

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petra Klimperová

Územní technická a správní služba

Název práce

Radon a jeho rozpadové produkty v ovzduší a jeho vliv na životní prostředí a zdraví obyvatel

Název anglicky

Radon and its decay products in the atmosphere and its influence on the environment and human health?

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je představit a zhodnotit problematiku radonu v obytných budovách, jeho vliv na životní prostředí a lidské zdraví. Popsat vznik tohoto vzácného plynu a jeho pronikání do lidských sídel, zaměřit se na způsoby měření radonu v obytných místnostech, v této souvislosti představit Radonový program ČR 2010 – 2019 – Akční plán, nastínit možnosti ochrany obytných budov, jako preventivní zabezpečení před negativním působením tohoto plynu na lidské zdraví a kvalitu životního prostředí.

Vzhledem k výše uvedenému jsem si stanovila tyto cíle :

- 1) Popsat teorii vzniku radonu a jeho transportu do ovzduší.
- 2) Metody měření koncentrace radonu v ovzduší.
- 3) Možnosti ochrany před negativními účinky radonového záření.
- 4) Negativní dopady záření na životní prostředí, především se zaměřením na lidské zdraví.
- 5) Aplikovat všechny získané znalosti na praktickém pokusu ve 4 budovách.

Metodika

Bakalářská práce se skládá z části teoretické a následně části praktické, ve které došlo k měření radonu ve čtyřech obytných prostorech.

Doporučený rozsah práce

cca 30 normovaných stran textu

Klíčová slova

riziko, budova, protiradonové opatření, radonový program, zdroje radonu, dceřinné produkty, zdravotní důsledky, radon measures, source of radon

Doporučené zdroje informací

- Barnet, I. Mikšová, J. (2002) Geological support to the National Radon
Barnet, I. Pacherová, P. Neznal, Martin Neznal Matěj (2008): Radon in
Barnet, I. (1992): Radonové riziko České republiky, MŽP ČR
Barnet, I. (1993): Problémy objektivního hodnocení radonového rizika
Barnet, I. (1993): Radon risk research in the Czech Republic. In: Zprávy o geologických výzkumech v roce 1992
Barnet, I. (1994): Radon risk classification for building purposes in the Czech Republic. In: Radon investigations in the Czech Republic V and the second international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. ČGÚ. Praha
Barnet, I. (2004): Indoor radon related to uranium in granitoids of the Central Bohemia plutonix complex. 4th European Conference on Protection against Radon at Home and at Work. Czech Techn. Univ. Prague
Benada J. (2010): Stanovení hmotnostní aktivity 226Ra. MS Kutná Hora
Berka, Z.: Základy a principy detekce radonu. Praha : ČVUT Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Collaborative Anallysis of individual data from 13 European case-control
Darby S., et al. Residential Rado and Lung Cancer:Detailed Results of a Geological Enviroment Czech Republic. Czech geological survey special inhalaci dceřinných produktů radonu. Čs. hygiena 36
Jiránek M., (2000) Izolace proti radonu. Návrh a pokládka izolací v nových
Jiránek M., (2000) Opatření proti radonu ve stávajících budovách. SÚJB
Jiránek, M., Pospíšil, S. (1993).: Radon a dům. 1. vyd., Praha.
Lovborg L. (1984): The calibration of portable and airborne gamma-ray spectrometers – theory, problems, and facilities. Denmark
Matolín, M. (1970) Radioaktivita hornin Českého masivu. Ústřední ústav geologický. Praha
Neznal et al. (2004) Nová metodika stanovení radonového indexu pozemku. ČGÚ Praha
Neznal, M. Neznal, M. (2007) Vstupní měření radonového indexu před
Neznal, M. (2004): International intercomparison measurement of soil-gas radon concentration, of radon exhalation rate from building materials and of radon exhalation rate. papers. Praha.
Petrová K. (2009) Radon v příštím desetiletí. In: RADON bulletin 7/2009. SÚJB Praha 52
Praha.
Programme .Bulletin of the Czech Geological Survey
stavbách. SÚJB Praha
studies. BMJ 2005
SÚJB (2004) Metodika pro stanovení radonového indexu pozemku ". SÚJB Praha
Škaloud, J. (2010) Radon-zdroj strachu, nemoci i zdraví. In: Nová REGENA
Švec J., Kunz E., Plaček V. (1976) Lung cancer in uranium miners after long-
Švec, J., Tomášek, L., Plaček, V., (1991) Riziko zhoubného novotvaru plic při term exposure to radon daughter products. In:Healt phys 30
Thomas J.,(2009) : Radon a veřejné zdraví ve světě In: RADON bulletin
Tylová, E. (1994): Radon program – a part of the environmental protection program in the Czech Republic. In: Radon investigations in the Czech Republic V and the second international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. ČGÚ. Praha.
výstavbou nových budov. In: Bezpečnost jaderné energie. Praha



Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2015

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 13. 04. 2015

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního
prostředí**

**Radon a jeho rozpadové produkty
v ovzduší a jeho vliv na životní prostředí a
zdraví obyvatel**

Radon and its decay products in the atmosphere and its
influence on the environment and human health

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor bakalářské práce: Petra Klimperová

Vedoucí bakalářské práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Praha 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. V práci jsem uvedla všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze

23.3.2015

.....

vlastnoruční podpis

Poděkování

Děkuji doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D., za pomoc při vypracování mé bakalářské práce. Zároveň děkuji Ing. Ivaně Fojtíkové a Zdence Kreslové, za jejich ochotný přístup a cenné informace z dané problematiky.

Abstrakt

Náplní bakalářské práce bylo shrnutí důležitých poznatků z radonové problematiky v ČR, se zaměřením na životní prostředí a zdraví obyvatel. Popis radonu a jeho rozpadových produktů a vznikajícího ionizujícího záření, se zaměřením na vliv na živé tkáně. Vliv radonu na životy lidí uvnitř budov, způsob pronikání a měření radonové koncentrace, úloha státu v otázkách radonové problematiky a nastínění možností ochrany.

Klíčová slova: riziko, budova, protiradonové opatření, radonový program, zdroje radonu, dceřiné produkty, zdravotní důsledky, radon measures , source of radon.

Summary

The aim of this thesis was to summarize important findings from radon problems in the Czech Republic, with a focus on the environment and human health. Description of radon and its decay products, and the resulting ionizing radiation, focusing on the effect on living tissue. Effect of radon in people's lives indoors, mode of attack and measure radon concentration, the role of the state in matters radon problems and offer possible protection.

Key words : risk, building, radon measures, radon programe, sources of radon, daughter products, health consequences, radon measures , source of radon.

1. Úvod.....	6
1.1 Cíl práce	7
1.2 Metodika	8
2. Radon	9
2.1 Vlastnosti radonu a jeho charakteristika.....	9
2.2 Historie objevení a zkoumání.....	9
2.3 Vznik radonu a výskyt radonu.....	10
2.4 Radon a jeho vliv na zdraví člověka	12
3. Ionizující záření.....	13
3.1 Druhy záření	13
3.1.1 Záření alfa.....	14
3.1.2 Záření beta	14
3.1.3 Záření gama	14
3.1.4 Záření neutronové	14
3.1.5 Záření rentgenové	14
3.2 Biologické účinky záření.....	16
4. Zdroje radonu v objektech	18
4.1 Radon v objektech z geologického podloží.....	18
4.2 Radon ve stavebních materiálech	19
4.3 Radon ve vodě	20
5. Měření radonu	22
5.1 OAR v půdním vzduchu.....	22
5.2 Měření radonu v ovzduší budov	26
5.2.1 Elektrotové dozimetry.....	26
5.2.2 Kontinuální monitory.....	27

5.2.3 Stopové detektory	28
5.2.4 Integrální měření.....	29
5.2.5 Kontinuální měření	29
6. Protiradonová opatření	29
6.1 Protiradonová opatření při výstavbě.....	29
6.1.1 Ochrana staveb na pozemku s nízkým radonovým rizikem	29
6.1.2 Ochrana staveb na pozemku se středním radonovým rizikem	30
6.1.3 Ochrana staveb s vysokým radonovým rizikem	31
6.2 Protiradonová opatření u stávajících staveb	32
6.2.1 Opatření proti radonu z podloží	32
6.2.2 Opatření proti radonu ze stavebních materiálů	34
6.2.3 Opatření proti radonu z vody	34
7. Legislativní opatření v ČR	35
7.1 Akční plán	35
7.1.1 Struktura akčního plánu	36
7.1.2 Výsledky radonového programu 2000 - 2009	39
8. Výzkumná část	41
9. Diskuze.....	51
10. Závěr	52
Literatura	55
Internetové zdroje.....	57
Právní předpisy	57

1. Úvod

Předkládána bakalářská práce se zabývá problematikou radonu a jeho rozpadových izotopů, se zaměřením na vliv na životní prostředí a především tak na zdraví obyvatel. Radon se rozpadá na izotopy polonia a vizmutu (prvky kovové povahy), které se vážou na další prvky v ovzduší a při dýchání ulpívají na plicní výstelce a způsobují tak rakovinové bujení.

Bakalářská práce bude v první části obsahovat teoretické shrnutí znalostí a poznatků formou literární rešerše, ve které se zaměřím na samotný popis radonu v rámci chemických výzkumů, na jeho vznik a cestu z geologického podloží do ovzduší a vod a jeho následné chemické reakce a rozpady na dceřiné produkty. Zmíním také využití radonu v lékařství. Popíši radon a jeho vliv na znečištění vod a především se zaměřím na radon a jeho negativní vliv na zdraví obyvatel v ovzduší v jejich obydlí. Zaměřím se na jednotlivé způsoby měření koncentrace radonu v budovách, jeho hodnocení a možná opatření při zvýšené koncentraci. V této souvislosti zmíním i legislativní opatření ČR, konkrétně Radonový program, schválený usnesením vlády dne 31.5.1999 pod č.538/1999. Tento program byl ukončen roku 2009 a jeho nástupcem je Akční plán, který je platný v letech 2009 - 2019.

V praktické části budu aplikovat získané znalosti z teoretické části do pokusu v oblastech, které jsou na středně-až vysokém stupni ohrožení geologického podloží. Ve Středočeském kraji a Vysočině byly vytipovány čtyři obytné budovy, ve kterých došlo ke změření množství koncentrace radonu ve vnitřním ovzduší jednotlivých

budov. Popíši postup měření, porovnáám jednotlivé výsledky mezi sebou a na základě získaných výsledků zhodnotím celou situaci a případně se pokusím navrhnout další postup.

V závěru shrnu získané poznatky jak z literární rešerše, tak i z vlastního pokusu.

1.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je popsat a zhodnotit situaci nebezpečí radonového ozáření v životním prostředí v České republice, především v budovách. Zaměřím se na popis tohoto prvku, jeho vznik, rozpadové částice a druhy záření, zvláštní pozornost budu věnovat vstupu radonu na povrch země a jeho negativní dopad na životní prostředí a zdraví obyvatel uvnitř budov.

Stanovila jsem si tyto dílčí cíle :

1. Popsat radon z chemického hlediska, využití a negativní dopad radonového záření na životní prostředí a zdraví obyvatel.
2. Popsat způsob vniknutí záření do budov, jeho měření, hodnocení a možná technická opatření.
3. Legislativní opatření v ČR.
4. Aplikace znalostí z teorie do praktického pokusu v budovách oblasti Vysočiny a Středočeského kraje.

Přínosem bakalářské práce je ujasnění si dané problematiky, zvláště pak zdůraznit rizika v souvislosti s životním prostředím a zdravím obyvatel, která radonová problematika přináší. Je potřeba si také uvědomit, že bychom si na tyto věci měli při výstavbě a při koupě budov dávat velký pozor a nijak je nepodceňovat, jelikož mohou způsobit těžké zdravotní komplikace.

1.2 Metodika

Předkládaná bakalářská práce o radonu a jeho rozpadových produktech a jeho vlivu na životní prostředí a zdraví obyvatel je především rešeršního charakteru. Byla vypracována sběrem a tříděním informací z tištěných publikací: knih, odborných časopisů, článků, diplomových a dizertačních prací. Dále jsem sbírala a třídila informace z online zdrojů. Informace byly hledány na základě klíčových slov a byly shrnuty dle dílčích cílů práce. Úvodní teoretická část se zabývá samotnou problematikou radonu, jeho rozpadem, druhy záření a možnostmi využití jednotlivých druhů záření. Popisuji způsob pronikání radonu z podloží na zemský povrch a následně pak do budov. Dále se pak zaměřuji na negativní dopad záření na životní prostředí a zdraví obyvatel a největší pozornost pak obracím k problematice radonu v ovzduší. Zmiňuji možnosti měření objemové koncentrace radonu v budovách a možná technická opatření, která jsou při vysokých hodnotách nutná podstoupit. Při realizaci těchto opatření popisuji legislativní působení státu v problematice, konkrétně Radonový program, schválený usnesením vlády dne 31.5.1999 pod č.538/1999. Tento program byl ukončen roku 2009 a jeho nástupcem je Akční plán, který je platný v letech 2009 - 2019.

V druhé části jsem vybrala na základě mapových podkladů geologické prognózy mapy radonového indexu Státního ústavu radiační ochrany, oblast kraje Vysočina a kraje Středočeského, 4 obytné budovy, které se nacházejí ve středním až vysokém stupni ohrožení objemové koncentrace radonu v podloží. V budovách jsem v roce 2014 v měsících březen - květen provedla měření objemové aktivity radonu a v práci hodnotím vliv geologického podloží a použitého stavebního materiálu budovy, případně použití protiradonových opatření při výstavbě na získané výsledky.

Část teoretickou i výzkumnou doplňuji mapovými, fotografickými a statistickými podklady, pro lepší interpretaci dat a poznatků.

2. Radon

2.1 Vlastnosti radonu a jeho charakteristika

Radon, latinsky radonum, chemická značka Rn, je přírodní, jednoatomový radioaktivní plyn, který je těžší než vzduch. Je to plyn bez chuti a zápachu, vzniká radioaktivním rozpadem radia (Ra) a uranu (U), za vzniku záření alfa.

Radon nemá žádný stabilní izotop, momentálně známe asi 20 izotopů nestabilních. Je rozpustný ve vodě a v nepolárních organických rozpouštědlech. Chemické sloučeniny s kyslíkem, fluorem, chlorem jsou nestálé a jsou to mimořádně silná oxidační činidla. S jinými prvky chemické sloučeniny nevytváří. V periodické soustavě radon nalezneme v VIII.A skupině, jako tzv. vzácné plyny. Ve skupině vzácných plynů společně s radonem nalezneme neon, argon, krypton a xenon. (Bronzová, Prokopec 2010).

2.2 Historie objevení a zkoumání

Radon byl objeven v roce 1900 Friedrichem Ernestem Dornem a byl pojmenován jako radonová emanace. V roce 1910 se zkoumáním radonové emanace zabýval William Ramsay, který určil hustotu a atomovou hmotnost. Navrhl název svítící - niton Nt. Název byl do roku 1923 ještě několikrát změněn, ale od roku 1923 se používá označení Radon - Rn. (Holzbecher 1974).

Radon byl tedy sice jako vzácný plyn objeven až ve 20.století, ale první zmínky o škodlivých účincích radonu pocházejí již z konce středověku. V 16.století lékař Paracelsus (vlastním jménem Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim) již pozoroval specifickou nemoc u horníků ve stříbrných dolech v německém Schneebergu a v Jáchymově. Tuto nemoc označil jako hornickou nemoc. V 19.století byla tato nemoc diagnostikována jako dnes známá rakovina plic. V roce 1952 nezávislé studie W. F. Bale (USA) a českého lékaře F. Běhounka, popsaly příčiny vzniku rakoviny plic. Tato nemoc vzniká vdechnutím krátkodobých produktů přeměny radonu a ulpíváním těchto částic na plicní výstelce. Na základě tohoto

objevu se začaly zkoumat míry ohrožení horníků tímto faktem a proběhla řada epidemiologických výzkumů, které v ČR organizoval J.Švec. V dalších letech docházelo k většímu zkoumání dané problematiky v dalších státech a pozornost se ubírá nejen k horníkům uranových dolů, ale také k obyvatelstvu a nebezpečí ozáření radonem v lidských obydlích. Řada států vypracovala protiradonové programy a provedla další studie. Na základě studií provedených v Severní Americe (Krewski 2005, 2006), v Evropě (Darby 2005, 2006) a i v Číně (Lubin 2004), je v současné době dokázané, že je vznik rakoviny plic z ozáření krátkodobé přeměny produktů radonu, u nekuřáků nejčastější příčinou této nemoci. (Neznal M., Neznal M. 2009).

2.3 Vznik radonu a výskyt radonu

Radon vzniká jako dceřiný produkt uranovou přeměnovou řadou. Radon ^{222}Rn je dceřiným produktem uranu ^{238}U , s poločasem rozpadu 3,86 dne. Radon ^{222}Rn se dále rozpadá na dceřiné produkty : polonium ^{218}Pb , olovo ^{214}Pb , vizmut ^{214}Bi , polonium ^{214}Po . (Hampl 2008).

Množství koncentrace radonu v půdním vzduchu, je tedy závislé na obsahu uranu v podloží. Usazené horniny (vápence, evapority, pískovce), mají množství koncentrace radonu nižší, oproti přeměněným horninám. Žula, durbachit, syenit, granit, horniny vzniklé sopečnou činností, mají množství koncentrace uranu nejvyšší. Horniny přeměněné, vzniklé dlouhým geologickým vývojem, mají množství koncentrace uranu nejvyšší. (bakalářka Hampl Brno 2008). Střední koncentraci uranu nalezneme v horninách metamorfovaných. Z hornin se radon ^{222}Rn na povrch do ovzduší dostává dvěma cestami: difuzí a konvekcí. (Matolín 1970). Difuze je pomalý způsob přemístování radonu, maximální vzdálenost přemístění je v tomto případě 10 m. Vzniká pohybem molekul a atomů z míst z vyšší koncentrací do míst s nižší koncentrací, na základě působení tepla. Jedná se tedy o tepelný pohyb. Difuze je ovlivněna ještě dalšími faktory: teplota, pórovitost, nasycení pórů kapalinou a uspořádání částic hornin.

Tab. 1 Měrná aktivita ²²⁶Ra v horninách

Hornina	ARn / Bq.m-3 /	Hornina	ARn / Bq.m-3 /
Žula	75 – 150	Spraš	30 - 50
Znělec	65 – 135	Vápenec	30 - 35
Granodiorit	50 – 140	Čedič	15 - 40
Křemenec	5 – 180	Písek	kvě.30
Břidlice	35 - 130	Sádrovec	15
Rula	30 – 80	Dolomit	15
Porfyr	30 – 70	Opuka	10

Zdroj : <http://svp.muni.cz/ukazat.php?docId=310>

Konvekcí radon migruje rychleji než difuzí a i samotná vzdálenost transportu je delší. Pronikání radonu konvekcí je závislé na mnoha faktorech. Mimo tlak, pohyb podzemních vod je to také teplota a vlhkost půdy. Proto při tomto způsobu transportu je uváděn rozdíl v koncentraci uvolňovaného radonu v letním a zimním období. V letním období se uvádí pokles a v zimním nárůst. Na množství transportovaného radonu konvekcí má vliv i druh geologického podkladu. Písečné podloží propouští tento vzácný plyn snadněji, než podloží jílovité, které slouží jako bariéra a radon spíše hromadí pod horninou. (Barnet et al. 2007).

Po uvolnění z horniny tedy dále radon postupuje po zvětralých částech nebo zlomech směrem nahoru a uvolňuje se na povrch do vzduchu.

Jako produkt rozpadu jader thoria, radia a uranu, se radon nalézá ve vývěrech minerálních podzemních vod. Dále se radon může dostávat na povrch absorpcí do podzemní vody.(Bronzová, Prokopec 2010). Obsah radonu v podzemních vodách má své uplatnění v geologii, kdy podle obsaženého množství tohoto prvku můžeme určit stáří horniny. Vysoké množství koncentrace radonu v půdním vzduchu, může být ukazatelem na nerostné bohatství. (Šuráň 1998).

Radon se v zemské atmosféře vyskytuje ve velmi nízkých koncentracích, že rizika z jeho působení na životní prostředí jsou minimální. Nebezpečí nastává až v uzavřených budovách, kde se množství nakumuluje a negativně působí na zdraví člověka. Tyto prostory, tzv. pobytové prostory jsou místa sloužící k trvalému bydlení nebo pracoviště, kde člověk stráví více než 1000 hodin za rok. (vyhl. SÚJB č. 307/2002).

2.4 Radon a jeho vliv na zdraví člověka

Jak již bylo uvedeno v textu, radon sám o sobě pro člověka nebezpečný není, hrozbou jsou jeho rozpadové (dceřiné) produkty. Dceřiné produkty jeho přeměny polonium, olovo a vizmut jsou kovy, které se mohou pohybovat v atomárním stavu volně ve vzduchu a nebo se vázat na prachové částice a aerosoly. Jsou následně vdechovány, ulpívají na průduškách a plicní výstelce a další přeměnou ionizují a ozařují zmiňované tkáně. Tato přeměna je spojena především s alfa částicemi. Alfa částice mají vysoké ionizační schopnosti a mohou způsobit poruchu DNA¹. (Švec et al. 1991).

Volné rozpadové produkty jsou škodlivější, než rozpadové produkty vázané na aerosolech či prachových částicích. Atomární částice jsou lehčí, usedají hned v trocheobronchiální oblasti. Vázané částice dolétají do plicní výstelky, kde je ale ozáření menší, jelikož vzdálenost mezi sliznicí a vyzařující částicí je větší. Často jsou usazené prachové částice vykašlány. Vznik rakoviny plic je přímo úměrný koncentraci radonu a délce pobytu jedince v místnosti. Na samotný vývoj onemocnění pak má vliv i samotný jedinec: jeho zdravotní stav, věk, samočistící schopnost plic, rychlost dýchání. Rakovina plic, z důvodu ozáření rozpadových produktů radonu, je způsobena z 10 - 30 %.

V České republice se dle epidemiologických studií po dlouhodobém pobytu v obytných místnostech s vysokou koncentrací radonu, připisuje 900 úmrtí na rakovinu plic ročně (což je 16 % z celkové úmrtnosti). Epidemiologické studie dávají do porovnání nebezpečí vzniku karcinomu plic z důvodu inhalace dceřiných produktů radonu s nebezpečím vzniku karcinomu u kuřáků. (Neznal M., Neznal M. 2009).

¹ DNA = z anglického deoxyribonucleic acid, deoxyribonukleová kyselina

3. Ionizující záření

Na lidský organismus působí různé druhy záření. Záření je pojem, který můžeme definovat jako: šíření energie prostorem, které je možné i bez přítomnosti hmotného prostředí. Některá záření člověk může vnímat svými smysly, například záření tepelné, záření světelné a jiné záření je naopak lidskými smysly nezachytitelné. Mezi záření nezachytitelné našimi smysly můžeme zařadit i záření ionizující.

Při tomto záření dochází k ionizaci ozářené látky. Při ionizaci se neutrální atom mění v kladně nabitý iont, dojde k odtržení jednoho nebo více elektronů z obalu za vyzáření energie. Tyto ionty mohou vytvářet disociaci molekul, ze které pak mohou vznikat zdravotní komplikace z ozáření.

Ionizující záření vzniká

- a) přirozeně (záření přirozené, nebo také kosmické): vzniká při rozpadu radionuklidů v kosmu a nebo také záření vznikající z přírodních radionuklidů v našem životním prostředí.
- b) uměle: toto záření vzniká v laboratořích, rentgen.

3.1 Druhy záření

Mezi druhy ionizujícího záření je řazeno: záření alfa, beta, gama, rentgenové a neutronové záření. Tyto druhy záření jsou vlnového, a nebo částicového charakteru a vznikají při procesech probíhajících v atomových jádrech či elektronových obalech (na tzv. atomární úrovni). Záření alfa a záření beta jsou tzv. přímo ionizující druhy záření. Nesou elektrický náboj a mohou díky Coulombickým elektrickým silám odnímat elektrony z atomů.

3.1.1 Záření alfa

Záření alfa se vyskytuje u atomů těžkých prvků (proud jader helia), má malou pronikavost a je z ostatních druhů nejpomalejší. Lze jej zachytit již listem papíru. Má silné ionizační účinky a při proniknutí do živé tkáně je tedy škodlivé.

3.1.2 Záření beta

Jedná se o proud neutronů nebo pozitronů. Je pronikavější než záření alfa, je možné ho pohltit vrstvou kovu o tloušťce 1 mm. Má menší ionizační účinky než záření alfa. Uplatňuje se při léčbě nádorových onemocnění v nukleárním lékařství.

3.1.3 Záření gama

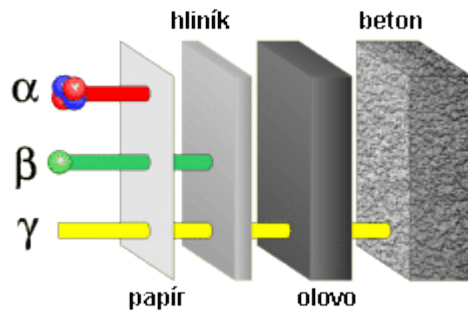
Jedná se o elektromagnetické záření o krátké vlnové délce a vysoké energii. Vzniká při přechodů nukleonů v atomovém jádře z vyšších energetických hladin na nižší. Je možné ho zachytit vrstvou betonu.

3.1.4 Záření neutronové

Proud rychle letících neutronů, které jsou velmi pronikavé, jelikož nenesou žádný elektrický náboj (neztrácí energii interakcí s ionty). Vrstva pro pohlcení je složitější. Obvykle se musí skládat ze tří vrstev. První vrstva neutron zpomalí, druhá vrstva neutrony absorbuje a třetí vrstva musí absorbovat vzniklé sekundární gama záření.

3.1.5 Záření rentgenové

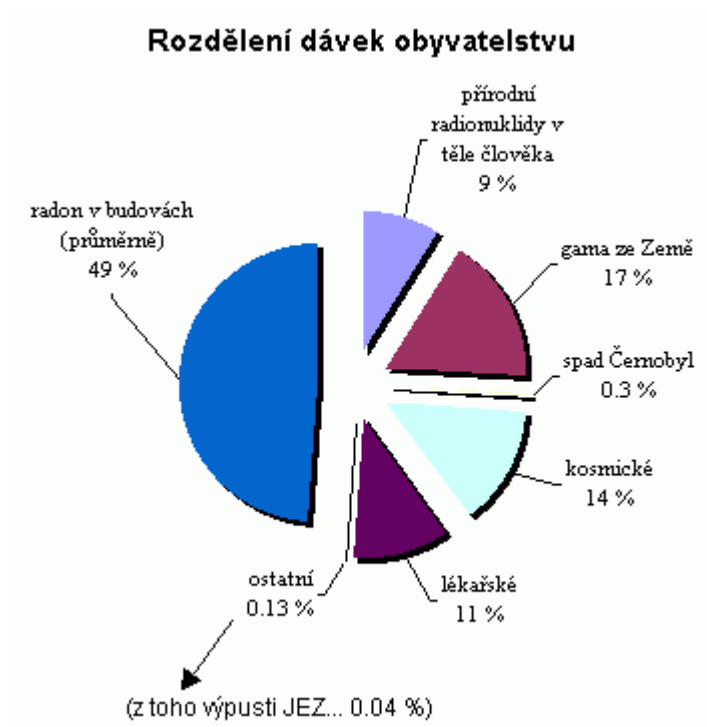
Podobné záření gama, s odlišností při vzniku a energie. (Procházka 2008).



Obr.1 Pronikavost jednotlivých druhů ionizujícího záření

Zdroj: www.cez.cz

Na lidský organismus působí především zevní ozáření gama, jehož hlavním zdrojem je uran (^{226}Ra). Vnitřní ozáření je pak nejvíce způsobované radonem (^{222}Rn) v budovách, vdechováním jeho dceřiných produktů přeměny. (SÚRO 2010).



Obr. 2 Percentuální podíl celkového ozáření obyvatel

Zdroj : SÚRO

3.2 Biologické účinky záření

Působení ionizujícího záření na živé organismy se řídí stejnými zákony, jako vliv ionizujícího záření na látky neživé. Dochází tedy k ionizaci a excitaci za současného pohlcování energie. Po tomto procesu dochází k řadě dalších dějů (fyzikálních, chemických, biologických), které záleží na způsobu organizace živé hmoty.

Účinky ionizujícího záření mají začátek vždy uvnitř samotných buněk, jejichž poškození pak dále závisí na rozmnožovacích vlastnostech dané buňky. Čím větší je rozmnožovací schopnost buňky, tím jsou účinky ionizujícího záření na organismus větší.

Účinky záření na samotné buňky se dají rozdělit do dvou hlavních skupin:

1. Ztráta schopnosti dalšího dělení dané buňky (jinými slovy smrt buňky).
2. Buňka má nadále možnost dělení, ale došlo ke změně cytogenetické informace (záření vyvolalo mutaci).

Celkový účinek ozáření je také závislý na dávkovém příkonu. Pokud je dávkový příkon menší, mohou se uplatnit reparační schopnosti buňky. Znamená to tedy, že pokud je buňka vystavena záření po několika menších dávkách, je schopna využít schopnosti reparace. Pokud je ovšem vystavena ozáření najednou, bez časových prodlev, reparační schopnost zaniká.

Účinky ionizujícího záření na lidský organismus také závisí na radiosenzitivitě (citlivosti k ozáření) jednotlivých tkání. Vysokou radiosenzitivitou se vyznačují tkáně, ve kterých probíhá rychlé buněčné dělení. K destrukci tkání jsou náchylné především: lymfoidní orgány, aktivní kostní dřeň, střevo a pohlavní orgány. Na cytogenetické změny jsou náchylné: kostní dřeň, plíce, žaludek. (Švec 2005).

Projeví-li se účinky ozáření po velkých jednorázových dávkách v krátkém čase, nazýváme tyto účinky jako časně.

Projeví-li se účinky ozáření po delším časovém odstupu, nazýváme tyto účinky jako pozdní.

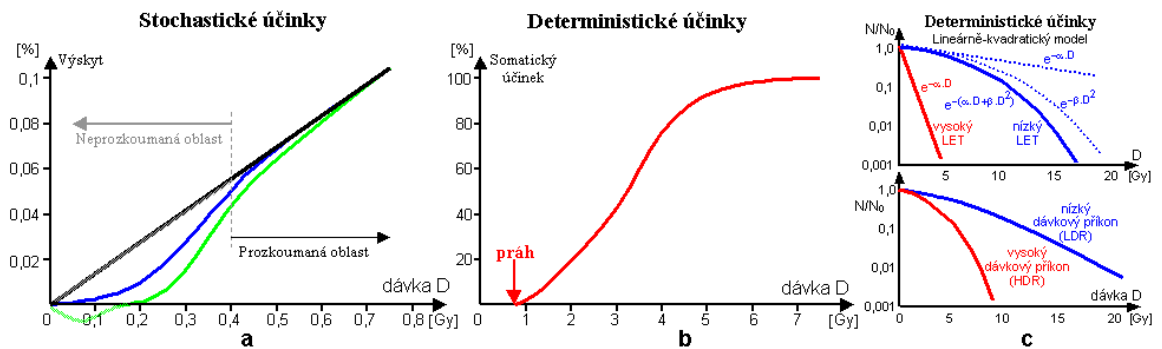
Dále účinky ionizujícího záření dělíme na stochastické a nestochastické.

Nestochastické (deterministické) účinky ionizujícího záření

Dochází k nim z důsledku smrti nebo ztráty schopnosti dělení ozářených buněk. Jedná se většinou o lokální účinky, projevující se v místě ozáření. Jedná se o účinky prahové, ke kterým dochází až po překročení hranice určitého množství záření. Pokud bylo záření dlouhodobější, je organismus díky reparačním schopnostem odolnější, než když je záření jednorázové (v krátkém časovém intervalu). K nestochastickým negativním účinkům na lidský organismus patří především poškození kůže, plodnosti, oční čočky.

Stochastické účinky ionizačního záření

Účinky, které jsou vyvolané mutacemi (genetickými změnami) buněk, vzniklé působením ionizujícího záření na buňku. Tyto účinky jsou bezprahové, mají statickou povahu. S rostoucí dávkou ozáření, roste míra pravděpodobnosti výskytu ozáření v populaci, neroste tedy míra poškození. Tyto účinky nemají charakteristický klinický obraz, nezáleží na tom, zda byl organismus ozářen jednorázově. Ke stochastickým negativním účinkům na lidský organismus patří zhoubné novotvary a genetické účinky. Negativní účinky jsou pozdní, můžou se objevit až za několik let. (Švec 2005).



Obr. 3 Závislost biologického účinku na velikosti absorbované dávky záření

Zdroj: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>)

4. Zdroje radonu v objektech

Radon do budov proniká třemi základními cestami: geologické podloží, kontaminovaný stavební materiál budovy, kontaminovaná podzemní voda.

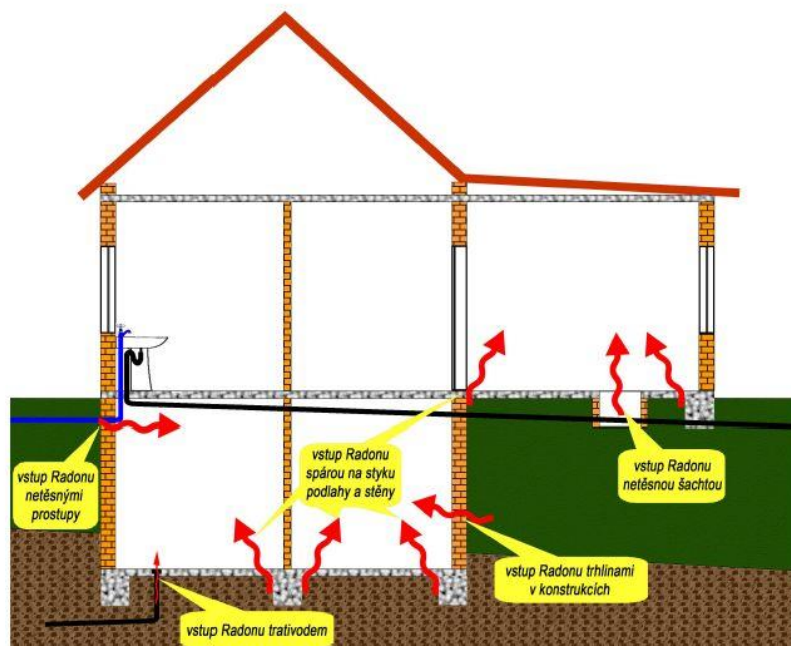
4.1 Radon v objektech z geologického podloží

Nejvýznamnějším zdrojem radonu v budovách je radon putující z podloží. Jak bylo uvedeno již v úvodní části této práce, radon se uvolňuje do atmosféry z půdního vzduchu. Jeho koncentrace v atmosféře je ovšem zanedbatelná, jelikož dochází k naředění množství radonu s ostatními plyny. Koncentrace radonu uvnitř budov se ale může pohybovat od stovek po tisíce $^2 \text{ Bq} / \text{ m}^3$.

² $\text{ Bq} / \text{ m}^3$ = množství radonu (objemová aktivita radonu) se udává v jednotkách $\text{ Bq} / \text{ m}^3$ – hodnota číselně odpovídá počtu radioaktivních přeměn radonu v jednom metru kubickém vzduchu.

Do objektů se radon nedostává pouze difuzí, ale v závislosti na druhu podloží, je do objektů také aktivně nasáván, z důvodu rozdílného podtlaku v nejnižších patrech budovy. Množství radonu je tedy závislé na tlakovém a teplotním gradientu a následném vzniku komínového efektu. V nejnižších podlažích vzniká podtlak, který nasává vzduch do budovy a radon proniká do jednotlivých místností. Jeho koncentrace je pak závislá na jednotlivém odvětrání místnosti. (Jiránek 2000).

Záleží i na daném typu podloží. Stojí-li dům na podloží tvořeném granity, je koncentrace radonu v půdním vzduchu větší, než pokud je stavba umístěna na málo propustném jílovém podloží. (Neznal 2009). Množství pronikajícího radonu je nízké u staveb, které mají kontaktní konstrukci z kvalitních materiálů, využívají moderních technologií a nedošlo k poruchám konstrukce za dobu používání. Vysoká těsnost je u hutných betonů, naopak nízká například u prkenných podlah na škvárovém posypu. Nicméně i kvalitní použitý materiál a moderní technologie mohou být zbytečné a množství pronikajícího radonu vysoké, pokud dojde k těmto poruchám: narušení podlah a stěn v suterénu, špatná izolace prostupů, vstup trativodem bez zápachové uzavírky a vsakovací jímky. (Jiránek 2000).

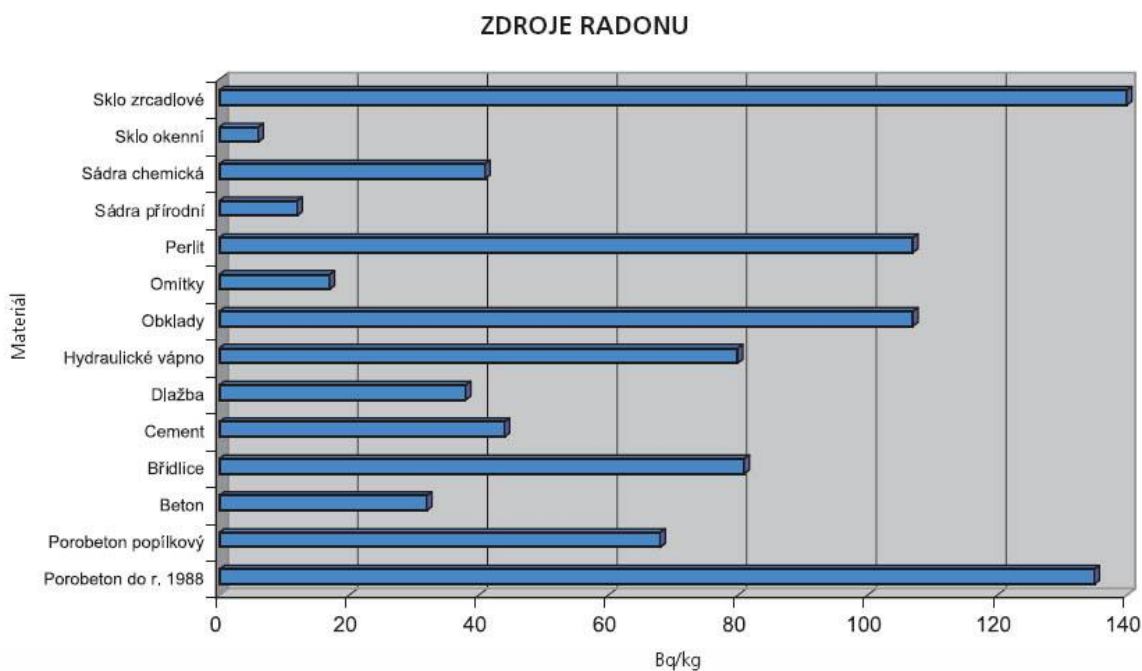


Obr. 4 Nejčastější vstupy radonu do objektu

Zdroj : <http://www.spirax.cz/drevostavby-special-81/mozne-pruniky-radonu-97/>

4.2 Radon ve stavebních materiálech

Zvýšené množství koncentrace uranu z důvodu použití stavebních materiálů, které mají zvýšené množství rádia, bylo především problémem minulých let. Dnes jsou již stavební materiály pod přísnou kontrolou, která vychází z legislativních opatření státu a je prováděna Státním ústavem pro jadernou bezpečnost. (Neznal 2009). Tento problém vznikl především v 80. letech minulého století. Jako stavební hmoty byly využívány materiály z odpadu těžby uranových rud. Největší radioaktivita z použití těchto materiálů byla zaznamenána v Jáchymově. Ve škvárobetonových panelech určených ke stavbě domů od společnosti Prefa Hýskov, byla nalezena koncentrace radonu dvakrát vyšší, než povolovala norma. Tyto stavby byly v 90. letech minulého století státem odkoupeny, a nebo případně došlo k provedení protiradonových opatření. (Jiránek 2000).



Obr. 5 : Zdroje radonu v jednotlivých stavebních materiálech.

Zdroj: <http://www.coleman.cz/odbinfo.php?id=418>

4.3 Radon ve vodě

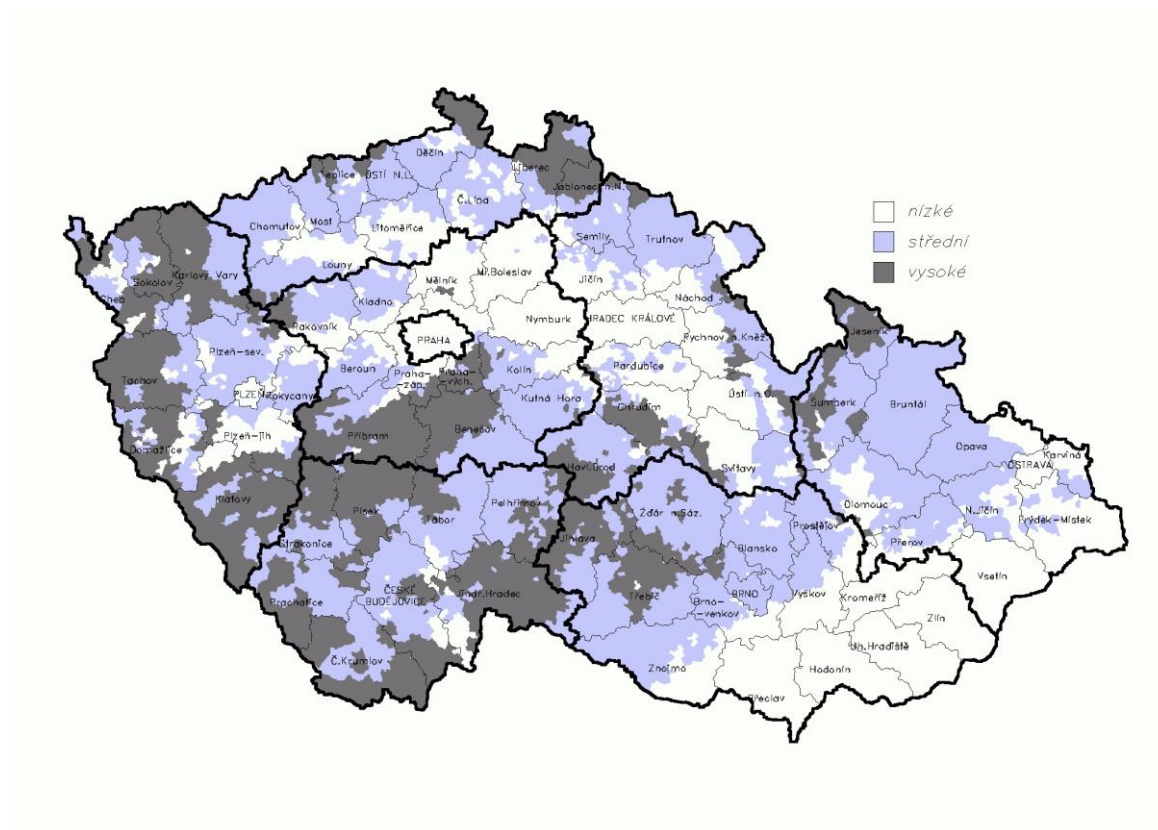
Radon je dobře rozpustný ve vodě, koncentraci radonu v objektech tedy může zvýšit i obsah radonu v podzemní vodě, přiváděné do domácnosti. Množství radonu obsaženého ve vodě je závislé na typu hornin, přes které voda protéká. Sedimentární a zásadité horninové podloží má koncentraci nejnižší, naopak vulkanické typy hornin mají koncentraci nejvyšší. Radon se z vody uvolňuje při praní, mytí nádobí a sprchování. Nejvyšší spotřeba vody je v kuchyních a koupelnách, kde dochází k častému větrání a koncentrace se tak díky odvětrávání snižuje. Vody pocházející z veřejných vodovodů jsou zároveň pod přísnou kontrolou, a pokud dojde k naměření vyšších hodnot koncentrace radonu v daném vodovodu, dojde k odradonování příslušné vody tzv. provzdušňováním. Pokud jsou překročeny limitní hodnoty, které jsou uvedeny ve vyhlášce č. 307/ 2002 Sb. o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/ 2005 Sb., nesmí být daná užitková voda vůbec dodávána.

Tab. 2 Směrné a limitní hodnoty koncentrace radonu v užitkové vodě.

Rn222	Směrná hodnota Bq/l	Limitní hodnota Bq/l
Balená kojenecká voda	20	100
Pitná voda pro veřejné zásobování	50	300
Balená pramenitá a pitná voda	50	300
Balená přírodní minerální voda	100	600

(Zdroj vyhláška č.499/2005 Sb., zpracování vlastní)

Zvýšenou pozornost by měli věnovat majitelé objektů, do kterých přivádějí vodu ze svých studen. Problematika radonu ve vodě není tedy pro zvýšení koncentrace tohoto plynu v objektu až tak důležitá a největší pozornost se směřuje k úniku radonu z geologického podloží. (Ibid.).



Obr. 6 Mapa výskytu radonu v podzemních vodách

Zdroj : <http://www.analyzavody.cz/vlastnosti-vody/radon/>

5. Měření radonu

Pro zjištění množství koncentrace radonu v objektech a následném podniknutí příslušných kroků, je potřeba zjistit objemovou aktivitu radonu, zkráceně OAR. Jednotkou radioaktivity je Becquerel (bekeler) a můžeme se setkat s jednotky pro měření aktivity hmotnostní Bq / kg, plošné Bq / m² a nebo v tomto případně objemové Bq / m³.

Výsledek udává počet přeměn daného izotopu za jednotku času, v případě OAR³ je stahován k jednotce objemu. (Neznal M., Neznal M. 2004). Nejvýznamnějším zdrojem radonu je půdní vzduch, proto se tedy provádí měření i preventivní před zahájením výstavby, nejen měření OAR v budově.

³ OAR = Objemová aktivita radonu - počet přeměn izotopu 222 Rn za 1 sekundu v jednom kubickém metru půdního vzduchu.

5.1 OAR v půdním vzduchu

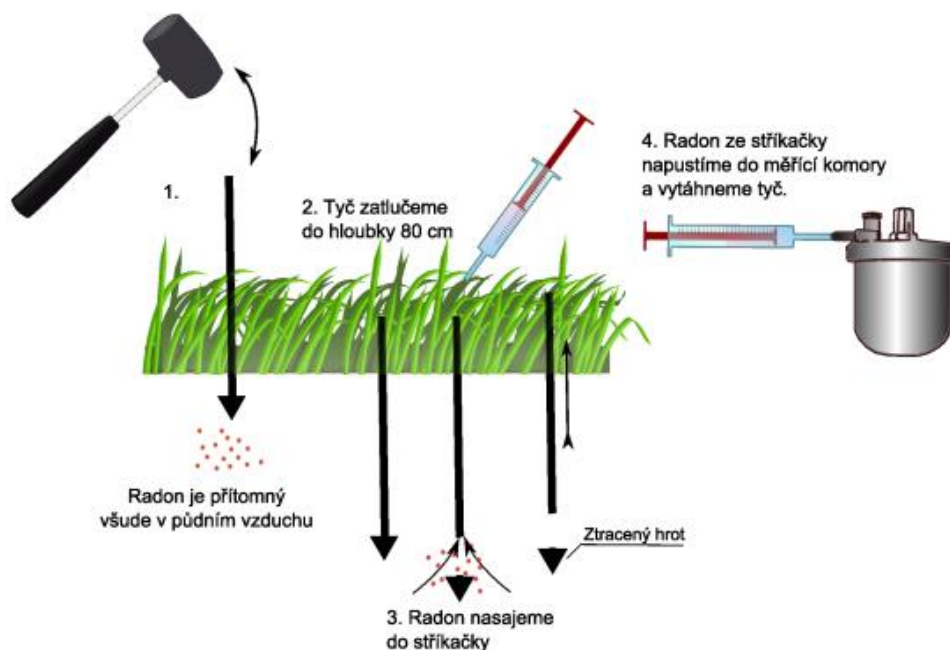
Na základě OAR v půdním vzduchu se určuje radonový index daného pozemku (RI). RI ukazuje míru rizika pronikání radonu z podloží a určuje radonový index pozemku: nízký, střední a vysoký. Měření OAR v půdním vzduchu se řídí dle platné metodiky schválené SÚJB a provádí se přímo na daném pozemku. (METODIKA SÚJB). Výsledky RI slouží k následnému určení radonového indexu stavby (RS) a pro volbu použití vhodných protiradonových stavebních opatření. RI by měl být znám ještě před podáním žádosti o umístění stavby. RI vyjadřuje transportní schopnost radonu v hloubce 0,8 m pod povrchem původního, nezměněného terénu. (Jiránek M., Honzíková M. 2012).

Vzhledem k nestejnosti pronikajícího radonu na jednotlivých místech pozemku, je potřeba zvolit více odběrných míst. Pro pozemek o velikosti 800 m³ se volí nejméně 15 odběrných míst, které se situují především do předpokládané zastavěné části.

Pro stavby větších rozměrů, se postupuje v odběrné síti 10 x 10 m. Pokud se narazí na lokální anomálii OAR, volí se síť s menším rozměrem a to 5 x 5 m. Odběr vzorku půdního vzduchu probíhá za použití sondy s tzv. ztraceným hrotem. V odběrném

místě se do země zatluče dutá tyč s hrotem, prorážecím hrotem se prorazí hrot a injekční výplachovou stříkačkou se odebere vzorek vzduchu, který se odvádí do vzorkovací komory, ve které se následně provádí samotné měření OAR. Tato metoda se nazývá tzv. metodou ztraceného hrotu.

⁴ *RS = Radonový index stavby – stanovuje se na základě znalostí radonového indexu pozemku, výškové polohy základové spáry, plynopropustnosti zemin a koncentrace radonu v zemině.*



Obr. 7 Metoda ztraceného hrotu Zdroj :

<http://www.radonovyprogram.cz/radon/stanoveni-radonoveho-indexu-stavebniho-pozemku>)

Dalším krokem k určení RI⁵ je stanovení plynopropustnosti zeminy. Pro stanovení plynopropustnosti je možné využít dvou metodik:

-měření in situ, přímé měření plynopropustnosti

-měření plynopropustnosti odborným měřením

Při přímém měření plynopropustnosti je měřen průtok vzduchu při jeho nasávání ze zeminy, a nebo při jeho vtlačování do zeminy, s použitím stálého a přesně určeného rozdílu tlaku. Používají se přístroje podobné jako při metodě ztraceného hrotu a měří se ve shodných odběrných bodech, jako při měření OAR. Hloubka 0,8 m pod povrchem, pozemky do rozlohy 800 m² 15 odběrných míst, u větších v pravidelných odběrných sítích. V České republice se nejčastěji pro měření plynopropustnosti používá přístroj RADON-JOK. (METODIKA SÚJB).

⁵ RI = Radonový index pozemku - index popisující míru rizika pronikání radonu z geologického podloží na daném pozemku. Nabývá hodnot - nízký - střední - vysoký.



Obr. 8 Přístroj RADON-JOK

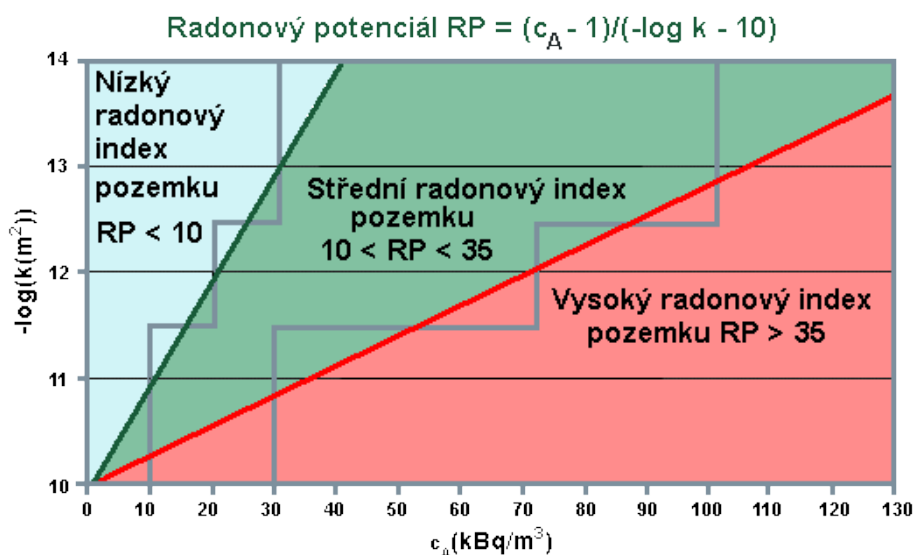
Zdroj : http://www.radon-vos.cz/?lang=cz&lmenu=cz_pristroje&page=cz_pristroje_jok

K odbornému měření plynopropustnosti se přistupuje v případě, že nebylo možné zajistit měření in situ v odběrných místech při měření OAR. Tato metodika se skládá ze dvou základních kroků. V prvním kroku se popisuje makroskopický vzorek odebrané zeminy a dalším krokem je subjektivní hodnocení odporu sání při odběru

vzorku půdního vzduchu v 15 měřících bodech u parcely do 800 m² a u větších se opět využívá síť odběrných míst. (Ibid.)

Čím větší hodnoty OAR v půdním vzduchu jsou a čím větší je plynopropustnost daného podloží, tím vyšší RI vyjde.

Výsledky z měření OAR z půdního vzduchu a plynopropustnosti podložní zeminy, jsou součástí určení RI. Pro určení radonového potenciálu pozemku (RP)⁶ se využívají hodnoty třetího kvartálu statistického souboru hodnot z měření OAR a hodnoty třetího kvartálu statistického souboru hodnot z měření plynopropustnosti dané zeminy. Pokud jsou známy numerické výsledky z měření, určuje se RI podle RP. (Ibid.).



Obr. 9 Radonový potenciál pozemku

Zdroj : http://www.radioaktivita.cz/mereni_radon.html

⁶ RP = Radonový potenciál pozemku - číselná hodnota vyjadřující radonový index pozemku. Je-li $RP < 10$, radonový index pozemku je nízký, je-li $10 \leq RP < 35$, radonový index pozemku je střední, je-li $35 \leq RP$, radonový index pozemku je vysoký.

Tab. 3 Určení RI z modelu RP

Radonový potenciál pozemku RP	Radonový index pozemku
$RP < 10$	nízký
$10 \leq RP < 35$	střední
$35 \leq RP$	vysoký

Vlastní zpracování

5.2 Měření radonu v ovzduší budov

OAR v domě není v průběhu dne a jednotlivých sezonních období stejná, mění se vlivem změn podtlaku v domě, ventilačními změnami i způsobem užívání. Aby bylo dosaženo správných výsledků měření, musí se OAR měřit po delší dobu. Minimální doba měření musí být alespoň jeden týden, k tomuto typu měření se přistupuje tehdy, pokud je potřeba výsledek znát rychle, například k posouzení účinnosti provedených protiradonových opatření, při koupi nemovitosti atp. Pro týdenní měření se využívají kontinuální monitory, nebo elektretové dozimetry a měření provádějí komerční firmy a cena se pohybuje do 3000 Kč. (Jiránek, 2006).

5.2.1 Elektrotové dozimetry

Elektrotový dozimetr funguje na principu vybíjení elektrotového disku umístěného v komůrce při ionizaci radonu, který difuzí vstupuje do baňky. Stanovuje se tak průměrná koncentrace radonu z poklesu napětí a doby expozice. (Broncová, Prokopec 2010).



Obr. 9 Elektrotoový dozimetr

Zdroj : <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/mereni-radonu/elektret.jpg>

5.2.2 Kontinuální monitory

Kontinuálním monitorem objemové aktivity radonu probíhá měření nepřímo, přes dceřiné produkty radonu, nasbírané v elektrostatickém poli komory na polovodičový Si detektor. Monitory ekvivalentní objemové aktivity prosávají vzduch přes filtr a jednotlivé produkty přeměny jsou zachyceny na filtr. Detekci zajišťuje opět polovodičový Si detektor, který je umístěn u filtru. (Ibid.)



Obr. 10 Kontinuální monitor, Zdroj : <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/mereni-radonu/radim.jpg>

Optimálnějších výsledků je dosaženo v případě měření tříměsíčním, v době topné sezony. Měření v délce tří měsíců je minimální dobou, pro přiznání státního příspěvku pro případná protiradonová opatření. V případě tříměsíčního měření využíváme stopové detektory RamaRn. (Jiránek, Honzíková 2012).

5.2.3 Stopové detektory

Stopové detektory fungují na principu vypalování latentních stop, vytvořených částicemi alfa emitované radonem a produkty jeho přeměny po dopadu na folii tvořenou makromolekulami. Detektory položené volně v místnosti se používají k měření ekvivalentní objemové aktivity radou, laboratorním zpracováním výsledků odečtem z folie. Detektory umístěné v difuzních komůrkách slouží k měření OAR, používají se od roku 2002 a stopy zanechávají pouze částice alfa. (Broncová, Prokopec 2010).



Obr. 11 Stopový detektor Rama Rn

Zdroj : <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/mereni-radonu/rama.jpg/view>

Stopové detektory Rama Rn se využívají i k nejobektivnějšímu měření OAR v budově a to k měření v délce jednoho roku. Roční měření provádíme u nemovitostí, které jsou po celou dobu roku obývané a veškeré vytápěcí a větrací technologie jsou používány. (Jiránek, 2006).

5.2.4 Integrální měření

Integrálním měřením je získána průměrná hodnota koncentrace radonu v domě za dobu expozice. Tímto měřením není znám průběh kolísání koncentrace radonu v čase. K integrálnímu měření se používají elektrety a stopové detektory Rama Rn.

5.2.5 Kontinuální měření

Kontinuálním měřením je získán časový záznam koncentrace za celou dobu expozice. K tomuto měření se využívají kontinuální monitory a může se pozorovat kolísání koncentrace radonu v čase.

Průměrně se uvádí, že nejistota v měření OAR v obytných místnostech je 20 %. (Jiránek, Honzíková 2012).

6. Protiradonová opatření

Protiradonová opatření se rozdělují do dvou základních typů : Protiradonová opatření preventivní (před zahájením samotné výstavby budovy) a protiradonové opatření již u stávajících budov. Tyto dvě opatření jsou cílem práce Českého radonového programu.

6.1 Protiradonová opatření při výstavbě

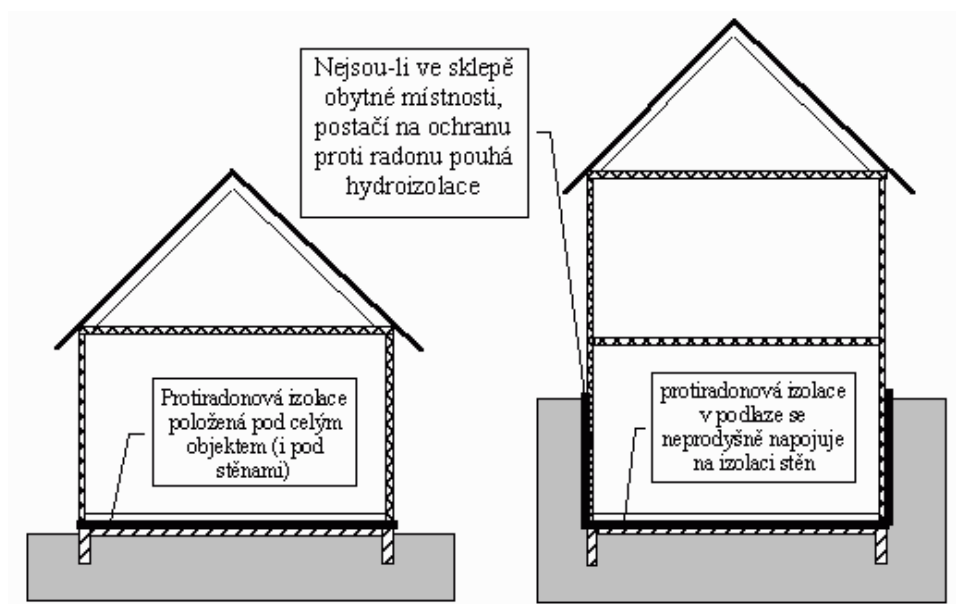
Návrh protiradonových opatření při výstavbě vychází z radonového rizika pozemku.

6.1.1 Ochrana staveb na pozemku s nízkým radonovým rizikem

Na pozemku s nízkým radonovým indexem není potřeba žádných speciálních opatření. Standardně postačí běžná hydroizolace provedená po celé půdorysné ploše a oddělení schodišťových prostor vedoucích z podzemních podlaží do vyšších pater dveřmi.

6.1.2 Ochrana staveb na pozemku se středním radonovým rizikem

V souladu s ČSN 730601 se za vhodnou protiradonovou izolaci považuje kvalitní hydroizolace s dlouhou životností a dle změřeného součinitele difuze radonu se vypočítává tloušťka protiradonové izolace. Protiradonová izolace musí být položena v celé ploše kontaktní konstrukce, tedy i pod stěnami. V objektech, které jsou podsklepeny a podsklepené prostory neslouží jako obytné místnosti, protiradonová izolace může být nahrazena běžnou hydroizolací. V tomto případě ale musí být zajištěno spolehlivé větrání těchto prostor a oddělení vstupu do vyšších podlaží těsnícími dveřmi s automatickým zavíráním. (Jiránek 2000).



Obr. 12 Ochrana staveb na pozemku se středním radonovým rizikem

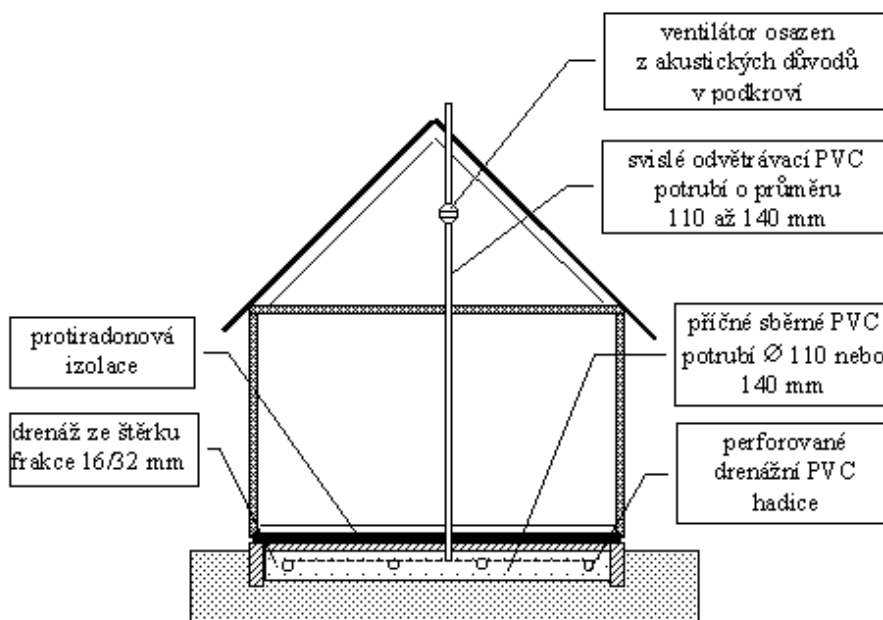
Zdroj : <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/prakticke-informace/postup-pri-stavbe-novych-budov/opatreni-proti-pronikani-radonu-do-objektu#nove>

Protiradonová izolace musí být vyprojektována s ohledem na veškeré poznatky o chování izolačních hmot v dané situaci. Izolace je po zhotovení nepřístupná, nedají se tedy později provádět úpravy a opravy při případném poškození. Není tedy možné při návrhu brát ohled pouze na hodnotu součinitele radonu. Zřetel musí být brán i na aplikační podmínky, zpracovatelnost, tažnost, trvanlivost, odolnost vůči korozi atd. (Ibid).

6.1.3 Ochrana staveb s vysokým radonovým rizikem

U pozemků s vysokým radonovým rizikem je postup stejný, jako u pozemků se středním radonovým rizikem. Pokud se naměřené hodnoty blíží k horní hranici vysokého radonového rizika, je protiradonová izolace v konstrukcích, které jsou v přímém kontaktu s podložím, doplněna o odvětrávací drenážní systém pod objektem a nebo odvětrávanou vzduchovou mezeru pod izolací.

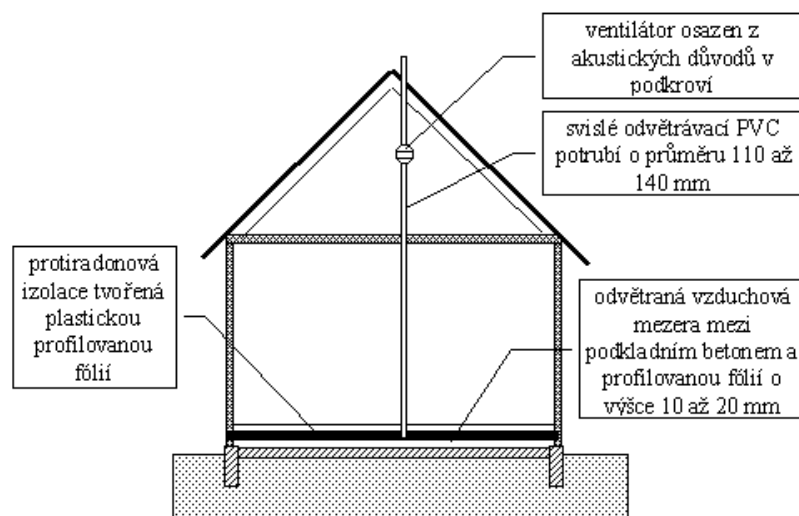
Drenážní systémy fungují na principu snížení podtlaku pod základovou deskou, nebo vytvářejí podtlak v podloží oproti tlaku vzduchu v interiéru. Pracují buď aktivně a nebo pasivně. Aktivní drenážní systémy fungují s pomocí ventilátoru, pasivní drenážní systémy fungují na základě teplotního rozdílu a tlaku větru.



Obr. 13 Odvětrání podlahy pod objektem pomocí perforovaných trub vložených do vrstvy štěrku pod základním betonem.

Zdroj: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/prakticke-informace/postup-pri-stavbe-novych-budov/opatreni-proti-pronikani-radonu-do-objektu#nove>

Odvětrávané vzduchové mezery snižují koncentraci radonu pod protiradonovou izolací nebo pod protiradonovou izolací vytvářejí podtlak vzhledem k tlaku vzduchu v interiéru. V systému větrání mezery musí docházet k výměně vzduchu po celém půdorysu mezery a v průběhu celého roku. (Jiránek, SÚRO).



Obr. 14 Snížení koncentrace radonu pod protiradonovou izolací prostřednictvím odvětrávané vzduchové mezery

Zdroj: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/prakticke-informace/postup-pri-stavbe-novych-budov/opatreni-proti-pronikani-radonu-do-objektu#nove>

6.2 Protiradonová opatření u stávajících staveb

K protiradonovým opatřením se doporučuje přistoupit v případech, kdy EOAR⁷ překračuje hranici 400 Bq / m³. První fází je provedení důkladné radonové diagnostiky, kterou zjistíme druh, vydatnost zdroje radonu a způsob pronikání do budovy a cesty jeho šíření samotným objektem. (Ibid.)

6.2.1 Opatření proti radonu z podlaží

U stávajících staveb, u kterých dochází pouze k mírnému překročení směrné hodnoty a EOAR nepřekračuje 300 Bq / m³, postačí jednoduchá a lehce realizovatelná opatření a nejsou nitné větší zásahy do stávající konstrukce. Jedná se o levná řešení, které si může vlastník domu provádět i sám.

a) Opatření pro zamezení transportu vzduchu z nižších nebytových prostor do vyšších obytných podlaží (odizolování jednotlivých podlaží dveřmi apod.)

b) Zvýšení těsnosti kontaktních ploch, utěsnění trhlin, trativodů apod

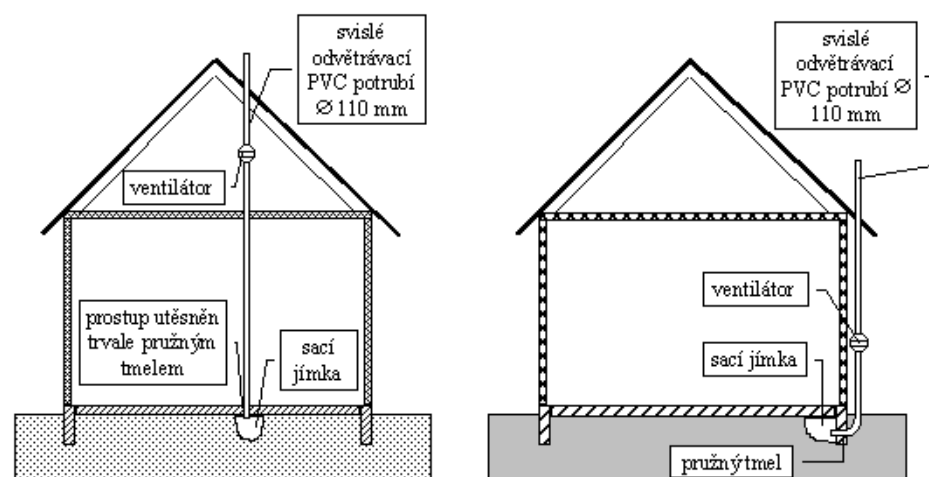
⁷ EOAR = koncentrace radonu C ekv. , taková objemová aktivita radonu v radioaktivní rovnováze s dceřinými produkty radonu, jejichž latentní energie je rovna latentní energii dané nerovnovážné směsi dceřiných produktů radonu.

- c) Zvýšení výměny vzduchu v neobytných sklepích a v ostatních prostorách v suterénních prostorech.
- d) Zvýšení výměny vzduchu v obytných místnostech, kde je výměna vzduchu pod hodnotou 0,3 h⁻¹
- e) Odvětrání radonu z podloží pod stávající stavbou, bez nutnosti výměny podlahových krytin

Při naměřených hodnotách EOAR v rozmezí 600 - 1200 Bq / m³, se mohou dále použít tyto opatření:

- a) Nainstalování nuceného větrání ke zvýšené výměně vzduchu
- b) Nainstalování větracího systému podloží
- c) Použití drenážního systému podloží případně úprava povrchu zeminy v podloží

Pokud naměřené hodnoty překračují hranici 1200 Bq / m³, doporučuje se provést výše zmiňované opatření a doplnit jej o oddrenážování podloží s nuceným větráním. (Jiránek 2000).



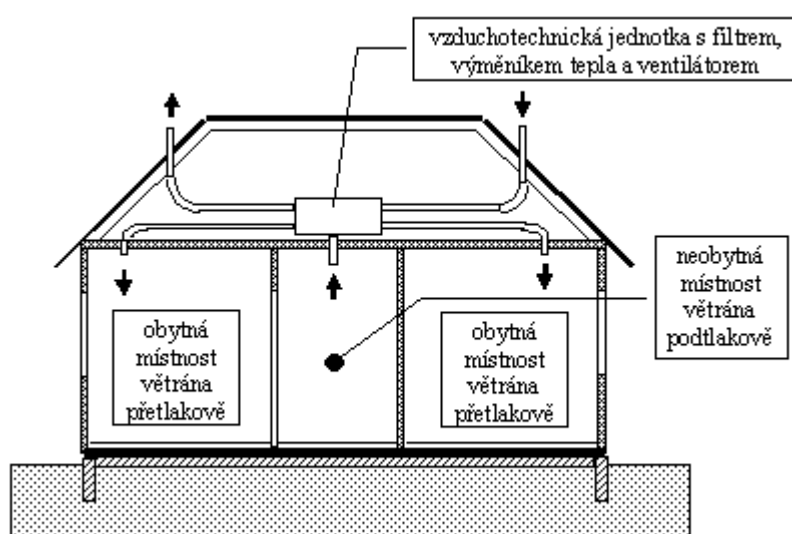
Obr. 15 Varianty řešení aktivního odvětrání radonu z podloží pod stávajícím objektem

Zdroj: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/prakticke-informace/postup-pri-stavbe-novych-budov>

6.2.2 Opatření proti radonu ze stavebních materiálů

Pokud se jako významný zdroj radonu prokáže použitý stavební materiál, doporučují se tři možnosti řešení tohoto problému

- Odstranění materiálů o vysoké rychlosti plošné exhalace radonu (odstranění nenosných konstrukcí jako jsou omítky, štuky)
- Snížení pronikání radonu neprodyšnou úpravou povrchu stavebních konstrukcí (elastické nátěry, tapety).
- Odvětrání radonu z interiéru



Obr. 16 Centrální vzduchotechnický systém

Zdroj: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/prakticke-informace/postup-pri-stavbe-novych-budov>

6.2.3 Opatření proti radonu z vody

V případě, že je zdrojem radonu v budově podzemní voda, zajišťuje se dostatečné odvětrání místností, ve kterých je velká spotřeba vody (koupelna, kuchyň, záchod. (Jiránek, SÚRO).

7. Legislativní opatření v ČR

S prvním legislativním opatřením v souvislosti s radonovou problematikou se v ČR uvádí v roce 1991, kdy byla vydána ministerstvem zdravotnictví Vyhláška č. 76/1991 Sb. O požadavcích na omezování ozáření z radonu a dalších radionuklidů. Usnesení vlády k radonové problematice bylo vydáno v roce 1990 a 1991.

S první radonovou vyhláškou bylo snahou státu preventivně chránit obyvatelstvo před radonovým zářením u nově vznikajících budov a úprava stávajících budov s finančním přispěním státu. Pro tyto účely byly ve vyhlášce obsazeny i směrné hodnoty EOAR.

V následujících letech gesce radonové problematiky Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost, který v roce 1997 vydává atomový zákon č.18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření. V roce 2002 SÚJB⁷ vydává vyhlášku č.307/2002 Sb. o radiační ochraně. V této vyhlášce jsou stanoveny směrné hodnoty pro obsah radonu v budovách se zavedením jednotně používané veličiny OAR, v normách dále nalezneme přesnou definici obytných prostor a postupy při protiradonových opatření u nových i stávajících staveb.

Usnesením vlády č. 538 ze dne 31. května 1999 byl schválen Radonový program na roky 2000 - 2009.

Cílem radonového programu je vyhledání objektů s vysokou OAR a provést v nich nápravná opatření. Stát v této otázce nabízí podporu obyvatelům, kteří této pomoci mohou využít, pokud je OAR v obytných místnostech jejich obydlí vyšší než 1000 Bq / m³. Maximální výše dotace může být do 150 000 Kč. Radonový program zároveň podporuje výzkumnou činnost a její vývoj, pro co nejefektivnější řešení radonové problematiky. (SÚRO 2010).

7.1 Akční plán

Na výsledky radonového programu schváleného usnesením vlády č.538 ze dne 31. května 1999 (doplňný usnesením vlády ČR č. 970 ze dne 7.10. 2002 v důsledky

změny územně správního uspořádání ČR) navazuje Usnesením vlády č. 594 ze dne 4. května 2009 radonový program 2010-2019 - Akční plán. Hlavním cílem akčního plánu je snížit počet úmrtí na rakovinu plic z důvodu ozáření radonem a jeho rozpadovými produkty. K dosažení jsou vytyčeny cíle:

- srozumitelný systém informovanosti obyvatel o zdravotních rizicích přírodního ozáření, snaha o vyvolání zájmu obyvatel o kvalitu jejich bydlení
- zajistit systém měření a hodnocení ozáření z radonu
- státem podporovaný a dozorovaný systém řešení případů s vysokým přírodním ozářením z radonu

⁷ SÚJB= Státní úřad pro jadernou bezpečnost České republiky

- vytipování oblastí, kterým je potřeba věnovat zvýšenou pozornost z důvodu přírodního ozáření z radonu

Cílovou skupinou akčního plánu jsou všichni občané, kteří jsou potenciálně vystaveni riziku přírodního ozáření. Někteří občané však toto riziko mají vyšší, jsou to například stavebníci pracující na stavbách, kde je zvýšená objemová aktivita radonu z podloží, obyvatelé ve starých domech, kde je OAR vyšší, projektanti a další pracovníci vyskytující se při stavebních řízeních.

7.1.1 Struktura akčního plánu

1. Strategie informovanosti

Snahou je zajištění informovanosti o nebezpečí přírodního ozáření z radonu u občanů, kterých se Akční plán přímo týká.

a) příprava aktuálních informačních materiálů - informování veřejnosti i dotčených skupin (vytváření informačních materiálů pro obyvatele starých domů, stavebníky, projektanty aj., vytváření materiálů o technologických postupech, normách, měřicích firmách apod., informování ostatních subjektů, jako jsou krajské a obecní úřady apod.). Dále zařazení této problematiky do výuky na školách a vzdělání odborné veřejnosti (lékaři, realitní kanceláře, stavebníci apod.)

b) celostátní informační kampaň - snaha o zvýšení zájmu občanů o radonovou problematiku, zejména v místech, kde je zvýšený výskyt radonu v geologickém podloží, pořádáním akcí typu - týden prevence proti radonu a následné vyhodnocení efektivity těchto kampaní.

c) správa webové prezentace k Radonovému programu ČR

d) motivační programy pro krajské a obecní úřady s cílem o jejich zapojení

2. Strategie protiradonové prevence

Prevence spočívá v preventivní ochraně nově postavených budov s obytnými a pobytovými místnostmi. Cílem preventivních protiradonových opatření je dosáhnout co nejnižších hodnot OAR, jak jen ekonomická a společenská hlediska dovolují. Ideálním případem je, když nedochází k překročení OAR 200 Bq / m³ pro projektované a stavěné budovy stanovená vyhláškou č.307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č.499/2005 Sb.

Snahou státní správy je:

a) aktualizovat komplexní legislativní rámec protiradonové prevence v novostavbách

b) zajištění ustálení postupů a kontrol kvality činností při měření OAR a prezentaci těchto výsledků na SÚJB a MŽP

c) analyzování úspěšnosti preventivních opatření (vyhodnocení účinnosti programu za pětileté období, snaha o co nejvyšší zvýšení účinnosti programů)

3. Strategie usměrňování stávajícího ozáření z radonu

Cílem strategie je ve veřejném zájmu snižovat počet obydlí, ve kterých je překročena OAR hranicí 400 Bq / m³, stanovená Vyhláškou č. 307/ 2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/ 2005 Sb. Snahou je provádět měření OAR ve zkolaudovaných stavbách a pokud dojde k překročení hranice, informovat vlastníky o této informaci a sdělit jim možnosti provedení opatření proti pronikání radonu.

Úkolem je:

- a) zajistit kvalitní měření pro vyhledání budov se zvýšenou OAR (vyvolat snahu o měření u veřejnosti, jak komerčním i státem podporovaným způsobem, zpřístupnění detektorů nejen u SÚJB, ale i na obecních a stavebních úřadech).
- b) podporovat vlastníky budov, kde je překročena hranice OAR a kteří mají zájem o realizaci protiradonových opatření na těchto nemovitostech - mít dostupné informace o možnostech protiradonového opatření, jeho typech a financování.
- c) aktualizování právního rámce - vymezení podmínek pro poskytování státní podpory v rámci protiradonového opatření v objektech, se zvýšenou OAR, stanovení pravidel kontrol v čerpání dotace.
- d) aktualizování právního rámce v otázkách státního financování v ozdravování vodovodů pro zásobování pitnou vodou, když je překročena hranice mezních hodnot radionuklidů, stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.
- e) vytváření systému nezávislého kontrolního měření
- f) analyzování výsledků z dlouhodobého hlediska - hodnocení efektivity programu, nalezení slabých míst a na základě výsledků najít možnosti pro případné zvýšení efektivity a dosažení cílů

4. Odborná vědecko-technická podpora realizace úkolů Akčního plánu

- a) sběr údajů o radonovém ozáření a souvisejícím zdravotním riziku, vyhodnocení efektivity prevence a ozdravných kroků
- b) vyvíjení nových měřících metod pro zjištění úrovně ozáření radonem
- c) vyvíjení nových protiradonových stavebních technologií
- d) vyvíjení metod pro stanovení RI
- e) vyvíjení geofyzikálních metod pro hodnocení radonového rizika
- f) vytváření mapových podkladů pro mapování geologického podloží
- g) vyvíjení nových postupů pro snížení obsahu radionuklidů ve vodách (SÚJB - Akční plán).

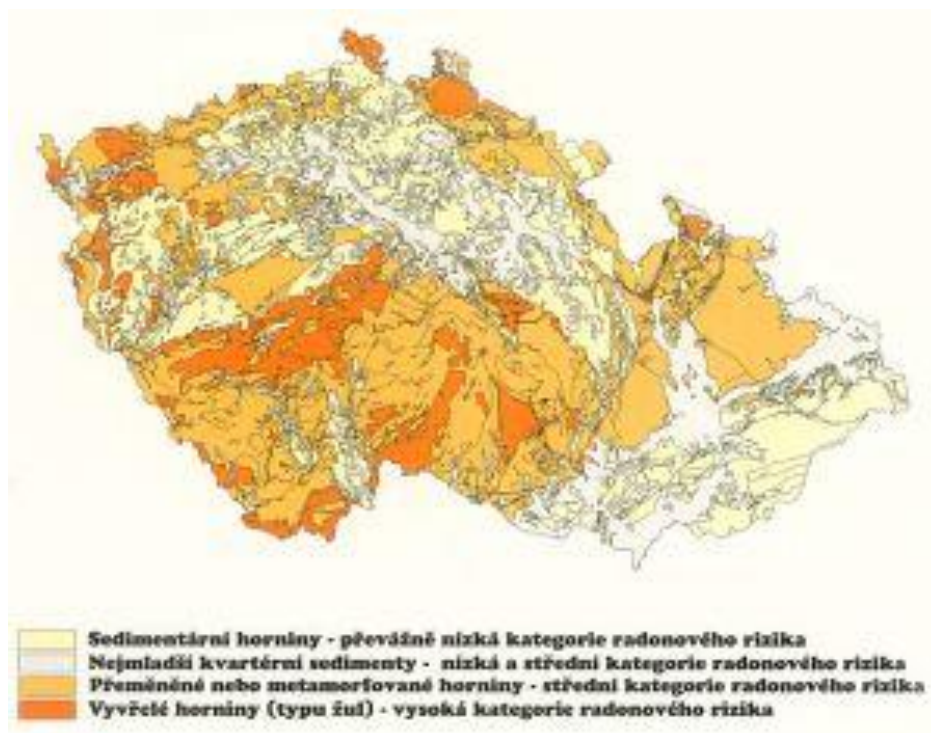
7.1.2 Výsledky radonového programu 2000 - 2009

Do aktuální Akčního plánu byly zapracovány výsledky z Radonového programu probíhajícího v letech 2000- 2009.

Hlavním úkolem 10ti letého radonového programu v letech 2000 - 2009 bylo změřit co nejvyšší počet nemovitostí na OAR. Původním plánem bylo proměření 250 000 objektů, tedy cca 25 000 nemovitostí za rok. Celkem bylo změřeno 61 900 domů a z toho 9 689 nemovitostí mělo překročenou hranici 400 Bq / m³ a 2 263 nemovitostí mělo překročenou hranici 1000 Bq / m³.

Financování protiradonové problematiky bylo od roku 2005 stanoveno vyhláškou č.462/2005 Sb. a dotace byly dávány Ministerstvem financí ČR pouze na prokazatelně účinná opatření dle vyhlášky č. 461/2005 Sb. Do roku 2005 byly poskytovány příspěvky rozdílně, podle míry překročení OAR. Účinnost provedených opatření nebyla kontrolována. Celkem bylo na státních dotacích na protiradonové opatření vyplaceno v letech 2000 - 2009 200 mil. Kč.

Došlo k vytvoření map geologického podloží v měřítku 1:50 000 pro celé území ČR a jsou pro veřejnost dostupné na webových stránkách: www.geology.cz. (Pravdová 2010).

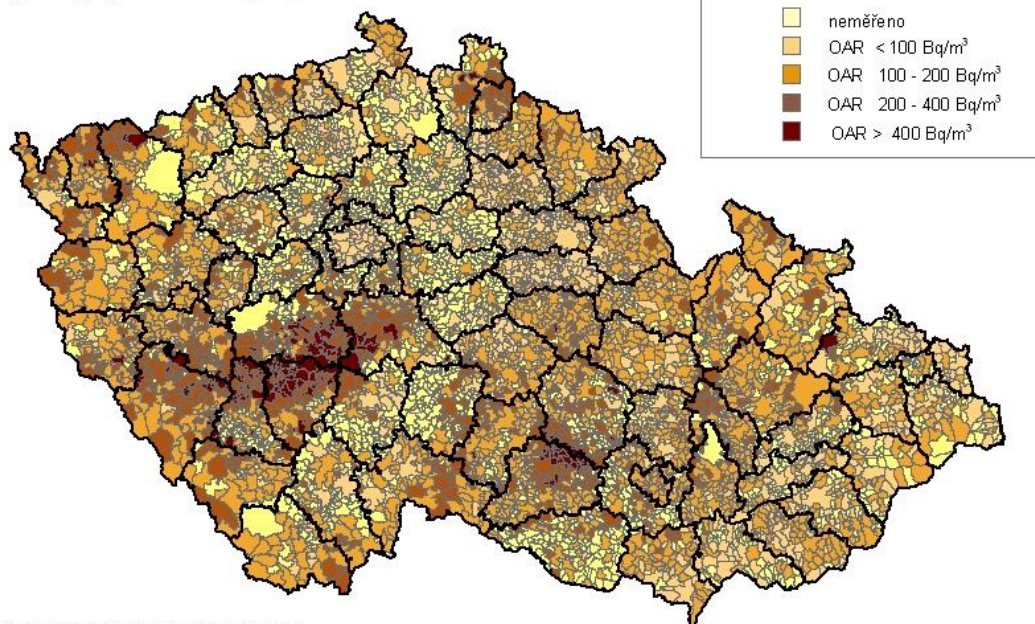


Obr. 17 Prognozní mapa radonového rizika

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

Radonový program ČR

Výsledky vyhledávacího programu - 2007



Státní ústav radiační ochrany, Praha, 2007

Obr. 18 Výsledky radonového programu v letech 2000 – 2007

Zdroj: SÚRO

Souhrn dalších důležitých legislativních opatření

- zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon);
- vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně;
- zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon);
- vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb;
- vyhláška 503/2006 Sb., o podrobnější úpravě územního rozhodování, územního opatření a stavebního řádu;
- usnesení vlády ČR ze dne 31. května 1999 č. 538 o radonovém programu ČR;
- norma ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží;
- norma ČSN 73 0602 Ochrana staveb proti radonu a záření gama ze stavebních materiálů.

8. Výzkumná část

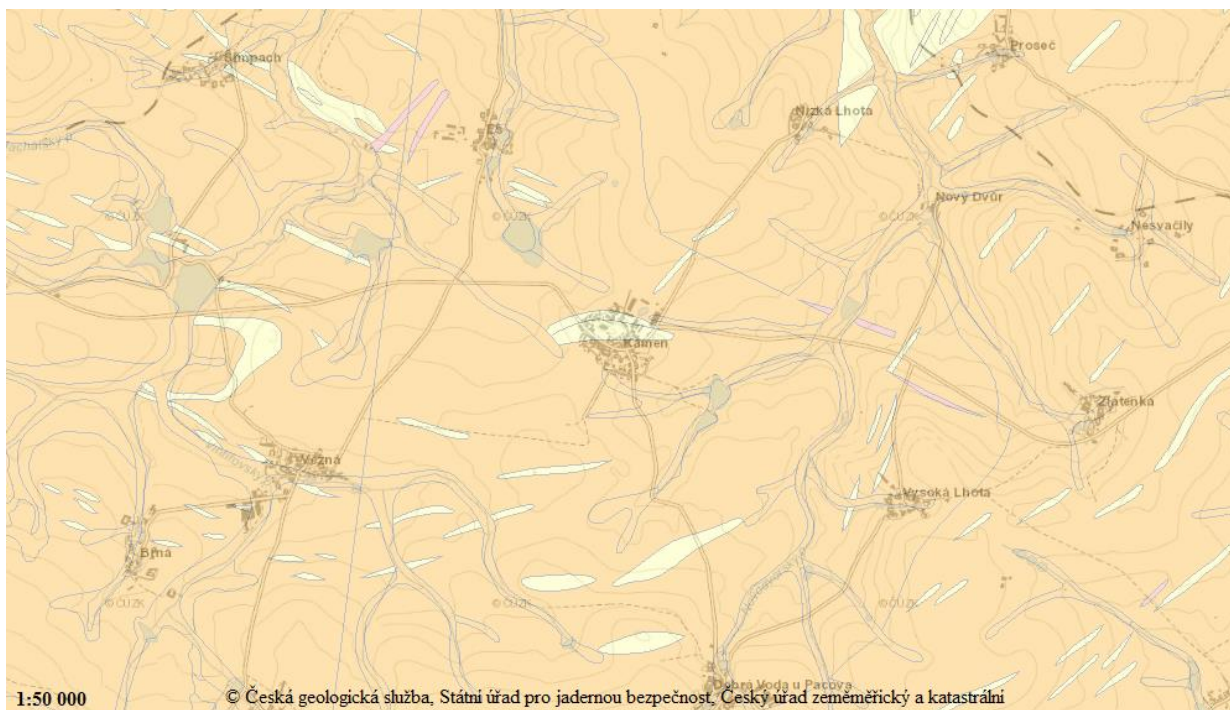
Ve výzkumné části této práce se zaměřuji na výskyt radonu v oblasti Středočeského kraje a kraje Vysočiny, které spadají do oblasti s geologickým podložím s vysokým radonovým rizikem. Na praktickém pokusu jsem aplikovala získané znalosti z teoretické části a provedla měření OAR ve 4 vytipovaných nemovitostech. Dva objekty nacházející se v kraji Vysočina a 2 objekty ve Středočeském kraji. V kraji Vysočina jsem provedla měření v obci Kámen u Pacova, ve Středočeském kraji pak v obci Přišimasy - Skřivany. Naměřené hodnoty porovnávám se směrnými hodnotami uvedenými dle zákona č.18/1997 Sb., tzv. atomový zákona (§ 95). Dle směrných hodnot uvažujeme o provádění případných protiradonových opatření a

čerpání státní dotace na tyto změny. Odborné měření probíhalo v rámci bezplatného měření OAR SÚRO, stopovými detektory RamaRn.

Kraj Vysočina

Kámen u Pacova

Obec leží na geologickém podloží, kde je střední a nízký radonový index podloží, viz prognózní mapa.



Obr. 19 Geologické podloží obce Kámen u Pacova

Zdroj: www.geology.cz

Kámen u Pacova obec, nacházející se v kraji Vysočina.

Měřený objekt číslo 1

První měření proběhlo v rodinném domě na parcele číslo 103, Kámen u Pacova 71. Jedná se o stavbu, jenž byla kolaudována v roce 1910 a v roce 1960 proběhly stavební práce a bylo na tomto objektu přistaveno podlaží. Jedná se o dvoupodlažní objekt, který je podsklepený. Přízemí je z kamenného základu, již z roku 1910. V roce 1960 došlo k přistavění druhého podlaží. Na tuto rekonstrukci byly použity škvárobetonové tvárnice. Objekt se skládá z obytných místností: v přízemí dvě ložnice a obývací pokoj. Ve druhém podlaží jsou jako obytné místnosti obývací pokoj a ložnice.

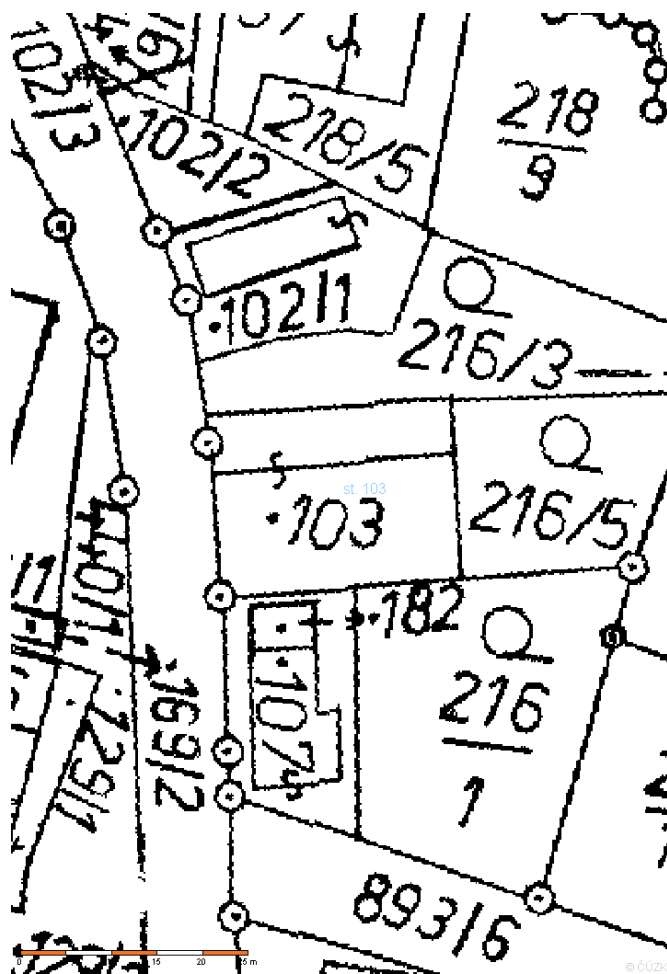
Měření OAR v tomto domě proběhlo v dvouměsíční době, v topné sezoně ve dnech 22.3.2014 - 26.5.2014. Měření probíhalo za použití stopových detektorů RamaRn od Státního radiačního ústavu. Detektory byly umístěny v přízemí v obývacím pokoji a v ložnici. Jelikož venkovní teploty nedosahovaly vysokých teplot, nedocházelo zde k pravidelnému větrání.

Tab. 4 Naměřené hodnoty OAR v místnostech Měřeného objektu číslo 1

Místnost	Výsledné hodnoty OAR (Bq/ m ³)
obývací pokoj	298
ložnice	309

Vlastní zpracování

Získané výsledky byly porovnány se směrnou hodnotou pro rozhodování o snížení stávajícího ozáření z radonu, dle § 95, odst. 1 vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, kde je směrná hodnota 400 Bq/m³. Nedošlo tedy k překročení směrné hodnoty a není tedy potřeba podnikat další protiradonová opatření.



Obr. 20 Katastrální mapa Měřeného objektu číslo 1

Zdroj : www.cuzk.cz

Měřený objekt číslo 2

Druhým měřeným objektem v obci Kámen u Pacova byl rodinný dům na parcelním čísle 58, s číslem popisným 32.

Rok kolaudace objektu byl 1905 a poslední rekonstrukce domu proběhla v roce 1970. Dům je postaven z cihel, je dvoupodlažní a podsklepený. V objektu se v přízemí nacházejí tři obytné místnosti: ložnice, obývací pokoj a dětský pokoj. V první podlaží pak obývací pokoj, dětský pokoj a ložnice.

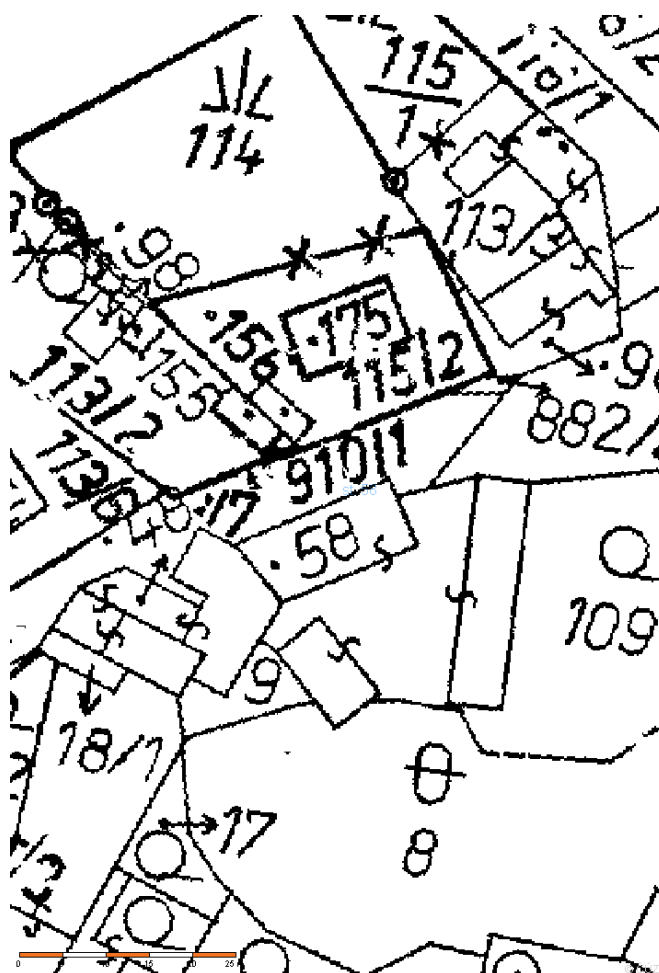
Měření OAR v tomto domě proběhlo v dvouměsíční době, na přelomu topné sezony ve dnech 22.3.2014 - 26.5.2014. Měření probíhalo za použití stopových detektorů RamaRn od Státního radiálního ústavu. Detektory byly umístěny v přízemí v dětském pokoji a v ložnici. Jedná se o místnosti, které v tomto období nebyly pravidelně obývány a nedocházelo zde tedy k častému větrání.

Tab. 5 Naměřené hodnoty OAR v místnostech Měřené objektu číslo 2

Místnost	Výsledné hodnoty OAR (Bq/ m ³)
dětský pokoj	152
ložnice	95

Vlastní zpracování

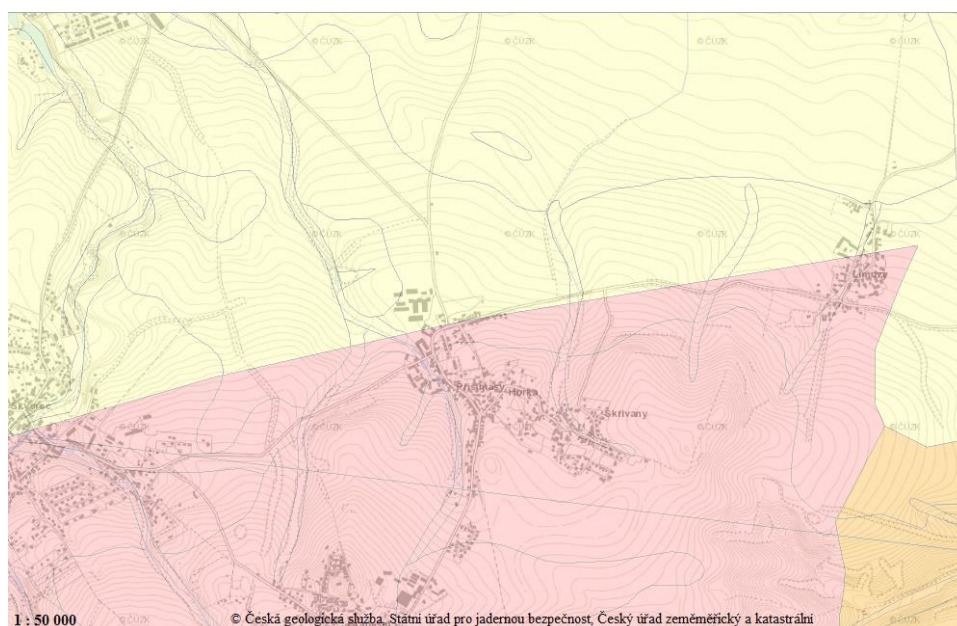
Získané výsledky byly porovnány se směrnou hodnotou pro rozhodování o snížení stávajícího ozáření z radonu, dle § 95, odst. 1 vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, kde je směrná hodnota 400 Bq / m³. Nedošlo tedy k překročení směrné hodnoty a není tedy potřeba podnikat další protiradonová opatření.



Obr. 21 Katastrální mapa Měřeného objektu číslo 2. Zdroj: ww.cuzk.cz

Středočeský kraj

Měření objektů probíhalo v katastrálním území obce Přišimasy - Skřivany, okres Kolín ve Středočeském kraji. Obec se z větší části nachází na geologickém podloží s vysokým radonovým indexem, viz prognózní mapa radonového indexu.



Radonový index 1 : 50 000	
červená	vysoký
oranžová	střední
žlutá	nízký
červená	kvartér, hlubší podloží vysoký
oranžová	kvartér, hlubší podloží střední
žlutá	kvartér, hlubší podloží nízký
bílá	nestanoven

Obr. 22 Geologické podloží obce Přišimasy - Skřivany

Zdroj: www.geology.cz

Měřený objekt číslo 3

Prvním měřeným objektem v obci Skřivany byl rodinný dům na parcelním čísle 204, s číslem popisným 55.

Rok kolaudace objektu je 1936 a poslední rekonstrukce domu proběhla v roce 2011. Dům je postavený z cihel a má odvětrávanou podlahu elementy Iglů (elementy IGLÚ vytvářejí dutinu pod podlahou, která zajišťuje provětrávání pod podlahou). Dům je

jednopodlažní a podsklepený. V objektu se nacházejí tři obytné místnosti: ložnice, obývací pokoj a jídelna.

Měření OAR v tomto domě proběhlo v dvouměsíční době, na přelomu topné sezony ve dnech 22.3.2014 - 26.5.2014. Měření probíhalo za použití stopových detektorů RamaRn od Státního radiálního ústavu. Detektory byly umístěny v obývacím pokoji a jídelně. Tyto místnosti byly během měření pravidelně obývány, větráno bylo vzhledem k nízkým venkovním teplotám minimálně.

Tab. 6 Naměřené hodnoty OAR v místnostech Měřené objektu číslo 3

Místnost	Výsledné hodnoty OAR (Bq/ m ³)
jídelna	67
obývací pokoj	84

Vlastní zpracování

Získané výsledky byly porovnány se směrnou hodnotou pro rozhodování o snížení stávajícího ozáření z radonu, dle § 95, odst. 1 vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, kde je směrná hodnota 400 Bq/m³. Nedošlo tedy k překročení směrné hodnoty a není tedy potřeba podnikat další protiradonová opatření.



Obr. 23 Katastrální mapa Měřeného objektu číslo 3

Zdroj : ww.cuzk.cz



Obr. 24 Element Iglú

Zdroj : <http://shop.zetr.sk/iglu-45-dutinovy-konstrukcny-prvok-vysky-450-mm.htm>

Měřený objekt číslo 4

Druhým měřeným objektem v obci Skřivany byl rodinný dům na parcelním čísle 362, s číslem popisným 104.

Rok kolaudace objektu je 2011. Dům je postavený z cihelných tvárnic Porotherm a při stavbě byla použita hydroizolační folie PENEFOL 750. Dům je dvoupodlažní a nepodsklepený. V přízemí se nacházejí 2 obývací místnosti: dětský pokoj a obývací pokoj, v prvním podlaží pak 3 obytné místnosti : ložnice a 2x dětský pokoj. Měření OAR v tomto domě proběhlo v dvouměsíční době, na přelomu topné sezony ve dnech 22.3.2014 - 26.5.2014. Měření probíhalo za použití stopových detektorů RamaRn od Státního radiačního ústavu. Detektory byly umístěny v přízemí v obývacím pokoji a dětském pokoji. Tyto místnosti byly během měření pravidelně obývány, větráno bylo vzhledem k nízkým venkovním teplotám minimálně.

Tab. 7 Naměřené hodnoty OAR v místnostech Měřené objektu číslo 4

Místnost	Výsledné hodnoty OAR (Bq/ m ³)
obývací pokoj	60
dětský pokoj	60

Vlastní zpracování

Získané výsledky byly porovnány se směrnou hodnotou pro rozhodování o snížení stávajícího ozáření z radonu, dle § 95, odst. 1 vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb, o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, kde je směrná hodnota 400 Bq/m³. Nedošlo tedy k překročení směrné hodnoty a není tedy potřeba podnikat další protiradonová opatření.

Výsledky výzkumné části

Výzkumnou část svojí práce jsem zaměřila na 4 objekty, které se nacházejí na geologickém podloží nízkého až vysokého radonového indexu. Jednotlivé výsledky byly rozdílné v závislosti na podloží a i na použití protiradonových elementů a roli zde hraje i použitý stavební materiál. Získané výsledky v obci Kámen u Pacova naznačují, že Objekt číslo 1 má OAR vyšší než Objekt číslo 2. V tomto případě usuzuji, že se jedná o zvýšení OAR z důvodu stavebního materiálu pocházejícího ze 70. let, kde je velká pravděpodobnost na zvýšený obsah radonu a zároveň se objekt

nachází na pozemku se středním radonovým indexem, kdežto Objekt číslo 2 je umístěn v části s nízkým stupněm radonového indexu.

V Objektu číslo 1 bych z důvodu překročení hranice 300 Bq/ m³ OAR navrhovala udělat základní protiradonová opatření :

- a) Opatření pro zamezení transportu vzduchu z nižších nebytových prostor do vyšších obytných podlaží (odizolování jednotlivých podlažích dveřmi apod.)
- b) Zvýšení těsnosti kontaktních ploch, utěsnění trhlin, trativodů apod.
- c) Zvýšení výměny vzduchu v neobytných sklepech a v ostatních prostorách v suterénních prostorech.
- d) Zvýšení výměny vzduchu v obytných místnostech, kde je výměna vzduchu pod hodnotou 0,3 h⁻¹.
- e) Odvětrání radonu z podloží pod stávající stavbou, bez nutnosti výměny podlahových krytin.

Ve Středočeském kraji v obci Přišimasy - Skřivany, je radonový index podloží, na kterém jsou stavby umístěny na středním stupni, naměřené hodnoty OAR jsou v porovnání s měřenými objekty na Vysočině nižší. Tuto skutečnost si vysvětluji použitím protiradonových elementů, tedy IGLÚ u měřeného objektu 3 a protiradonové hydroizolační folie v základní desce u měřeného objektu 4.

Tab. 8 Výsledné hodnoty OAR v jednotlivých měřených objektech

Měřeny objekt	Místnost	Výsledné hodnoty OAR (Bq/ m3)
Objekt číslo 1	obývací pokoj	298
	ložnice	309
Objekt číslo 2	dětský pokoj	152
	ložnice	95
Objekt číslo 3	jídlna	67
	obývací pokoj	84
Objekt číslo 4	obývací pokoj	60
	dětský pokoj	60

Vlastní zpracování

Na praktickém pokusu jsem také vyzkoušela funkci státu v otázkách zdraví obyvatel a radonové problematiky, kdy jsem využila možnosti bezplatného měření a zažádala SÚRO o měření OAR výše vytipovaných objektů a kde mi bylo velice ochotně ihned vyhověno. Doporučuji tedy využít možnosti bezplatného měření OAR se státní podporou, jako preventivního opatření i případným dalším zájemcům. Hodnotím tedy roli státu v této problematice velice kladně.

9. Diskuze

Radon svými účinky může negativně ovlivnit zdraví osob a častokrát je lidmi přehlížený, neboť bez bližšího seznámení s možnými problémy se může zdát tato problematika nezajímavá. Vzhledem k nebezpečí, které rakovina plic způsobuje, je potřeba na tuto problematiku nahlížet s vážností. Samotný stát v posledních dvou desetiletích této problematice věnuje velkou pozornost a celkový vývoj a materiály, které občanům dává k dispozici, je obsáhlý a hodnotím jej kladně. Nicméně i přes tuto snahu mi zájem ze strany veřejnosti přijde poměrně nízký, s ohledem na to, o jak závažné téma se v souvislosti s naším zdravým bydlením jedná. S aktivním přístupem státu se v posledních 20 letech objevují zajímavé publikace, pokroky ve stavebnictví, nové protiradonové materiály a prognózní mapy, takže možnosti, jak bojovat s vysokou koncentrací radonu od prevence až po větší zásahy, je díky těmto podkladům mnoho. Je jen na nás, jak moc se budeme snažit informovat a zlepšovat tak naši životní pohodu. Pokud budeme na radon nahlížet jako možné nebezpečí, budeme se aktivně zapojovat do vyhledávání míst se zvýšenou koncentrací, vytvoříme tak mnohem lepší podmínky našeho životního prostředí.

Předpokládám, že v příštích letech bude zájem veřejnosti o radonovou problematiku narůstat a dojde ještě k většímu zlepšení a radon nebude naše životní prostředí ohrožovat a do popředí se dostanou jeho pozitivní účinky ve zdravotnictví, kde je jeho působení kladné.

10. Závěr

V teoretické části jsem se zaměřila na popis samotného prvku, jeho rozpadové vlastnosti a vznikající nebezpečné ionizující záření, které má negativní vliv na naše buňky a může vyvolat rakovinou tvorné bujení. Zhodnotila jsem nebezpečí záření a zaměřila jsem se na vstup radonu do objektů, vytyčila základní možnosti protiradonových opatření, které bychom při překročení určitých hodnot měli v našich bytech povést. Nezastupitelnou roli v této problematice má stát a tedy legislativní opatření, které v ČR funguje a s tím vznikající Akční plány, jejichž hlavním cílem je snaha o informování obyvatel a následná případná finanční pomoc při provádění potřebných protiradonových opatření. V předkládané práci jsem shrnula hlavní informace radonové problematiky částí teoretickou a získané poznatky jsem následně aplikovala na praktickém pokusu. Ve 4 vytipovaných objektech jsem změřila OAR a výsledky mezi sebou porovнала. Jednotlivé rozdíly hodnot radonové koncentrace ukázaly na vliv geologického podloží, stavebního materiálu a velice kladný vliv ukázalo použití preventivních protiradonových opatření. V objektu, ve kterém byla překročena hodnota $300 \text{ Bq} / \text{m}^3$ jsem navrhla základní postupy, jak tuto hodnotu snížit, aby nedošlo ke vlivu na zdraví osob v domě pobývajících. V bakalářské práci jsem sjednotila hlavní informace a došla jsem k těmto dílčím zjištěním:

1. radon a jeho vlastnosti - jednoatomový radioaktivní plyn, jeho negativní vlastnosti byly objeveny již v 16. století, ale jako vzácný plyn byl objeven až ve století 20. Množství koncentrace radonu závisí na množství uranu v podloží - usazené horniny mají koncentraci nižší, nejvyšší koncentrace je u hornin přeměnných. Na povrch se radon dostává konvekci či difuzí, případně absorpcí do podzemní vody.
2. radon a jeho vliv na životní prostředí - rozpadové produkty negativně ovlivňují lidské zdraví, vdechnutím ulpívají na plicní výstelce a ionizují a ozařují vnitřní tkáň. Toto ozáření způsobuje rakovinové bujení a vznik rakoviny plic při dlouhodobém pobytu v obytných místnostech s vysokou koncentrací radonu.

3. druhy ionizujícího záření - alfa, beta, gama, neutronové a rentgenové. Na lidský organismus v souvislosti s radonem nejvíce působí záření gama. Biologické účinky záření gama na lidský organismus - stochastické účinky a nestochastické účinky.
4. zdroje radonu v budovách - radon uvolněný z geologického podloží, který je také nejvýznamnějším zdrojem. Radon pronikající ze stavebního materiálu, problematika především 80. let minulého století a radon obsažený v podzemní vodě, kde jsou limitní hodnoty vyhlášce č. 307/ 2002 Sb. o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/ 2005 Sb.
5. měření radonu - jednotkou radioaktivity je Becquerel, nejčastěji se vztahuje k objemové jednotce m^3 . Udává počet přeměn daného izotopu k jednotce objemu. Objemovou aktivitu radonu měříme v půdním vzduchu, z čehož pak určujeme radonový index pozemku (nízký, střední, vysoký). Z radonového indexu pozemku se dále určuje radonový index stavby. Radonový index vyjadřuje transportní schopnost radonu v hloubce 0,8 m pod povrchem. Při odběru půdního vzduchu se volí více odběrných míst. Dalším krokem je zjištění plynopropustnosti zeminy. Měření radonu v ovzduší budov probíhá po delší časový interval, jelikož objemová aktivita radonu se v průběhu dne a sezonních období mění. Minimální dobou pro měření je týden a používají se elektrotové dozimetry a nebo kontinuální monitory. Optimálnější výsledky se získají měřením více měsíčním, v průběhu topné sezony, za využití stopových detektorů RamaRn.
6. protiradonová opatření - protiradonová opatření preventivní před zahájením výstavby vycházejí z radonového indexu pozemku. Pokud je radonový index pozemku nízký, postačí běžná hydroizolace a není třeba dalších speciálních opatření. Pozemky se středním radonovým indexem je potřeba chránit hydroizolací s dlouhou životností s potřebnou tloušťkou protiradonové izolace dle součinitele difuze radonu. V podsklepených objektech postačí běžná hydroizolace. U pozemků s vysokým radonovým indexem je postup stejný jako u pozemků se středním indexem, ale pokud se naměřené hodnoty

pohybují u horní hranice, využívá se protiradonové izolace v konstrukcích, které jsou v přímém kontaktu s podložím. Protiradonová opatření u stávajících staveb se doporučují v případech, kdy EOAR přesahuje hranici 400 Bq / m³. Dle naměřených hodnot se postupuje k dalším opatřením, k odvětrávacím systémům, drenážním systémům. Pokud je zdrojem radonu stavební materiál, doporučuje se odstranit materiály o vysoké rychlosti plošné exhalace radonu (omítky, štuky), snížit pronikání radonu elastickými nátěry, tapety a odvětrávací systém v interiéru.

7. legislativní opatření ČR - první legislativní opatření s radonovou problematikou je z roku 1991, Vyhláška č. 76/1991 Sb. O požadavcích na omezování ozáření z radonu a dalších radionuklidů. V dalších letech Státní ústav pro jadernou bezpečnost přebírá správu legislativních opatření a v roce 2002 vydává vyhlášku č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně. 31. května 1999 schválen Radonový program na roky 2000 - 2009, na jehož výsledky navazuje ze dne 4. května 2009 radonový program 2010 -2019 - Akční plán. Cílem Akčního plánu je snížit počet úmrtí na rakovinu plic z důvodu ozáření radonem.

V bakalářské práci byly shrnuty a uceleny důležité informace ohledně vlivu radonu a jeho produktů na životní prostředí a zdraví obyvatel a je jasné patrné, že se jedná o závažnou problematiku, které by se obyvatelé ve vlastním zájmu měli věnovat. Nezapomínat na radon při koupi nemovitosti a zjišťovat koncentraci ve vlastním zájmu i u starších budov. Vlastním pokusem jsem zjistila, že přístup Státního ústavu radiační ochrany je pro veřejnost přívětivý a preventivní změření koncentrace radonu je díky pomoci ústavu velice snadné. S ohledem na získané znalosti a potřebné větrání budovy pro snížení objemové aktivity radonu, bych se v dalším zpracování zaměřila na ztrátu nákladů za energii, která provětráváním vzniká. Problematika ztráty tepelné energie a s tím spojené využívání efektivních vzduchotechnických zařízení by mohla být námětem na pokračování této práce v magisterském stupni studia.

Literatura

- Barnet, I. Mikšová, J. (2002):** Geological support to the National Radon Programme. Bulletin of the Czech Geological Survey. Vol. 77, No. 1, s. 13 – 22. Praha
- Barnet, I. Pacherová, P. Neznal, Martin Neznal Matěj (2008):** Radon in Geological Environment Czech Republic. Czech geological survey special papers. Praha.
- Barnet, I. (1992):** Radonové riziko České republiky, MŽP ČR
- Barnet, I. (1993):** Problémy objektivního hodnocení radonového rizika. ČGÚ Praha
- Barnet, I. (1993):** Radon risk research in the Czech Republic. In: Zprávy o geologických výzkumech v roce 1992
- Barnet, I. (1994):** Radon risk classification for building purposes in the Czech Republic. In: Radon investigations in the Czech Republic V and the second international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. ČGÚ. Praha
- Barnet, I. (2004):** Indoor radon related to uranium in granitoids of the Central Bohemia plutonic complex. 4th European Conference on Protection against Radon at Home and at Work. Czech Techn. Univ. Prague
- Barnet, I. , Pacherová, P. , Procházka, J. (2008):** Radon v půdním plynu v kontaktně metamorfovaných rohových blovcích blovického proterozoika. Zprávy o geologických výzkumech v roce 2008, 140-142. ISSN 0514-8057
- Benada J. (2010):** Stanovení hmotnostní aktivity 226Ra. MS Kutná Hora
- Berka, Z.:** Základy a principy detekce radonu. Praha : ČVUT Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
- Broncová, G. Prokopec, V. (2010):** Stanovení radonu in situ ve vzorcích podzemní vody ze štoly Josef. VŠCHT Praha
- Darby S., et al. (1995)** Residential Rado and Lung Cancer:Detailed Results of a Collaborative Anallysis of individual data from 13 European case-control studies
- Hampl, L. (2008):** Radon a životní prostředí. Bakalářská práce. MUNI, Brno
- Holzbecher, J.(1974):** Analytická chemie. SNTL Praha
- Jiránek M., (2000):** Izolace proti radonu. Návrh a pokládka izolací v nových

stavbách. SÚJB Praha

Jiránek M., (2000): Opatření proti radonu ve stávajících budovách. SÚJB Praha

Jiránek, M., Pospíšil, S. (1993): Radon a dům. 1. vyd., Praha.

Jiránek, M. Honzíková, M. (2012): Volba protiradonových opatření v nových i stávajících budovách. SÚJB Praha

Lovborg L. (1984): The calibration of portable and airborne gamma-ray spectrometers - theory, problems, and facilities. Denmark

Matolín, M. (1970): Radioaktivita hornin Českého masivu. Ústřední ústav geologický. Praha

Neznal et al. (2004): Nová metodika stanovení radonového indexu pozemku. ČGÚ Praha

Neznal, M. Neznal, M. (2007): Vstupní měření radonového indexu před výstavbou nových budov. In: Bezpečnost jaderné energie. Praha

Neznal, M. (2004): International intercomparison measurement of soil-gas radon concentration, of radon exhalation rate from building materials and of radon exhalation rate. Prague

Petrová, K. (2009): Radon v příštím desetiletí. In: RADON bulletin 7/2009. SÚJB Praha 52

SÚJB (2004): Metodika pro stanovení radonového indexu pozemku. SÚJB Praha

Thomas J.,(2009): Radon a veřejné zdraví ve světě In: RADON bulletin 12/ 2009. SÚJB Praha

Tylová, E. (1994): Radon program - a part of the environmental protection program in the Czech Republic. In: Radon investigations in the Czech Republic V and the second international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. ČGÚ. Praha.

Škaloud, J. (2010): Radon-zdroj strachu, nemoci i zdraví. In: Nová REGENA 11/2010

Šurán, J. (1998): Hodnocení efektivnosti metod vyhledávání uranových ložisek. Uhlí, Rudy, geol. Průzk., 12, Praha

Švec J., Kunz E., Plaček V. (1976): Lung cancer in uranium miners after long- term exposure to radon daughter products. In: Healt phys 30

Švec, J.,Tomášek, L., Plaček, V., (1991): Riziko zhoubného novotvaru plic při

Internetové zdroje

<http://www.sujb.cz/>

<http://www.suro.cz/>

<http://www.who.int/>

<http://www.radon-vos.cz/>

<http://www.epa.gov/>

<http://www.geology.cz/>

<http://www.laznejachymov.cz/>

<http://www.coleman.cz>

<http://shop.zetr.sk>

Právní předpisy

Norma ČSN 73 0600 Hydroizolace staveb – základní ustanovení

Norma ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží

Norma ČSN 73 0602 Ochrana staveb proti Radonu a záření gama ze stavebních materiálů

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci

Usnesení vlády ČR ze dne 31. 5. 1999 č. 583 o Radonovém programu České republiky

Usnesení vlády ČR ze dne 7. 10. 2002 č. 970, o změně usnesení vlády ČR ze dne 31. 5. 1999 č. 583 o Radonovém programu ČR.

Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb

Vyhláška SÚJB č.307/2002 Sb. o radiační ochraně

Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven

Vyhláška 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

Vyhláška č. 462/2005 Sb., o distribuci a sběru detektorů k vyhledávání staveb s vyšší úrovní ozáření z přírodních radionuklidů a stanovení podmínek pro poskytování dotace

Vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb

Vyhláška č. 503/2006 Sb., o podrobnější úpravě územního řízení veřejnoprávní smlouvy a územního opatření

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) v platném znění

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, v platném znění

Zákon č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, v platném znění