabývala posouzením, zda rok dokončení stavby, nebo-li stáří budovy, hraje význačnou roli v naměřených hodnotách OAR. Z důvodu velkého rozpětí roků výstavby (od 1800 do 1990), jsem vytvořila pět skupin s intervalovým rozmezím 40-ti let. To znamená, že první skupina budov s rokem výstavby 1800 až 1840 dosáhla průměrné hodnoty OAR $90,33 \text{ Bq/m}^3$, druhá skupina postavena mezi roky 1841 až 1880 má průměrnou hodnotu OAR rovnou $124,39 \text{ Bq/m}^3$, skupina třetí od roku 1881 do roku 1920 má $155,75 \text{ Bq/m}^3$, čtvrtá skupina budov s rozmezím od roku 1921 do 1960 dosáhla $100,57 \text{ Bq/m}^3$ a poslední skupinou jsou domy postavené od roku 1961 až do roku 1990 a průměrná hodnota OAR zde je $101,27 \text{ Bq/m}^3$. S využitím ANOVA testu jsem došla k výsledku p-hodnoty = 0,0549, kterou jsem porovnála s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Hladina významnosti je menší než p-hodnota, to znamená, že rok dokončení stavby nemá na hodnotu OAR významný vliv.

Hypotéza 6 obsahuje tvrzení, že rok dokončení stavby ovlivňuje naměřené hodnoty objemové aktivity radonu. Hypotézu jsem nemohla potvrdit. Je těžké určit, proč to takto je. Domnívala jsem se, že čím starší dům, tím je horší izolace domu od podloží a lepší těsnost oken (nová, pravděpodobně plastová, okna), tím pádem i vyšší naměřené hodnoty OAR. Ale jak je vidět v tabulce 4.3.5., kde v první skupině domů postavených v rozmezí let 1800 až 1840, jsou hodnoty OAR nejnižší, je to spíše naopak. Může to být tedy tím, že tyto budovy nemají nová okna a vyšší přísun radonu přes neizolovanou podlahu je kompenzován vyšším větráním přes stará okna.

V **kapitole 4.4** je stěžejní částí závislost mezi objemovou aktivitou radonu (OAR) a efektivní dávkou. Z naměřených hodnot v jednotlivých objektech jsem vypočítala, pomocí převodního vztahu $250 \text{ Bq/m}^3 = 4,3 \text{ mSv}$, velikost efektivní dávky pro jednoho obyvatele domu a procentuální zvýšení rizika vzniku rakoviny plic (každých $100 \text{ Bq/m}^3 =$ zvýšení rizika rakoviny plic o 15%). Kapitola je rozdělena do tří částí podle kategorie

radonového indexu. Každá část obsahuje grafické znázornění vztahu mezi OAR a efektivní dávkou a tabulku s naměřenou hodnotou OAR, efektivní dávkou pro jednoho obyvatele měřeného domu, procentuální zvýšení rizika vzniku rakoviny plic a počet lidí, kteří v určité objemové aktivitě radonu bydlí.

Zajímavá je situace v budovách na nízkém radonovém indexu, kde se vymyká „normě“, což je rozmezí od 53 Bq/m^3 ($0,9 \text{ mSv}$) do 190 Bq/m^3 ($3,27 \text{ mSv}$), budova s naměřenou hodnotou OAR 387 Bq/m^3 , která odpovídá efektivní dávce o velikosti $6,66 \text{ mSv}$ a zvýšenému riziku vzniku rakoviny plic téměř o 60 %.

V domech v kategorii středního radonového indexu je nárůst hodnot OAR povolený a celkem rovnoměrný, ale je zřejmé, že nejvyšší naměřená hodnota (348 Bq/m^3) je nižší, než nejvyšší hodnota naměřená v nízké kategorii (387 Bq/m^3).

V obydlích na vysokém radonovém indexu jsou hodnoty OAR soustředěny do intervalu od 50 Bq/m^3 do 258 Bq/m^3 , jediná výjimka, která odpovídá vysoké kategorii radonového indexu, je hodnota objemové aktivity radonu o velikosti 464 Bq/m^3 .

Průměrné hodnoty efektivních dávek naměřené v jednotlivých kategoriích radonového indexu můžeme porovnat s průměrnou hodnotou efektivních dávek získanou z lékařského ozáření. V České republice se uvádí průměrná roční hodnota z lékařského ozáření 1 mSv (respektive v rozpětí od $0,6$ do 1 mSv/rok). Je zřejmé, že ozáření z radonu v budovách hraje velmi významnou roli v celkové dávce pro člověka. V mém pozorovaném souboru byla naměřena nejvyšší efektivní dávka $7,98 \text{ mSv}$, která téměř 8x převyšuje průměrnou roční dávku z lékařského ozáření.

Pro příklad: člověk který po celý rok žije v objemové aktivitě radonu kolem 60 Bq/m^3 , obdrží stejnou efektivní dávku, jako kdyby prodělal například jedno rentgenologické vyšetření břicha - 1 mSv .

Typická efektivní dávka pro rentgenologické vyšetření plic je $0,02 \text{ mSv}$, mamografii $0,1 \text{ mSv}$, hrudní páteře $0,7 \text{ mSv}$, břicha 1 mSv a například pro CT hlavy je efektivní dávka $2,3 \text{ mSv}$.^[26]

Kapitola 4.5 popisuje vnímání rizika radonu obyvateli, kteří dali souhlas k měření objemové aktivity radonu v jejich domě. Během jednotlivých etap měření jsem sledovala u respondentů dva hlavní znaky: jaký postoj zaujímají k měření a jaký mají v průběhu měření zájem o informace týkající se radonové problematiky. Díky jednotné formulaci obou otázek jsem sestavila 74 dotazníků, které jsem dále statisticky zpracovala.

Kromě těchto dvou otázek mě také zajímalo, jaká je znalost radonové problematiky u respondentů – viz. podkapitola 4.5.1. Ze sta dotazovaných znalo dobře radonovou oblast 26 % lidí, věděli co to radon je, kde se nachází a jak škodí zdraví. Tyto informace měli spíše mladší lidé, kteří se o radonu učili ve škole a nebo ti, co mají zkušenosti se stavbou či rekonstrukcí domu. Částečně radon znalo 31 % dotazovaných, věděli, že je to radioaktivní prvek, který škodí zdraví, ale už neznali čím je pro člověka nebezpečný a kde se nachází. Častá reakce u této skupiny lidí byla, že radon je plyn z Jaderné elektrárny Temelín. O radonu nikdy nic neslyšelo 43 % respondentů, spíše to byli staří lidé, které tato oblast jistě nezajímá.

Podkapitola 4.5.2 popisuje pomocí McNemarova testu a chí kvadrát testu dobré shody postoj respondentů k měření. V první části tohoto úseku je graficky znázorněn počet dotazovaných a jejich postoj k měření během jednotlivých etap. Převažuje postoj pozitivní, pohybuje se kolem 60 %. Nejvíce pozitivních reakcí bylo na začátku měření. Lhostejně se k měření stavělo mezi 35 až 20 %. Negativní postoj zaujímá nejmenší procento, okolo 10 %.

V další části se věnuji statistickému zhodnocení výsledků z dotazníku s použitím McNemarova testu a kontingenční tabulky. Zajímá mě, zda se postoj k měření mezi distribucí a sběrem detektorů a mezi sběrem detektorů a roznosem výsledků změnil. Proto jsem si stanovila nulovou hypotézu - mezi sledovanými skupinami je nulový rozdíl, změna je symetrická. V tomto případě nulovou hypotézu přijímám, mezi jednotlivými skupinami se postoj k měření změnil symetricky, soubory jsou stejné.

Abych určila, zda jsou veličiny v kontingenční tabulce nezávislé, použila jsem v poslední části statistickou metodu - chí kvadrát test dobré shody. V první tabulce 4.5.4. porovnávám vztah mezi postojem obyvatel při distribuci detektorů a jejich sběru.

Test dobré shody ukázal, že původní postoj respondentů se většinou zachoval. Jako nejstabilnější se jeví postoj kladný a lhostejný. Statistická významnost stability negativního postoje je pro malý počet případů v této kategorii málo průkazná. Nerovnovážné jsou změny z lhostejného postoje na pozitivní a naopak. Během těchto dvou fází měření se tedy postoj dotazovaných nezměnil. Osoby, které přistupovaly k měření od začátku příznivě, projevovaly zájem o měření a jeho výsledky i při sběru detektorů. Stejně tak u skupiny lidí, která se od počátku k měření stavěla lhostejně, nedošlo v průběhu měření ke zvýšení zájmu. Test dobré shody ukázal, že jsou veličiny závislé.

V druhé tabulce 4.5.5. jsem porovnávala vztah mezi postojem dotazovaných při sběru detektorů a roznosu výsledků. Výsledky z testu dobré shody jsou stejné jako v prvním případě, veličiny jsou závislé. Respondenti, kteří při sběru detektorů měli pozitivní postoj k měření si jej zachovali i při roznosu výsledků. Stejně tak skupina dotazovaných, která přistupovala k měření lhostejně. Nerovnovážná je změna z lhostejného přístupu na negativní a naopak.

V podkapitole 4.5.3 se věnuji zájmu obyvatel měřených budov o informace týkající se radonové problematiky a zpracování odpovědí McNemarovým testem a chí kvadrát testem dobré shody. První část této kapitoly graficky znázorňuje počet dotazovaných a jejich zájem o informace během jednotlivých měření. Při distribuci detektorů chtělo znát podrobnosti o radonu téměř 79 %. Při sběru detektorů jsem se obyvatel měřených domů ptala, zda se pokoušeli nějaké informace o radonu získat. V této fázi převažovali negativní odpovědi, celkem 71,6 %. Při posledním měření, roznos výsledků, jsem zjišťovala, zda chtějí majitelé měřených budov vysvětlit naměřené hodnoty OAR. V tomto případě jsem se setkala v 65 % s kladnou odpovědí.

Druhá část hodnotí výsledky z dotazníku za pomoci McNemarova testu a kontingenční tabulky. Zajímalo mě, zda se zájem o informace u respondentů mezi distribucí a sběrem detektorů a mezi sběrem detektorů a roznosem výsledků změnil. Nejdříve jsem si určila nulovou hypotézu, která zní: mezi sledovanými skupinami je nulový rozdíl, změna je symetrická. Oba výpočty McNemarova testu zamítly nulovou hypotézu, to

znamená, že se zájem obyvatel o informace týkající se radonové problematiky během jednotlivých měření měnil.

Ve třetí části jsem testem dobré shody zjišťovala, zda jsou veličiny zaznamenané v kontingenční tabulce nezávislé. První tabulka 4.5.8. porovnává vztah mezi zájmem obyvatel o informace při distribuci detektorů a při jejich sběru. Test dobré shody ukázal, že veličiny jsou nezávislé. To znamená, že se během těchto dvou etap měření zájem dotazovaných o informace měnil. Tudíž se neprokázalo, že osoby, které se zajímaly o informace při distribuci detektorů, měly zájem o informace i při sběru. Důvodem je patrně přeinformovanost dnešní doby, kdy se lidé spíše informacím brání, než by je sami vyhledávali nebo si vybírají taková témata, která jsou pro ně zajímavá a důležitá.

Ve druhé tabulce 4.5.9. porovnávám vztah mezi zájmem obyvatel o informace při sběru detektorů a při roznosu výsledků. Test dobré shody ukázal, že dotazovaní si během distribuce a sběru detektorů zachovali svůj původní postoj. Nejstabilnější je zájem pozitivní a negativní. Nerovnovážné jsou změny z negativního na pozitivní zájem a naopak. V průběhu těchto dvou fází měření se zájem dotazovaných nezměnil. To znamená, že osoby, které měli zájem o informace při sběru detektorů, projeví stejný zájem i při roznosu výsledků. Stejně tak skupina lidí, která se při sběru detektorů k informacím stavěla negativně, zůstala negativní i při poslední fázi měření. Test dobré shody ukázal, že jsou veličiny závislé.

V hypotéze 7 jsem předpokládala, že se názor obyvatel na radon bude v průběhu měření měnit. Tuto hypotézu nemůžu zcela potvrdit. Z testu dobré shody vyplynulo, že osoby, které přistupovaly k měření od počátku pozitivně, zachovaly svůj postoj i v dalších fázích měření. Zajímavá je problematika týkající se zájmu o informace. Při sběru detektorů byli obyvatelé měřených domů tázáni, zda se v průběhu měření více vzdělávali v této oblasti, ale přes 70 % dotazovaných odpovědělo záporně. Můžeme to přisuzovat trendu dnešní doby, kdy je člověk plně zahlcen informacemi a spíš se jim brání, než by je vyhledával. A problematika radonu nemusí být pro lidi natolik zajímavá, aby se o ní chtěli něco více dozvědět, každý si pečlivě vybírá téma, které je pro něj důležité a zajímavé.

6. ZÁVĚR

Téma mé diplomové práce bylo „Radonová studie ve vybraných obcích Jihočeského kraje – měření, analýza výsledků a vnímání rizika obyvateli“. Práce je rozdělena na dva oddíly. V teoretické části jsem se snažila přehledně utřídit veškeré důležité informace o radonu, jeho legislativním rámci, možnostech jeho měření a odstraňování.

Praktická část je založena na zpracování výsledků hodnot objemové aktivity radonu, které byly naměřeny v obytných budovách deseti obcí, porovnání výsledků s radonovým indexem geologického podloží a určení vztahu mezi objemovou aktivitou radonu a dalšími parametry, jako je stáří domu, kontakt s podložím, těsnost oken, použitý stavební materiál a dodávaná voda. Další stěžejní částí práce bylo na základě použití kvalitativního výzkumu, metody pozorování a nestrukturovaného rozhovoru, sestavení dotazníků a jejich následné zpracování pomocí McNemarova testu a testu dobré shody. Statisticky jsem mohla potvrdit pouze dvě hypotézy: výsledky z měření objektů odpovídají horninovému podloží a kontakt s podložím má vliv na naměřenou hodnotu objemové aktivity radonu v budovách.

Při mém měření jsem si uvědomila, že lidé nebezpečí plynoucí z radonu podceňují a nebo zlehčují. Přisuzuji to tomu, že radon je plyn, není hmatatelný, není na něm napsáno varování Ministerstva zdravotnictví „Dýchání radonu způsobuje rakovinu plic“ a je málo porovnáván s jinými zdroji záření.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BARNET, I. *Radon v geologickém prostředí*. Český geologický ústav, 1992. ISBN 80-7075-112-6
2. BARNET, I., NEZNAL, M., PACHEROVÁ, P. *Rn investigations in the CR XI. And the 8th international workshop on the Geological Aspects Radon Risk Mapping*. Prague: 2006. ISBN 80-7075-661-6
3. ČSN 73 0601. *Ochrana staveb proti radonu z podloží*. Účinnost od 1.2. 2006. Praha: Český normalizační institut, 2006. 32 s.
4. ČSN 73 0602. *Ochrana staveb proti radonu a záření gama ze stavebních materiálů*. Účinnost od 1.2.2006. Praha: Český normalizační institut, 2006. 16 s.
5. HEINICKE, J., MARTINELLI, G. *Annals of Geophysics*. In: VII. International Conference on Gas Geochemistry. Freiberg, Germany. September 2003. ISSN 1593-5213
6. JIRÁNEK, M. *Izolace proti radonu. Návrh a pokládka izolací v nových stavbách*. Praha: SÚJB.
7. JIRÁNEK, M. *Konstrukce pozemních staveb. Ochrana proti radonu*. Praha: ČVUT, 2000. 53 s. ISBN 80-01-02190-4
8. JIRÁNEK, M. *Opatření proti radonu ve stávajících budovách*. Praha: SÚJB, 2000. 45 s. ISBN 80-902884-3-X
9. KLENER, V. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Azin CZ pro SÚJB, 2000. 619 s. ISBN 80-238-3703-6
10. KUNA, P., NAVRÁTIL, L. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus, 2005. 222 s. ISBN 80-86571-09-2
11. KUPILÍK, V. *Zdravotní nezávadnost stavebních konstrukcí II*. 1. vyd. Praha: Ústav stavebních informací, 1994. ISBN 80-85380-35-8
12. MARTINČÍK, J., THINOVÁ, L. *5th Conference on Protection Against Radon at Home and at Work*. Main topic: Dose assessment. Prague, Czech Republic. September 9-15, 2007. ISBN 978-80-01-03783-6

13. MATZNER, J. *Praktika z dozimetrie*. 1. vyd. České Budějovice: ZSF JU, 2004. 79 s. ISBN 80-7040-707-7
14. Ministerstvo financí. *Metodický postup čj. 12/33 569/2006 – 124*, k provedení vyhlášky č. 461/2005 Sb.
15. NAVRÁTIL, L., ROSINA, J. a kol. *Biofyzika v medicíně*. 1. vyd. Praha: Manus, 2003. 398 s. ISBN 80-86571-03-3
16. NEZNAL, M. *Nová metodika stanovení radonového indexu pozemku*. 1. vyd. Praha: Česká geologická služba, 2004. 48 s. ISBN 80-7075-616-0
17. ÖSTERREICHER, J., VÁVROVÁ, J. *Přednášky z radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus, 2003.
18. SINGER, J., HEŘMANSKÁ, J. *Principy radiační ochrany*. 1. vyd. České Budějovice: ZSF JU, 2004. 111 s. ISBN 80-7040-708-5
19. SÚJB a SÚRO. *Zpráva o plnění úkolů Radonového programu České republiky v roce 2001*. Praha, březen 2002.
20. SÚJB. Doporučení: Metodika pro stanovení radonového indexu pozemku. Praha, 2004
21. SÚJB. Doporučení: *Požadavky radiační ochrany pro organizace provozující hornickou činnost, která může vést k ozáření pracovníků, obyvatel nebo životního prostředí*. In: Radiační ochrana. Praha: SÚJB, listopad 2003. ISBN 80-7073-092-7
22. SÚJB. *Zpráva o plnění úkolů Radonového programu České republiky za léta 2000 – 2004*. Praha: SÚJB, říjen 2005. 15 s.
23. SÚRO: *RADON bulletin*. Praha: SÚRO, 1999-2007
24. SÚRO: *RENTGEN bulletin*. Praha: SÚRO, srpen 2006
25. SÚRO: *RENTGEN bulletin*. Praha: SÚRO, červen 2005
26. SÚRO: *RENTGEN bulletin*. Praha: SÚRO, září 2001
27. SÚRO. *Výroční zpráva o činnosti za rok 2004*. Praha: SÚRO, 2004. 41 s. Kapitola 3, Odbor přírodních zdrojů, s. 21–29.
28. SÚRO. *Výroční zpráva o činnosti za rok 2005*. Praha: SÚRO, 2005. 60 s. Kapitola 3, Odbor přírodních zdrojů, s. 28-36.

29. SÚRO. *Zpráva o činnosti 1998 – 2003*. Praha: SÚRO, listopad 2003.
30. Světová zdravotnická organizace. *Radon*. Přel. K. Markvart. Praha: Státní zdravotní ústav, 1996. 24 s. ISBN 80-7071-066-7
31. THOMAS, J. Radon v bytě. In: *Manuál prevence k lékařské praxi*. 1. vyd. Praha: Státní zdravotní ústav, 1996. ISBN 80-7168-302-7. Kapitola 2.1.5, s. 41-46.
32. THOMAS, J. *Vliv radonu na zdraví člověka*. Praha: SÚJB
33. VLČEK, J. *Obsah přírodních radionuklidů ve vodě dodávané do veřejných vodovodů*. Praha: SÚRO.
34. Vyhláška Ministerstva financí č. 461/2005 Sb., o postupu při poskytování dotací na přijetí opatření ke snížení ozáření z přírodních radionuklidů ve vnitřním ovzduší staveb a ke snížení obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě pro veřejné zásobování, s platností od 1.1. 2006.
35. Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.
36. Vyhláška SÚJB č. 462/2005 Sb., o distribuci a sběru detektorů k vyhledávání staveb s vyšší úrovní ozáření z přírodních radionuklidů a stanovení podmínek pro poskytnutí dotace ze státního rozpočtu, s platností od 1.1. 2006.
37. Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a o změně a doplnění některých zákonů.
38. Česká geologická služba [online]. Poslední revize 5.4.2008 [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <<http://www.geology.cz/extranet>>.
- 38.1 Česká geologická služba [online]. Radonové mapy [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <http://nts2.cgu.cz/aps/CD_RADON50/index/aplikace.htm>.
- 38.2 Česká geologická služba [online]. Radonové riziko na území ČR. [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <http://nts5.cgu.cz/website/new_radon/>.
- 38.3 Česká geologická služba [online]. GeoINFO. [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <<http://nts5.cgu.cz/website/GEOinfo/>>.
39. <http://cs.wikipedia.org> [cit. 2008-04-05]
40. Radion [online]. [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <<http://www.radion.cz>>.

41. Radon Levels for Utah [online]. [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <<http://ut-radon.info/>>.
42. Radon v.o.s. [online]. Poslední revize 29.8.2006 [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <<http://www.radon-vos.cz>>.
43. RDMservis[online]. [cit.2008-04-05]. Dostupné z <<http://www.radon-servis.cz>>.
44. SÚJB [online]. Poslední revize 21.3.2008 [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <<http://www.sujb.cz>>.
45. SÚRO [online]. [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <<http://www.suro.cz>>.
- 45.1 Přírodní radioaktivita a problematika radonu [online]. [cit. 2008-04-05]. Dostupné z <<http://www.suro.cz/cz/prirodnioz>>.

8. KLÍČOVÁ SLOVA

radon

přírodní záření

přírodní radioaktivita

poločas rozpadu

radonový index pozemku























objemová aktivity radonu

ochranná opatření

9. PŘÍLOHY

- Příloha 1 Legenda k mapě geologického podloží (obr. 1.5.)
- Příloha 2 Legenda k mapě radonového rizika (obr. 1.6.)
- Příloha 3 Protokol optimalizace řešení ke snížení objemové aktivity radonu
v dodávané vodě
- Příloha 4 Radonový leták – Proč měříme radon (informace o průzkumu
v objektech)
- Příloha 5 Dotazník pro průzkum radonu v objektech pomocí stopových detektorů
- Příloha 6 Legenda k mapě radonového indexu

Příloha 1 Legenda k mapě geologického podloží (obr. 1.5.)

LEGENDA	
	zlom zjištěný
	zlom předpokládaný
	diority a gabra, assyntske a variske
	granitoidy assyntske (žuly, granodiority)
	granodiority až diority (tonalitová řada)
	jednotvárná série moldanubika (svorové ruly, pararuly až migmality)
	kvarter (hlíny, spraše, písky, štěrky)
	mezozoické horniny (pískovce, jílovce)
	mezozoické horniny alpinsky zvrásněné (pískovce, břidlice)
	ortoruly, granulity a velmi pokročilé migmality v moldanubiku a proterozoiku
	paleozoické horniny zvrásněné a metamorfované
	paleozoické horniny zvrásněné, nemetamorfované (břidlice, křemence, vápence, droby)
	permokarbonské horniny (pískovce, slepence, jílovce)
	pestrá série moldanubika (svorové ruly, pararuly až migmality s vložkami vápenců, ertanu, kvarcitu, grafitu a amfibolitu)
	proterozoické horniny assyntsky zvrásněné, s různě silným variským přepracováním (břidlice, fylity, svory až pararuly)
	tercierní horniny (písky, jíly)
	tercierní horniny alpinsky zvrásněné (pískovce, břidlice)
	tmavé granodiority, syenity (durbachitová řada)
	ultrabazity v moldanubiku a proterozoiku
	vulkanické horniny tercierní (cedice, fonolity, tufy)
	vulkanické horniny zčásti metamorfované, proterozoické až paleozoické (amfibolity, diabasy, metafyry, porfyry)
	žuly (granitová řada)

Příloha 2 Legenda k mapě radonového rizika (obr. 1.6.)



Příloha 3 Protokol optimalizace řešení ke snížení objemové aktivity radonu
v dodávané vodě [od: Ing. Jaroslav Klíma CSc.]

Zdravotní ústav se sídlem v Českých Budějovicích, pobočka Jindřichův Hradec
Bezručova 857/H, 377 01 Jindřichův Hradec, 8 387 712 520, §387 712 541

Obec [REDACTED]

Věc: optimalizace řešení ke snížení objemové aktivity radonu.

Vyhláška 307/2002 Sb. uvádí v § 17, že pokud je překročena směrná hodnota veličiny (v našem případě objemové aktivity radonu ve vodě) je nutno vyhodnotit, zda přínosy provedení opatření (zde snížení objemové aktivity radonu (dále jen OAR) v dodávané vodě) budou vyšší, než náklady spojené s provedením těchto opatření.

Dle platných Doporučení SÚJB „Metodiky měření a hodnocení...“ (ÚJI Zbraslav, září 1998) se pro hodnocení ozáření obyvatel z radonu uvolněného z vody použije konverzního faktoru 0,003 mSv/rok na 1 Bq/l. Vyčíslí se kolektivní úvazek efektivní dávky způsobený používáním vody S_0 .

Zpracuje se seznam možných opatření vedoucích ke snížení OAR. Zpravidla se za optimalizační opatření nepovažuje zastavení dodávek vody, nýbrž vhodná úprava vody nebo náhrada zdroje.

Pro každé opatření se odhadnou průměrné roční náklady potřebné pro jejich realizaci ní v aktuálních cenách platných v roce provádění výpočtu.

Pro každé z opatření se vyčíslí kolektivní úvazek efektivní dávky S_i

$$S_i = S_0 \times a_i / a_0$$

Kde:

a_i = objemová aktivita po provedení opatření

a_0 = objemová aktivita před provedením opatření

Pro každé opatření se vyčíslí roční přínos vyjádřený jako finanční hodnota roční uspořené dávky – P_i

$$P_i = 500\,000 \times (S_0 - S_i)$$

$$\text{Konstanta } 500\,000 \text{ Kč/Sv} = 500 \text{ Kč/mSv}$$

Pokud jsou náklady na realizaci opatření N_i větší než přínos P_i nemusí se dle posledního znění § 6 zákona 18/1997 Sb. (Atomový zákon) opatření ke snížení obsahu radonu provádět.

Z vodního zdroje obce [REDACTED] je celkem zásobováno 100 lidí. Výsledkem měření byla hodnota OAR 110 Bq/l. Poněvadž odradonovací zařízení pro vodu pracují s účinností 90 %, byla by dosažená hodnota objemové aktivity radonu 11 Bq/l.

$$S_0 = 100 \times 0,003 \times 110 = 33 \text{ mSv/rok}$$

pro všech 100 lidí využívajících zmíněný zdroj.

Po úpravě vody by mělo být dosaženo 11 Bq/l. Pak

$$S_i = 100 \times 0,003 \times 11 = 3 \text{mSv/rok}$$

Tudíž finanční hodnota uspořené dávky

$$P_i = 500 \times (33 - 3) = 15000 \text{ Kč/rok}$$

Požizovací hodnota zařízení pro odradonování vody bude cca 150 000 Kč s odpisy rozloženými do deseti let. Příkon elektrického proudu na zařízení pro odstraňování radonu z vody a na odvětrání prostoru, v němž by bylo umístěno lze odhadnout na 1 kW. V provozu by muselo být zařízení 24 hodin denně. Dále bude třeba malá údržba zařízení různého rozsahu podle typu zařízení. Obec by musela vybudovat elektrickou přípojku v délce 1 km. Náklady na ni nelze kvalifikovaně odhadnout, ale mohly by dosáhnout i 1 000 000 Kč.

Roční náklady (bez přípojky elektřiny) je možné odhadnout takto:

Odpisy z pořizovací hodnoty zařízení	15 000 Kč/rok
Platby za dodaný proud při ceně 4 Kč/kWh.....	35 000 Kč/rok
Plat obsluhy 1000 Kč/měsíc.....	12 000 Kč/rok
Další náklady na instalaci, opravy a údržbu	6 000 Kč/rok
Celkem	68 000 Kč/rok

Protože finanční hodnota uspořené dávky není v mezích tohoto jednoduchého odhadu větší než náklady spojené s úpravou vody nemusí se zásah k odstranění radonu dle posledního znění § 6 odst. 2 Zákona 18/1997 (Atomový zákon) provádět.

J.Hradec, 19.4. 2005

Ing. Jaroslav Klíma CSc. ZU Č. Budějovice Pobočka J.Hradec
Příloha: Propočet hodnot

**Podklady pro rozhodnutí o provedení protiradonových opatření na
vodním zdroji na základě měření objemové aktivity radonu ve vodě**

finanční ekvivalent Sv (Kč/Sv)

500 000,00

Místo: [REDACTED]	
Počet obyvatel	100
Objemová aktivita radonu ve vodě (Bq/l)	110
Objemová aktivita radonu ve vodě po úpravě vody (Bq/l)	11
Dávkový konverzní faktor pro obydlí (mSv/rok) / (Bq/l)	0,003
Kolektivní úvazek efektivní dávky bez úpravy (mSv/rok)	33
Kolektivní úvazek efektivní dávky po úpravě (mSv/rok)	3
Finanční hodnota uspořené kolektivní dávky (Kč/rok)	14 850,00
Náklady na pořízení zařízení k odradonování vody	150 000,00
Desetileté odpisy ze zařízení na odradonování (Kč/rok)	15 000,00
Platby za dodaný proud při ceně 4 Kč/kWh	35 000,00
Plat obsluhy 1 000 Kč/měsíc	12 000,00
Další náklady na instalaci, opravy a údržbu (Kč/rok)	6000,00
Celkem	68 000,00

Roční bilance = (Uspořená dávka) - (Náklady celkem)


-53 150,00

Je-li Roční bilance menší než nula není třeba odradonování provádět na základě § 6 odst. 6 Zákona 18/1997 Sb. v posledním znění a § 17 odst. 3 Vyhlášky 307/2002 Sb.

Jindřichův Hradec, 19.4.2005

Ing Jaroslav Klíma CSc.
ZÚ Č.Budějovice
pobočka J. Hradec

Příloha 4 Radonový leták – Proč měříme radon (kap. 1.7.1.1)



STÁTNÍ ÚSTAV RADIČNÍ OCHRANY Praha
www.suro.cz

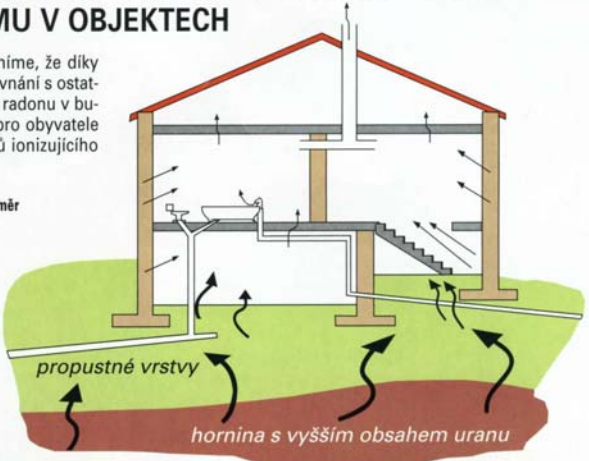
Proč měříme radon

INFORMACE O PRŮZKUMU V OBJEKTECH

Smysl průzkumu je zřejmý, když si uvědomíme, že díky půdnímu podloží má Česká republika v porovnání s ostatními zeměmi jedny z nejvyšších koncentrací radonu v budovách. Průměrné dávky ozáření z radonu pro obyvatele významně převyšují úroveň z dalších zdrojů ionizujícího záření - viz obrázek.

Rozdělení dávek ozáření obyvatelstva - celoživotní průměr

radon v budovách (průměrné)	49 %
přírodní radionuklidy v těle člověka	9 %
gamma ze Země	17 %
spad Černobyl	0,3 %
kosmické záření	14 %
lékařské	11 %
ostatní	0,13 %
včetně jaderných zařízení	0,04 %



Radon

je přírodní radioaktivní plyn, který do budov proniká:

- **ze země** (různými otvory, prasklinami a netěsnostmi v konstrukci staveb)
- **z nevhodného stavebního materiálu** (jde o materiály vyrobené z některých popelků či škváry)
- **z podzemní vody** (uvolňuje se do ovzduší místnosti při mytí, vaření a praní)

Doporučené hodnoty

Koncentrace radonu nemá překročit hodnotu (objemovou aktivitou radonu):

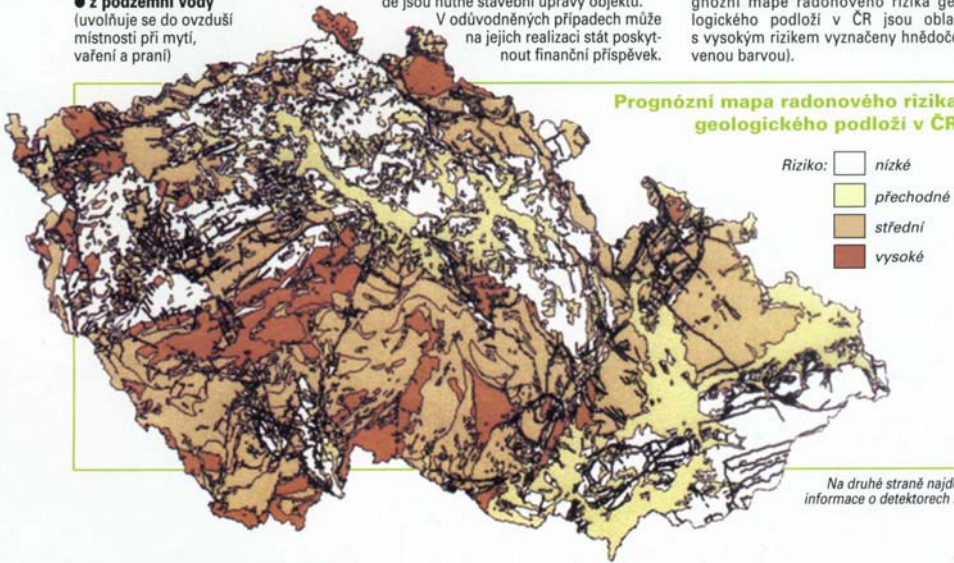
- ve stávajících budovách **400 Bq/m³**
- v novostavbách **200 Bq/m³**

Při překročení uvedených hodnot se doporučují vhodná opatření. Někdy postačí zvýšit přirozené nebo nucené větrání, jinde jsou nutné stavební úpravy objektu. V odůvodněných případech může na jejich realizaci stát poskytnout finanční příspěvek.

Cíl průzkumu

Za aktivní pomoci obyvatel vyhledat budovy, v nichž koncentrace radonu v ovzduší převyšuje doporučené hodnoty. Na základě měření pomocí detektorů je majitel postižených objektů informován o možných opatřeních ke snížení koncentrace radonu na únosnou míru. Průzkum je zaměřen především na oblasti značného radonového rizika (na prognózní mapě radonového rizika geologického podloží v ČR jsou oblasti s vysokým rizikem vyznačeny hnědočervenou barvou).

Prognózní mapa radonového rizika geologického podloží v ČR



Riziko: nízké
 přechodné
 střední
 vysoké

Na druhé straně najdete informace o detektorech ...

DETEKTOR A JEHO UMÍSTOVÁNÍ



Princip detektoru

Na dně měřicí komory (tzv. detektoru RAMARN) je umístěn stopový detektor. Detektor slouží ke stanovení průměrné roční koncentrace radonu v ovzduší místnosti. Radon, který snadno proniká stěnami i víčkem do měřicí komory, vysílá při svém radioaktivním rozpadu uvnitř komory částice alfa, které zanechávají neviditelné stopy v červené měřicí folii ve stopovém detektoru. Čím větší koncentrace radonu a čím déle je detektor v místnosti, tím více stop v detekční folii. Po speciálním chemickém leptání detektoru lze zmíněné stopy vidět pod mikroskopem. Z jejich počtu a z doby, po kterou byl detektor v místnosti, lze stanovit průměrnou koncentraci radonu v místnosti.

Kde a na jak dlouho

Detektor se umísťuje na dobu **1 rok v trvale** užívaných obytných místnostech bytu (v kuchyních, obývacích pokojích, ložnicích, dětských pokojích).

Detektory neumísťujte do koupelny, sklepa či na WC!

Detektory umístěte přednostně do obytných místností:

- méně větraných
- které jsou v přímém kontaktu s podlahou
- se špatnou izolací od země
- případně takových, kde je použit stavební materiál podezřelý z hlediska radioaktivity

Jak detektor umístit

Detektor zkontrolujte, zda není poškozen (např. zda není prasklá plastová měřicí komůrka nebo zda není odlepen stopový detektor ze dna komůrky. Pokud k poškození došlo, kontaktujte nás prosím telefonicky na níže uvedené číslo).

Detektor postavte ve svislé poloze do míst, kde bude během roku chráněn před přímým slunečním svitem a před poškozením, např. na skříň apod.

Detektor nedávejte do míst, kde se dá očekávat ovlivnění prouděním vzduchu, tj. nedávejte jej do blízkosti oken ani dveří.

Při umístění detektoru vyplňte dotazník a zkontrolujte správné vyplnění čísla detektoru.



Na co je třeba dát pozor

Měřicí komůrka RAMARN musí být dobře uzavřena víčkem.

Pokud byste ze zvědavosti detektor otevírali a prohlíželi si co je uvnitř, nedotýkejte se v žádném případě červené detekční folie, komoru ihned uzavřete pečlivě víčkem.

Poznamenejte si, kdy jste detektory umístili !

Co s detektorem po roce

Po roce budete vyzváni, abyste detektor (celou měřicí komoru) odevzdali tomu, kdo ve vašem kraji měření organizuje. Výsledky měření obdržíte písemně, přibližně za 3 měsíce.

V případě pochyb se obraťte na **STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY**
Hradec Králové, Piletická 57, 500 03, tel.: 495 211 487
Praha 1, Senovážné nám. 9, tel.: 221 624 737.

Radonová studie ve vybraných obcích Jihočeského kraje – měření, analýza výsledků a vnímání rizika obyvateli

+ Místnosti objektu		+ Datum vyřášení detektoru	
Č.	Kód K - kuchyně P - pokoj L - ložnice R - pracovna T - třída J - jiná obytná místnost	Blíže / identifikace	Datum vyřášení detektoru
Např.	P	DĚTSKÝ POKOJ	den měsíc rok 02 03 00
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Podlaží	Převažující stavební materiály	Kontakt s podlažím	Rok dokončení stavby (alespoň odhad)	Těsnost oken	Větrání	Číslo detektoru
S - suterén P - přízemí 1 - 1. posch. 2 - 2. posch. 3 - 3. posch. 4 - 4. posch. V - vyšší R - potažení posch.	B - beton C - cihla D - dřevo 1 - 1. posch. 2 - 2. posch. 3 - 3. posch. 4 - 4. posch. V - vyšší R - potažení posch.	A - ano N - ne	1923	M	I	2945678

Příloha 6 Legenda k mapě radonového indexu



Přechodný index znamená, že půda vykazuje rozdílné vlastnosti a nejde s přesností zařadit do určité kategorie. Většinou jsou to sedimenty, které jsou pro všechny látky různě propustné. Proto ve svých výsledcích přiřazují obcím, které leží v přechodném indexu, takovou kategorii radonového indexu (nízký, střední, vysoký), která k obci přiléhá nebo jí obklopuje.

