

Uhelné elektrárny a radioaktivita

Pavel Janota
CH3ZP/III.

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel JANOTA**
Osobní číslo: **T090041**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Inženýrství ochrany životního prostředí**

Téma práce: **Uhelné elektrárny a radioaktivita**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární studii z dostupných materiálů.
2. Pokuste se získat i historická data z období přidávání popílku do stavebních materiálů (sedmdesátá léta minulého století).
3. Zaměřte se i na současné povolené hodnoty radiace ve stavebních materiálech.
4. Získaná data kriticky zhodnoťte a zpracujte jak v písemné podobě obvyklé v bakalářské práci (viz instrukce UTB pro zpracování BP), tak v prezentaci (PowerPoint).

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího bakalářské práce. Stávající monografická a časopisecká literatura na ÚIOŽP, UK UTB a jiných knihovnách. Elektronické informační zdroje (www-stránky, databáze Web of Science a další).

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Josef Houser, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

18. května 2012

Ve Zlíně dne 13. února 2012

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



doc. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Janota Pavel.....

Obor: CHTM-10ŽP.....

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 14.5.2012.....


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Uhelné elektrárny jsou stále významným zdrojem elektrické energie, v některých případech však mohou spalovat uhlí, které obsahuje větší množství uranu, thoria či produktů jejich rozpadu a stát se tak původcem radioaktivního odpadu. Tento odpad pak může být využit k výrobě stavebních materiálů, které se pak mohou podílet na zvýšené koncentraci radonu v domě.

Klíčová slova: Uhelné elektrárny, radioaktivita, radon, stavební materiál, popílek

ABSTRACT

Coal-fired power stations are still significant sources of electricity, but in some cases, a coal that contains higher amount of uranium, thorium or their decay products can be burnt, so they can become an originator of radioactive waste. This waste can be used to make building materials, which could participate on higher concentration of radon in a house.

Key words: Coal-fired power stations, radioactivity, radon, building material, fly ash

Zde bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Josefu Houserovi, Ph.D. za rady a připomínky, jež mi pomohly při psaní. Své díky bych chtěl rovněž vyjádřit mé rodině a přátelům za neustálou podporu.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ZÁKLADNÍ POJMY, VELIČINY A JEDNOTKY	10
2 RADIOAKTIVITA A UHLÍ	14
2.1 PŘÍPAD RAKOUSKÉ JADERNÉ ELEKTRÁRNY ZWENTENDORF A ARGUMENTY K JEJÍMU SPUŠTĚNÍ	14
2.2 EMISE RADIOAKTIVNÍCH LÁTEK Z UHELNÝCH ELEKTRÁREN	14
2.3 PŘÍKLADY URANONOSNÉHO UHLÍ V ČESKÉ REPUBLICE.....	16
2.4 SKUTEČNÁ RIZIKA RADIACE VE SPOJITOSTI S UHELNÝMI ELEKTRÁRNAMI	16
3 RADIOAKTIVNÍ STAVEBNÍ MATERIÁLY V ČR	19
3.1 VLASTNOSTI ELEKTRÁRENSKÉHO POPÍLKU A JEHO VYUŽITÍ VE STAVEBNICTVÍ	19
3.2 PŘÍPADY VYSOCE RADIOAKTIVNÍCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ V ČESKÉ REPUBLICE	20
3.3 OPATŘENÍ PROTI RADONU A GAMA ZÁŘENÍ ZE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ.....	23
3.3.1 Odstranění materiálů, z kterého radon uniká.....	23
3.3.2 Využití neprodyšné úpravy vnitřního povrchu staveb pomocí nátěrů a tapet.....	23
3.3.3 Odvětrávání z interiéru	23
3.3.4 Opatření proti gama záření.....	24
4 LEGISLATIVA V PROBLEMATICE RADONU	25
4.1 VÝVOJ LEGISLATIVY OD ROKU 1987 PO SOUČASNOST	25
4.2 POVINNOSTI VÝROBCŮ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ PLYNOUCÍ Z ATOMOVÉHO ZÁKONA	26
4.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ RADIOAKTIVITY STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	28
4.4 RADONOVÝ PROGRAM.....	29
5 POPÍLEK JAKO ZDROJ URANU PRO JADERNÉ ELEKTRÁRNY	31
ZÁVĚR	32
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	33
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	36
SEZNAM OBRÁZKŮ	37
SEZNAM TABULEK	38

ÚVOD

V roce 1978 bylo v Rakousku rozhodnuto, že právě vybudovaná jaderná elektrárna Zwentendorf nebude uvedena do provozu. V nedávné době však vzniklo občanské sdružení, jehož cílem je naopak uzavřít blízko vybudovanou uhelnou elektrárnu. Jako jeden z argumentů byl použit i fakt, že tato uhelná elektrárna produkuje větší množství radioaktivního odpadu, než běžná elektrárna jaderná.

V dnešní době se stává běžnou praxí využívání odpadních produktů jako zdrojů nových surovin pro další výrobu, a to z důvodů ekonomických i ekologických. Existují právní předpisy, které udávají, jaké fyzikální vlastnosti a chemické složení by měl odpad mít nebo jakou technologii je vhodné použít pro jeho zpracování. Ovšem dříve tento problém legislativně ošetřen nebyl, v důsledku čehož docházelo k použití nevhodných surovin při výrobě. Práce se konkrétně zabývá přidáváním radioaktivních produktů spalování uhlí do stavebních materiálů. Uhlí totiž v malé míře obsahuje radioaktivní uran, jehož produktem rozpadu je mimo jiné i radon. Známý jsou případy, kdy se použitý elektrárenský popílek či škvára značně podílely na zvýšené koncentraci radonu v domech, což může mít významný dopad na zdraví jejich obyvatel. V některých případech byla tedy nutná sanace.

Díky těmto okolnostem bylo zařazení problematiky radonu do legislativního rámce ČR nevyhnutelné. Proto již dnes existují směrnice, které stanovují směrné a mezní hodnoty obsahu radionuklidů ve stavebních materiálech, a které jsou jak výrobci, tak dovozci povinni dodržovat. Dále byly uvedeny v platnost vyhlášky určující maximální koncentraci radonu v místnostech ve stávajících i nových budovách. Ty souvisejí s takzvaným Radonovým programem ČR, jenž si také klade za cíl vzbudit zájem o tuto problematiku v doposud chladné a málo informované veřejnosti.

V posledních kapitole je zmíněna možnost získávat uran z elektrárenského popílku pro jaderné elektrárny.

1 ZÁKLADNÍ POJMY, VELIČINY A JEDNOTKY

Jádro atomu je tvořeno protony a neutrony. Počet protonů označujeme jako protonové číslo Z a počet neutronů jako neutronové číslo N . Celkový počet částic v jádře pak udává nukleonové číslo A podle vztahu:

$$A = Z + N \quad (1)$$

Nuklidy jsou látky, které jsou složeny z atomů shodujících se jak v protonovém, tak neutronovém čísle. Prvky se pak skládají z atomů, jejichž protonové číslo je stejné, ovšem neutronová (a tedy i nukleonová) čísla se různí. Tyto atomy nazýváme izotopy. Například uran se v rudách vyskytuje jako ^{238}U a ve velmi malé míře i jako ^{235}U . Uran se také řadí mezi nestabilní prvky, který podléhá radioaktivnímu rozpadu [1].

Zákon radioaktivní přeměny popisuje průběh rozpadu jader nestabilních nuklidů v závislosti na čase. Uvažujeme-li, že N_0 značí počet nerozpadlých jader v čase t_0 , můžeme úbytek těchto jader v čase zapsat jako:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N \quad , \quad (2)$$

kde λ označujeme jako rozpadovou konstantu (s^{-1}). Integrujeme-li tuto rovnici, dostaneme vztah:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Dosadíme-li do tohoto vztahu $N = N_0/2$, lze po úpravě získat čas, za který se rozpadne právě polovina jader, takzvaný poločas rozpadu T :

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (4)$$

Rychlost radioaktivní přeměny pak charakterizuje aktivita A příslušného radionuklidu, která se vyjadřuje vztahem:

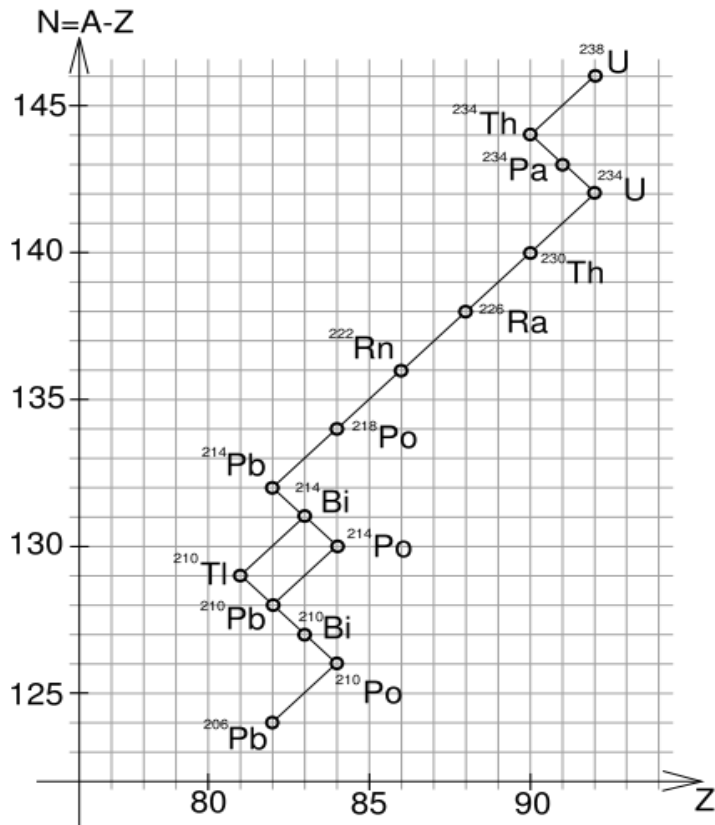
$$A = \frac{dN}{dt} \quad (5)$$

Jednotkou aktivity je becquerel (Bq) a udává počet jaderných přeměn za sekundu. V praxi jej pak často vztahujeme na hmotnost (Bq/kg) či objem (Bq/m³) uvažované látky [1].

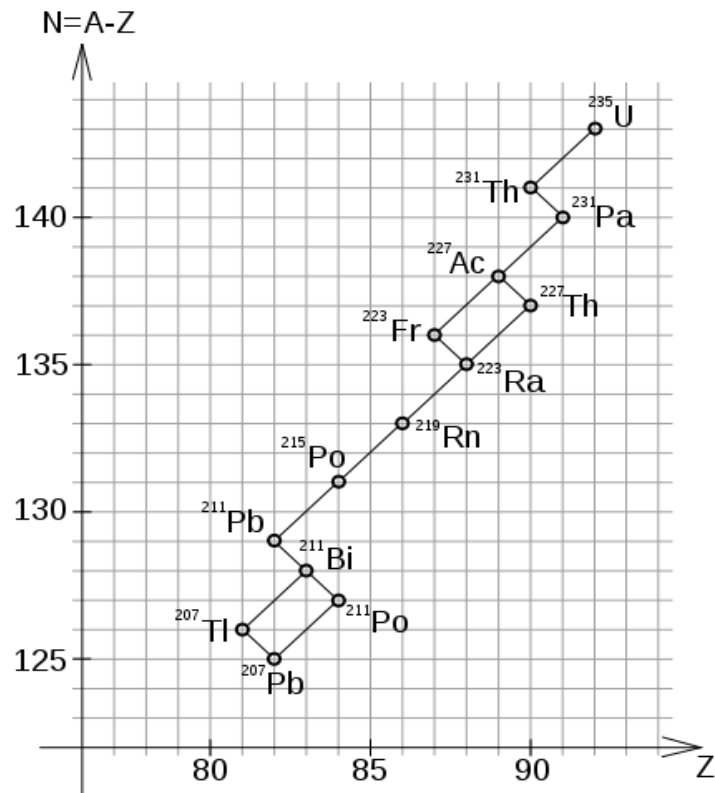
Dále rozeznáváme tři druhy takzvaných přírodních rozpadových řad, které znázorňují schéma rozpadu nestabilních jader. Jedná se o uranovou (obr. 1), aktinouranovou (obr. 2) a thoriovou (obr. 3) řadu. Během radioaktivní přeměny dochází i k uvolňování radioaktivní záření, nejznámější 3 typy jsou:

- a) Záření alfa, které je nejméně pronikavé. Je tvořeno kladně nabitými částicemi, takzvanými heliony, které obsahuje dva protony a dva neutrony. V porovnání se zbylými dvěma zářeními se alfa částice pohybují relativně pomalu.
- b) Záření beta, jehož částicemi mohou být buď záporně nabitě elektrony či kladně nabitě pozitrony. Může se pohybovat různě rychle a je pronikavější než záření alfa (lze jej zadržet například 1 mm tenkou olověnou deskou).
- c) Záření gama je nejpronikavější. Jedná se o vysoce energetické elektromagnetické záření, které je tvořeno fotony. Vzniká společně s alfa a beta zářením při radioaktivní přeměně jader atomů.

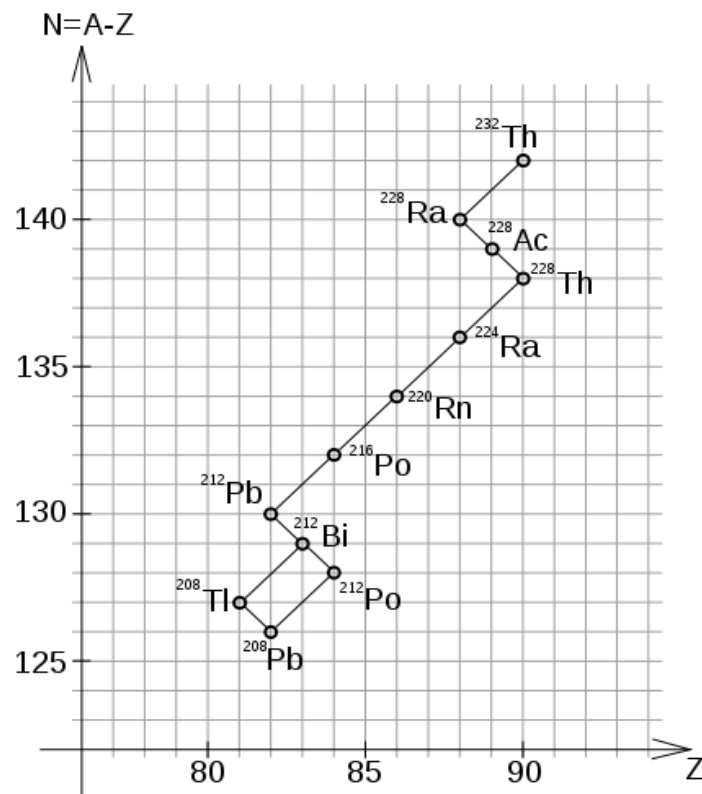
K popisu účinku záření se používá takzvaná absorbovaná dávka záření, jejíž jednotkou je gray (Gy). Jedná se o energii o velikosti jeden joule, kterou absorbuje jeden kilogram látky. Vztáhneme-li tuto veličinu na čas, dostaneme dávkový příkon gama záření, jenž se nejčastěji udává v Gy/h. Jelikož mají jednotlivá záření při ekvivalentní dávce různé účinky, používá se veličina, která je všechny zahrnuje. Jedná se o efektivní dávkový ekvivalent. Jeho jednotkou je sievert (Sv), avšak v praxi se nejčastěji používají mSv či μ Sv. I v tomto případě se pak udává intenzita ozáření vztažena na jednotku času, nejčastěji na hodinu (mSv/h a μ Sv/h), při vynásobení číslem 8760 pak i za rok [1, 2].



Obr. 1: Schéma uranové rozpadové řady [2].



Obr. 2: Schéma aktinouranové rozpadové řady [2]



Obr. 3: Schéma thoriové rozpadové řady [2]

Vzhledem k tomu, že ^{235}U se v uhlí vyskytuje ve velmi malém množství, je obvykle vliv jeho i jeho produktů rozpadu zanedbáván. Zabýváme-li se koncentrací radonu v domě, nebývá naopak brána v potaz řada thoriová, neboť její radionuklid ^{220}Rn má oproti ^{222}Rn vzniklým z uranové řady malý poločas rozpadu (55,6 sekundy), nemůže se tedy v interiéru nahromadit ve větší míře [2, 3].

2 RADIOAKTIVITA A UHLÍ

2.1 Případ rakouské jaderné elektrárny Zwentendorf a argumenty k jejímu spuštění

V roce 1978 proběhlo v Rakousku celonárodní referendum o uvedení právě dostavěné jaderné elektrárny Zwentendorf do provozu, v němž 50,47 % obyvatel hlasovalo proti jejímu spuštění. Rovněž byl poté uveden v platnost zákon, který zakazoval výrobu jaderné energie v Rakousku. Jelikož byla v okolí Zwentendorfu již vystavěna funkční infrastruktura (železnice, silnice, vedení vysokého napětí), byla nedaleko této jaderné elektrárny postavena uhelná elektrárna Dürnrohr, která měla spalovat české a polské uhlí. O jejím spuštění ovšem žádné referendum neproběhlo. I toto byl důvod, proč vzniklo občanské sdružení Start Zwentendorf, které se snaží přimět rakouskou vládu ke spuštění jaderné elektrárny, protože jsou přesvědčeni, že je daleko šetrnější k životnímu prostředí, než běžné elektrárny uhelné. Lidé ze sdružení argumentují mimo jiné i tím, že vzhledem k faktu, že průměrný obsah uranu v českém uhlí činí 5-10 ppm, a že elektrárna Dürnrohr má dva kotle, ve kterých se dle slov jejího technika spálí 440 tun uhlí za hodinu, lze si spočítat, že každou hodinu může elektrárna vyrobit 2,2 – 4,4 kg uranu. Z toho polovina se ho pak přemístí do komína, kde mu před jeho únikem do ovzduší ještě brání filtry, které mají účinnost 97 %. Druhá polovina vyprodukovaného uranu se uchovává ve škváře [4].

Rakouská vláda se svou protijadernou politikou snaží prosadit mimo jiné i v okolních státech (podpořila například hnutí proti Temelínské jaderné elektrárně a to sumou 40 miliónů šilinků). Díky nedostatečnému množství vyrobené elektřiny je ovšem třeba do Rakouska elektřinu dovážet a 30 % této elektřiny je paradoxně vyrobeno jadernými elektrárnami [4].

2.2 Emise radioaktivních látek z uhelných elektráren

Ač se uhlí skládá převážně z organické hmoty, obsahuje i malé množství anorganických látek (minerálů, stopových prvků), které mohou mít

negativní dopad na zdraví člověka i životní prostředí nebo mohou po technologické stránce omezovat možnost jeho využití. Mezi rizikové prvky řadíme thorium (který se v uhlí vyskytuje hlavně ve formě fosfátových minerálů), uran (ten se může nacházet v minerální i organické části) a také produkty jejich rozpadu, jako jsou radium a zejména pak radon. Tyto radioaktivní prvky nejsou z chemického hlediska natolik toxické, jako jiné v uhlí obsažené látky (například rtuť, arsen, či selen), ovšem možné riziko ozáření se stalo důvodem, proč se zabývat jejich koncentrací ve využívaném uhlí. Jako příklad koncentrace radioaktivních prvků v uhlí slouží tab. I [5].

Uhelné elektrárny produkují radioaktivní emise jednak ve formě radioaktivních aerosolů (klasická hnědouhelná elektrárna o výkonu 1 000 MW vypouští ročně do ovzduší množství aerosolů a celkové aktivitě asi 0,5 GBq, ale také v pevné formě (popílek a škvára). Během spalování uhlí se totiž většina uranu, thoria a jejich produktů rozpadu uvolní ze struktury uhlí a rozdělí se mezi pevný a plynný podíl. Poměr, jakým se tak stane, závisí hlavně na chemismu a stálosti toho kterého prvku. Například stálější prvky jako uran, thorium a většina produktů jejich rozpadu zůstanou z naprosté většiny v pevném podílu. Plynný podíl se může podílet na zvýšené koncentraci radioaktivních látek v blízkém ovzduší uhelné elektrárny, ovšem podle posledních studií se nikdy nejednalo a tak radikální zvýšení přítomnosti přírodních radionuklidů, aby se závažně projevíly na zdraví člověka. Polétavý popílek může také kontaminovat povrchovou vodu v blízkosti elektrárny. Má-li například voda kyselejší charakter, může dojít k rozpuštění minerálního podílu v popílku a uvolnění uranu, thoria a jejich produktů rozpadu. V tomto případě se ovšem většina takto rozpuštěných prvků sorbuje na soli či přítomný kámen. Ani v tomto případě nedošlo z hlediska ozáření k nebezpečně zvýšeným koncentracím radioaktivních prvků [5, 6].

Tab. I: Výsledky analýzy Ústavu nerostných surovin Kutná Hora z hlediska koncentrací radioaktivních prvků pro mostecko-chomutovské a sokolské uhlí [6].

		U	Th	Ra
mostecko-chomutovské uhlí	popílek (ppm)	14,3	19,6	6,5
	škvára (ppm)	11,9	16,8	5,3
sokolovské uhlí	popílek (ppm)	16,9	22,3	8,2
	škvára (ppm)	12,6	17,0	5,8

2.3 Příklady uranonosného uhlí v České republice

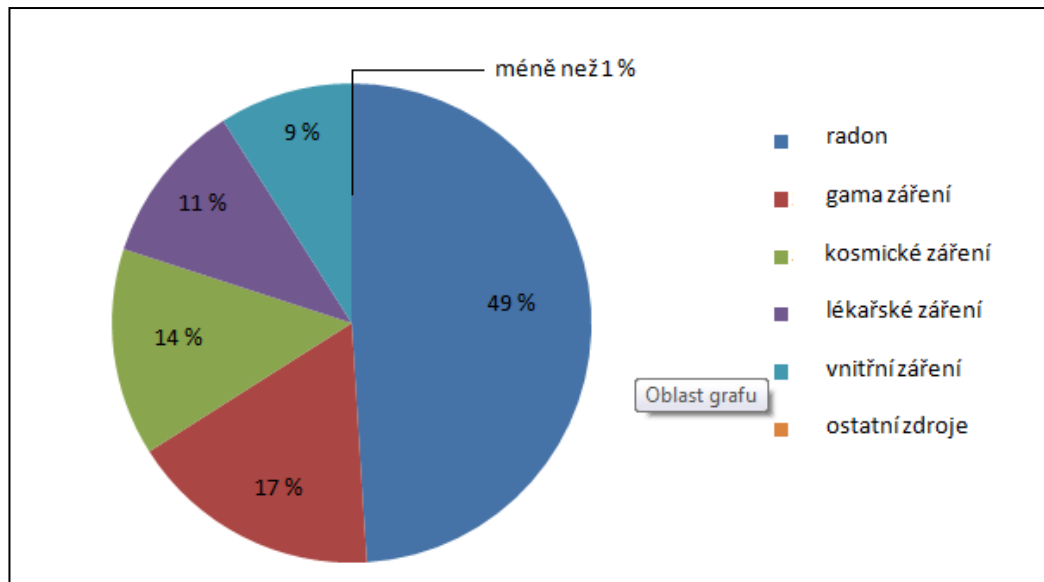
V České republice bylo zaznamenáno několik případů, kdy se vytěžené uhlí používalo jako uranová ruda. Ve východočeském uhelném revíru se jedná například o důl Kateřina (dříve Stachov) v Radvanicích, z něhož bylo v letech 1953-1961 vytěženo 387 tun uranu. Důvodem bylo, že obsah uranu v tomto uhlí činil 0,29 %. V témže revíru se nachází i důl Rybníček, z něhož se podařilo získat 171 tun uranu, jehož obsah v uhlí byl 0,16 %. Uran z uhlí byl získáván hydrometalurgicky v chemických úpravárnách. Tento proces však bývá spojen s velkými ztrátami. Toto uhlí se díky své struktuře ani nedalo použít jako palivo do uhelných elektráren. Těžba uhlí se tedy z ekonomického hlediska stala ztrátovou, což byl důvod, proč od ní nakonec bylo upuštěno [7].

2.4 Skutečná rizika radiace ve spojitosti s uhelnými elektrárnami

Do bezprostředního kontaktu s radioaktivními prvky z uhelné elektrárny může člověk přijít buď ve formě dispergovaných částic ve vzduchu či povrchové vodě a také v případě, že byl pevný odpadní produkt použit k výrobě komerčních materiálů, zejména pak stavebních [5].

Každý člověk je dnes vystaven radioaktivnímu záření, ať už ze zdrojů přírodních či umělých. Podle posledních poznatků je pro člověka nutná

krátkodobá dávka 1 000 mSv k tomu, aby se u něj začaly projevovat příznaky onemocnění, ať už například rakoviny či leukémie. Navíc bylo zjištěno, že průměrná dávka obyvatele naší planety činí 2,69 mSv/rok. Zastoupení jednotlivých zdrojů je patrné z obrázku č. 4 [8].



Obr. 4: Podíly jednotlivých zdrojů záření na celkové dávce [8]

Mezi ostatní zdroje řadíme i ozáření z látek z uhelných elektráren, které unikly do ovzduší (tedy již zmíněný aerosol a malé procento polévatého popílku). To však činí méně než 0,001 mSv/rok. Během samotného spalování uhlí se uvolňuje daleko více záření. Uvádí se, že spalování se může na celkové roční dávce záření podílet až hodnotou 0,04 mSv [8].

Z obrázku je patrné, že téměř polovinu veškerého ozáření způsobuje radon. To je dáno tím, že je radon jako jediný ze své rozpadové řady bezbarvý plyn a může proto snadno uniknout z geologického podloží a zvyšovat svou koncentraci zejména v domech. Jeho poločas rozpadu činí 3,82 dne. Sám o sobě není tolik škodlivý, problematičtější jsou hlavně jeho dceřiné produkty s krátkým poločasem rozpadu, které se po inhalaci mohou usadit v plicích či průduškách a tím zapříčinit škodlivé ozáření (předpokládá se, že radon je druhou nejčastější příčinou rakoviny plic hned po kouření). Radon se v domě může vyskytovat ale i díky stavebním

materiálům, které byly vyrobeny z nevhodných surovin. Jedná se zejména a takové materiály, ve kterých se vyskytoval elektrárenský popílek či škvára, které obsahovaly zvýšenou koncentraci radioaktivních prvků. Třetím a nejméně významným zdrojem radonu v domě je voda. Vzhledem k tomu, že ve stavebnictví se struska uplatňuje při dopravní a inženýrské výstavbě nebo k zasypávání vytěžených dolů či lomů, může dojít ke kontaminaci podzemní vody. V zemské kůře se ovšem radioaktivní prvky nacházejí běžně, proto se tento odpadní produkt na koncentraci radioaktivních prvků v podzemní vodě významněji nepodílí [5, 9].

Je třeba zmínit i to, že lidé málo znalí radonové problematiky podléhají v některých případech takzvané radonfóbie, tedy strachu z ozáření. Dopad na zdraví takto postiženého jedince může být však i závažnější, než reálná zdravotní újma způsobená koncentrací radonu 600 Bq/m^3 [9].

3 RADIOAKTIVNÍ STAVEBNÍ MATERIÁLY V ČR

3.1 Vlastnosti elektrárenského popílku a jeho využití ve stavebnictví

Popílek tvoří jemné částice převážně v rozmezí velikosti 0,01-0,2 mm. Tato velikost i celkové složení popílku se ovšem může v jednotlivých elektrárnách různit, neboť záleží i na kvalitě uhlí, jemnosti jeho namletí i na účinnosti odlučovače popílku z kouřových plynů. Popílek má výraznou sorpční schopnost pro vodu, dokonce větší než většina půd. To se projevuje tím, že i za extrémního sucha mají rostliny na popílku dostatečný přísun vody, zatímco na běžné půdě vadnou. Z chemického hlediska se jak popílek z hnědouhelné tak černouhelné elektrárny skládá převážně z 50 % oxidu křemičitého, 25 - 30 % oxidu hlinitého a 3 - 8 % oxidu železnatého. Může také obsahovat malé procento oxidů titanu, draslíku nebo hořčíku [10, 11].

Díky své struktuře našel popílek ve stavebnictví široké uplatnění. Používá se převážně:

- 1) při výrobě betonů či malt, kde funguje jako pojivo,
- 2) při provádění zemních prací, jako jsou obsypy, zásypy, hutněné násypy, podklady pro vozovky nebo stabilizace základových půd. Tím se dosáhne nejen úspory pojiv, ale i přírodního kameniva. Před vlastním začleněním do výrobního procesu je třeba provést několik technologických a chemických zkoušek, jako jsou třeba stanovení jemnosti, vlhkosti a objemové stálosti nebo chemický rozbor a dále taky fyzikálně mechanické zkoušky výsledného materiálu [10].

V prvním uvedeném případě popílek zčásti nahrazuje cement nebo vápno. Při použití 50 kg popílku lze ušetřit až 20 kg cementu na 1 m³ betonu. Takto vyrobený beton má pak i větší pevnost v tlaku, lepší zpracovatelnost a větší odolnost proti agresivním vodám. Je proto vhodný při výstavbě masivních konstrukcí. Popílek snižuje objemovou hmotnost betonu, snižuje i spotřebu vody a koeficient roztažnosti betonu a v kombinaci s plastifikátory zvyšuje vodotěsnost betonu. Úspora kameniva i

pojiv je dokonce větší při výrobě malt. Jedná se převážně o malty pro zdění či hrubé vrstvy omítek. V druhém případě slouží popílek jako náhrada přírodního kameniva. Lze ho tedy použít namísto křemičitého písku jako plnivo při výrobě autoklávovaných pórobetonů (druh lehčeného betonu s výbornými tepelně i zvukově izolačními vlastnostmi) [10].

3.2 Případy vysoce radioaktivních stavebních materiálů v České republice

Ačkoliv je hlavním zdrojem radonu v domech horninové podloží, bylo v České republice během sedmdesátých a osmdesátých let zaznamenáno několik případů, kdy se na zvýšené koncentraci radonu podílel i použitý stavební materiál. Poměr radonu, který se z tohoto materiálu uvolnil a radonu, který v materiálu vznikl, se nazývá emanační koeficient a udává se v %. Tyto případy lze rozdělit do tří skupin:

- 1) Domy k jejichž výstavbě byl použit pórobeton, v němž se jako plnivo vyskytoval popílek z uhelné elektrárny.
- 2) Domy z betonu, který obsahoval elektrárenskou škváru.
- 3) Domy v Jáchymově, které byly kontaminovány residui z dnes již neexistujících továren na uranové barvy a radium.

K prvnímu případu poslouží jako příklad výroba plynosilikátových tvárnic v Poříčí u Turnova. Při výrobě těchto tvárnic byl v letech 1956 až 1984 použit elektrárenský popílek. Ovšem černé uhlí, jež používala tamní elektrárna, pocházelo ze žacléřsko-svatoňovické uhelné pánve bohaté na uranovou rudu, v důsledku čehož dosahovala hmotnostní aktivita tohoto popílku až 900 Bq/kg. Dalším problémem byl relativně vysoký emanační koeficient tohoto materiálu, který se blížil až 30-ti % (porovnání s ostatními materiály v tab. II), proto byla koncentrace radonu v interiéru v některých případech až 1 000 Bq/m³. Dávkový příkon gama záření činil 0,1 - 0,3 μGy/h [12].

Tab. II: Průměrný emanační koeficient vybraných stavebních materiálů [13].

stavební materiál	koeficient emanace [%]
stavební kámen	10,9
cihly	1,5
beton	22,5
pórobeton	26,0
škvárobeton	5,7
malty	13,2
omítky	6,6
písek	14,5
popílek škvára	2,0

Společnost Prefa Hýskov od konce 60-tých let do roku 1986 vyráběla betonové panely a tvárnice ze škváry, která pocházela z elektrárny v Rynholci ve středních Čechách. Na konci 50-tých let bylo sice tehdejší orgánem hygienické služby zakázáno používat tuto škváru ke stavebním účelům, ovšem nové vedení firmy zákaz nebralo v úvahu. Později se ukázalo, že škvára obsahovala vysoké koncentrace radia (1 000 až 4 000 Bq/kg). Tento stavební materiál byl použit hlavně pro výstavbu montovaných rodinných domků a také na panelové domy na některých sídlištích. Sloužil ke konstrukci jak obvodových, tak nosných stěn, příčné stěny byly většinou z cihel. Celkově se odhaduje, že se jednalo o asi tři tisíce staveb po celé republice, z nichž byla většina postavena ve Středních Čechách v okolí Prahy. Koncentrace radonu v těchto obydlích se pohybovala v rozmezí 200 - 800 Bq/m³ (díky tomu, že koeficient emanace tohoto stavebního materiálu činila 1 - 5%) a dávkový příkon gama záření v rozmezí 0,5 - 2 μGy/h. Usnesením vlády České republiky ze dne 12. prosince 1991 č. 520 bylo majitelům těchto domů umožněno odkoupení nemovitosti ze státních prostředků [12, 14].

Nejznámějším a zároveň nejnebezpečnějším případem jsou domy postavené v Jáchymově. V tomto stavebním materiálu se sice nevyskytovaly odpadní produkty z elektráren, ovšem díky míře překročení koncentrace radonu v těchto obydlí se právě tento případ stal hlavním impulsem k tomu, aby se problematika radonu legislativně ošetřila. Ještě před Druhou

světovou válkou bylo podloží těchto domů kontaminováno zbytky po těžbě uranu a stříbra, navíc byly k jejich konstrukci použity malta a omítky z odpadních písků po výrobě uranových barev a radia, na kterých bylo naadsorbováno radium. V případě použití písku jen do omítek je možné jako ozdravné opatření přijmout pouhé odstranění této omítkové vrstvy, ovšem pokud obsahovala písek i malta, bylo třeba stavbu vybourat. Hmotnostní koncentrace radonu ve stavebním materiálu dosahovala v extrémních případech až 100 000 Bq/kg a dávkový příkon gama záření se pohyboval v rozmezí 10 - 100 $\mu\text{Gy/h}$. Již v sedmdesátých letech si byli tohoto rizika lidé vědomi, jenže neexistovala žádná legislativa, jež by určovala maximální možnou koncentraci radonu v domě či maximální dávkový příkon gama záření. V letech 1978 - 1980 proběhlo první měření radonu a gama záření v 611-ti z těchto domů. Bylo zjištěno, že asi 51 % těchto domů překračuje dnes platnou hodnotu 400 Bq/m³, 4,3 % domů převyšuje dokonce i mezní hodnotu 4 000 Bq/m³. Kompletní výsledky jsou uvedeny v tab. III [12, 15].

Tab. III: Výsledky měření koncentrace radonu v domech v Jáchymově [15].

Koncentrace radonu [Bq/m ³]	Počet objektů	Procent z celku
do 400	301	49
400-1000	140	23
1000-2000	85	14
2000-4000	64	11
4000-12000	21	3

Výsledky měření vedly počátkem 90-tých let k prvním pokusům o ozdravná opatření. Díky absenci příslušných norem a závazných postupů ozdravných opatření a také díky nezkušenosti měřičských firem, které měly poskytovat vhodné návrhy na provedení ozdravení, nebyla mnohá tato opatření účinná. To vedlo ke ztrátě důvěry jáchymovských obyvatel a v roce 1997 i k ukončení veškerých sanačních pokusů v těchto domech. Ve snaze opět vzbudit zájem veřejnosti o problematiku radonu vznikla v roce 2010

v rámci Radonového programu ČR v Jáchymově takzvaná Radonová stezka, první svého druhu ve světě [15].

3.3 Opatření proti radonu a gama záření ze stavebních materiálů

V případě, že se radon ze stavebních materiálů výrazně podílí na jeho celkové koncentraci v domě (dalšími zdroji mohou být například podlazi či voda), lze použít následující opatření:

3.3.1 Odstranění materiálů, z kterého radon uniká

V tomto případě jsou odstraňovány nenosné konstrukce (štuky, omítky, příčky, tepelně-izolační násypy podlah ze škvár a popílků atd.) Problémem ovšem je, že se téměř nikdy nepodaří odstranit všechny aktivní materiál. Tento postup také není vhodný v případě výše zmíněného ryncholeckého škvárobetonu. Výměna aktivních panelů za neaktivní není doporučována jednak ze statických důvodů, a také proto, že by se jednalo o finančně náročnou opravu [16].

3.3.2 Využití neprodyšné úpravy vnitřního povrchu staveb pomocí nátěrů a tapet

Další možností je použití elastických nátěrů či tapet z PVC (papírové tapety jsou neúčinné). Tento způsob sanace je však málo účinný a nevýhodou je také tendence vzduchotěsné povrchové úpravy k perforaci [16].

3.3.3 Odvětrávání z interiéru

Nucená ventilace je považována za jedno z nejefektivnějších opatření. Ventilační zařízení se seřídí podle změřené rychlosti přísunu radonu do jednotlivých místností, pracovat pak může buď nepřetržitě, nebo cyklicky, kdy doba spínání závisí na rychlosti přísunu radonu do interiéru, či v případě, že jsou v domě přítomni lidé. Výhodou této metody je rovněž fakt, že obyvatelé domu nejsou obtěžováni hlukem, protože

vzduchotechnická jednotka se nachází buď na střeše či v suterénu domu. Nevýhodou jsou pak velmi obtížně čistitelné vzduchovody a jejich architektonicky náročné zakomponování do interiéru [16].

3.3.4 Opatření proti gama záření

Proti gama záření se pak rovněž doporučuje odstranění materiálu, dále pak omezení pobytu osob v interiéru, či použití stínícího materiálu o vysoké objemové hmotnosti (beton, plné cihly) pro zeslabení záření. V tab. IV jsou uvedeny možné stínící materiály a jejich potřebná tloušťka k dosažení požadovaného zeslabení [17].

Tab. IV: Účinnost různých stínících materiálů v závislosti na tloušťce jejich vrstvy [17].

Stínící materiál	Tloušťka materiálu pro různá zeslabení						
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
olovo	6,9	9,8	13,3	17,6	23,1	30,9	44,2
železo	11,6	16,6	22,6	29,8	39,2	52,4	74,9
baryt ($\rho = 3\,200\text{ kg/m}^3$)	31,0	43,0	58,0	76,0	99,0	132,0	188,0
baryt ($\rho = 2\,700\text{ kg/m}^3$)	39,0	53,0	69,0	86,0	106,0	145,0	210,0
beton ($\rho = 2\,200\text{ kg/m}^3$)	46,0	64,0	83,0	107,0	135,0	172,0	231,0
cihla plná ($\rho = 1\,900\text{ kg/m}^3$)	56,0	77,0	102,0	132,0	170,0	221,0	305,0
cihla plná ($\rho = 1\,600\text{ kg/m}^3$)	75,0	104,0	137,0	177,0	227,0	295,0	406,0

4 LEGISLATIVA V PROBLEMATICE RADONU

4.1 Vývoj legislativy od roku 1987 po současnost

Výše zmíněné skutečnosti vedly k tomu, aby v roce 1987 vstoupila v platnost vyhláška udávající jak maximální koncentraci radonu v domě, tak maximální množství gama záření. První část této vyhlášky se týkala již existujících budov. Pro ně byla stanovena doporučená hodnota pro sanaci 400 Bq/m³ objemové aktivity radonu a 2 μGy/h pro dávkový příkon gama záření. Rovněž byl ustanoven výpočet indexu S , jež kombinuje obě měřené koncentrace:

$$S = \frac{D}{2 \mu\text{Gy}/h} + \frac{C_{Rn}}{400 \text{ Bq}/m^3} \quad , \quad (6)$$

kde D značí absorbovanou dávku gama záření za čas (μGy/h) a C_{Rn} dlouhodobý průměr koncentrace radonu (Bq/m³). Tohoto vzorce se používalo pro hodnoty D větší než 0,5 μGy/h a byl-li index větší či roven jedné, mohl vlastník obydlí požádat o státní příspěvek pro ozdravná opatření. Tento vzorec se již nepoužívá a dnes platí níže uvedené právní předpisy [12].

Vyhláškou 307/2002 Sb. byly stanoveny nové směrné a mezní hodnoty objemové koncentrace radonu jednak pro již zkolaudované stávající budovy a rovněž směrné hodnoty pro nové budovy, které jsou zrovna projektovány či jsou ve výstavbě (tab. V). Další vyhláška 461/2005 Sb. vymezuje postup při poskytování dotací na protiradonová opatření a tedy i náležitosti těchto žádostí a správné předávání žádostí krajskými úřady Ministerstvu financí. Vyhláška 462/2005 Sb. jednak předepisuje pravidla pro sběr a distribuci detektorů, které slouží k identifikaci obydlí s vyšší úrovní vnitřního ozáření, ale také určuje, komu mohou být poskytnuty dotace na ozdravná opatření. Jedná se o vlastníky domů, v kterých je celoročně průměrná objemová koncentrace radonu ve všech bytech nad hodnotou 1 000 Bq/m³, školní zařízení, v nichž bylo během pobytu dětí naměřená hodnota objemové aktivity radonu nad 400 Bq/m³, budovy určené k zabezpečení sociálních či

zdravotních služeb, pokud v některém z jejich pokojů přesáhla objemová koncentrace radonu $1\ 000\ \text{Bq/m}^3$ [18-20].

Tab. V: Směrné a mezní hodnoty pro objemovou koncentraci radonu pro stávající a nové byty podle 307/2002 Sb. [18].

	směrné hodnoty		mezní hodnoty	
	Rn [Bq/m^3]	Υ [$\mu\text{Sv/h}$]	Rn [Bq/m^3]	Υ [$\mu\text{Sv/h}$]
stávající budovy	400	1,0	4000	10
nové budovy	200	1,5		

4.2 Povinnosti výrobců stavebních materiálů plynoucí z Atomového zákona

V současné době je Zákonem o mírovém využívání jaderné energie ("Atomový zákon") č. 18/1997 Sb. a jeho prováděcí vyhláškou č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky 499/2005 Sb. výrobcům i dovozcům stavebního materiálu nařízeno prokazovat nezávadnost tohoto materiálu po stránce obsahu radioaktivních látek a tyto informace sdílet s veřejností, vést o pravidelném měření evidenci a oznamovat výsledky měření na příslušném Úřadě. Dnes se již sledují všechny přírodní radionuklidy (dříve to bylo pouze radium). Dále byl zaveden takzvaný index hmotnostní aktivity I :

$$I = \frac{a_K}{3000\ \text{Bq/kg}} + \frac{a_{Ra}}{300\ \text{Bq/kg}} + \frac{a_{Th}}{200\ \text{Bq/kg}}, \quad (7)$$

kde a_K , a_{Ra} , a_{Th} jsou koncentrace hmotnostních aktivit draslíku, rádia a thoria (vše se udává v Bq/kg). Stavební materiál pak nesmí být uveden na trh, pokud:

- a) překračuje mezní hodnoty hmotnostní aktivity radia uvedené v tab. VI, nebo
- b) překračuje směrné hodnoty indexu hmotnostní aktivity uvedené v tab. VII, s výjimkou případů, kdy by náklady potřebné na snížení obsahu radionuklidů převyšovaly riziko zdravotní újmy.

Pakliže obsah radionuklidů převyšuje směrnou hodnotu, nikoliv však mezní, má výrobce či dovozce možnost podstoupit takzvaný optimalizační proces, který by vedl ke zlepšení radiačních vlastností materiálu. V první řadě se vypočte efektivní dávka ze zevního ozáření E ($\mu\text{Sv}/\text{rok}$) radionuklidů obsažených ve stavebním materiálu. K tomu slouží vzorec:

$$E = a_K \cdot F_K + a_{Ra} \cdot F_{Ra} + a_{Th} \cdot F_{Th} - F_p \quad , \quad (8)$$

kde koeficienty F_K , F_{Ra} , F_{Th} a F_p jsou charakteristické hodnoty pro každý materiál, které jsou ovlivněny jeho objemovou hmotností a tloušťkou jeho vrstvy. Jestliže hodnota efektivní dávky ze zevního ozáření nepřesahuje $300 \mu\text{Sv}/\text{rok}$, není potřeba provádět žádná opatření a proces optimalizace se považuje za ukončený. V opačném případě je nucen výrobce nebo dovozce vypracovat na základě výsledků měření optimalizační studii a předložit ji společně s výpočtem efektivní dávky ze zevního ozáření na Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Výrobci či dovozci jsou také povinni pravidelně měřit obsah radioaktivních látek a to v závislosti na tom, na co bude příslušný materiál použit (tab. VIII) [13].

Tab. VI: Mezní hodnoty hmotnostní aktivity [13].

Stavební materiál	Hmotnostní aktivita Ra-226 [Bq/kg]	
	použití pro stavby s obytnými nebo pobytovými místnostmi	použití výhradně pro stavby jiné než s obytnými nebo pobytovými místnostmi
Cihly a jiné stavební výrobky z pálené hlíny Stavební výrobky z betonu, sádry, cementu a vápna Stavební výrobky z pórobetonu a škvárobetonu	150	500
Stavební kámen Stavební výrobky z přírodního a umělého kamene, umělé kamenivo Keramické obkladačky a dlaždice Písek, štěrk, kamenivo a jíly Popílek, škvára, struska, sádrovec vznikající v průmyslových procesech, hlušina a kaly pro stavební účely, stavební výrobky z nich jinde neuvedené Materiály z odvalů, výsypek a odkališť pro stavební účely kromě radiačních činností Cement, vápno, sádra	300	1000

Tab. VII: Směrné hodnoty obsahu přírodních radionuklidů [13].

Stavební materiál	Index hmotnostní aktivity I
Stavební materiály určené ke stavbě zdí, stropů a podlah ve stavbách s obytnými nebo obytnými místnostmi zejména zdící prvky, prefabrikované výrobky, tvárnice, cihly, beton, sádkokarton	0,5
Ostatní stavební materiály určené k použití ve stavbách s obytnými nebo obytnými místnostmi	1
Stavební materiály určené k použití jinému než ve stavbách s obytnými nebo obytnými místnostmi, veškeré stavební materiály určené výhradně k použití jako surovina pro výrobu stavebních materiálů	2

Tab. VIII: Četnost kontroly obsahu přírodních radionuklidů [13].

Stavební materiál	Rozsah rozborů
Stavební materiály určené ke stavbě stěn, stropů a podlah ve stavbách s obytnými nebo obytnými místnostmi (zejména zdící prvky, prefabrikované výrobky, tvárnice, cihly, beton, sádkokarton)	jednou za rok
Ostatní stavební materiály určené k použití ve stavbách s obytnými nebo obytnými místnostmi	jednou za dva roky
Stavební materiály určené k použití jinému než ve stavbách s obytnými nebo obytnými místnostmi	jednou za pět let

4.3 Výsledky měření radioaktivity stavebních materiálů

V letech 1998 - 2004 probíhalo v České republice měření obsahu přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech (tab. IX). Ukázalo se, že nejvyšších hodnot dosahuje materiál, jenž je vyroben z odpadních surovin jako škvára či popílek či určitého druhu kamene, jako je například žula. Největší důraz na výsledky měření byl kladen zejména na ten materiál, který tvoří největší část staveb, tedy například tvárnice nebo cihly [21].

Tab. IX: Výsledky měření obsahů přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech [21].

Materiál	^{40}K [Bq/kg]	^{226}Ra [Bq/kg]	^{228}Th [Bq/kg]	Index
stavební kámen	246,0	26,0	18,2	0,286
cihly	623,0	45,3	47,6	0,595
beton	392,0	19,5	16,7	0,288
pórobeton	321,0	45,4	44,5	0,515
struskobeton	206,0	49,1	23,1	0,379
škvárobeton	445,0	65,2	57,0	0,719
vlákno cement	151,0	26,0	16,9	0,220
malty	227,0	15,1	11,3	0,198
omítky	135,0	15,5	10,4	0,173
keram. Obklady	541,0	63,7	50,9	0,702
písek	268,0	12,7	12,5	0,222
kamenivo	532,0	31,2	23,7	0,415
popílek	197,0	82,0	55,1	0,625
škvára	193,0	93,4	65,4	0,761
cement	281,0	35,9	20,4	0,318
vápno	57,0	10,9	7,5	0,104
sádra	180,0	11,4	10,5	0,165

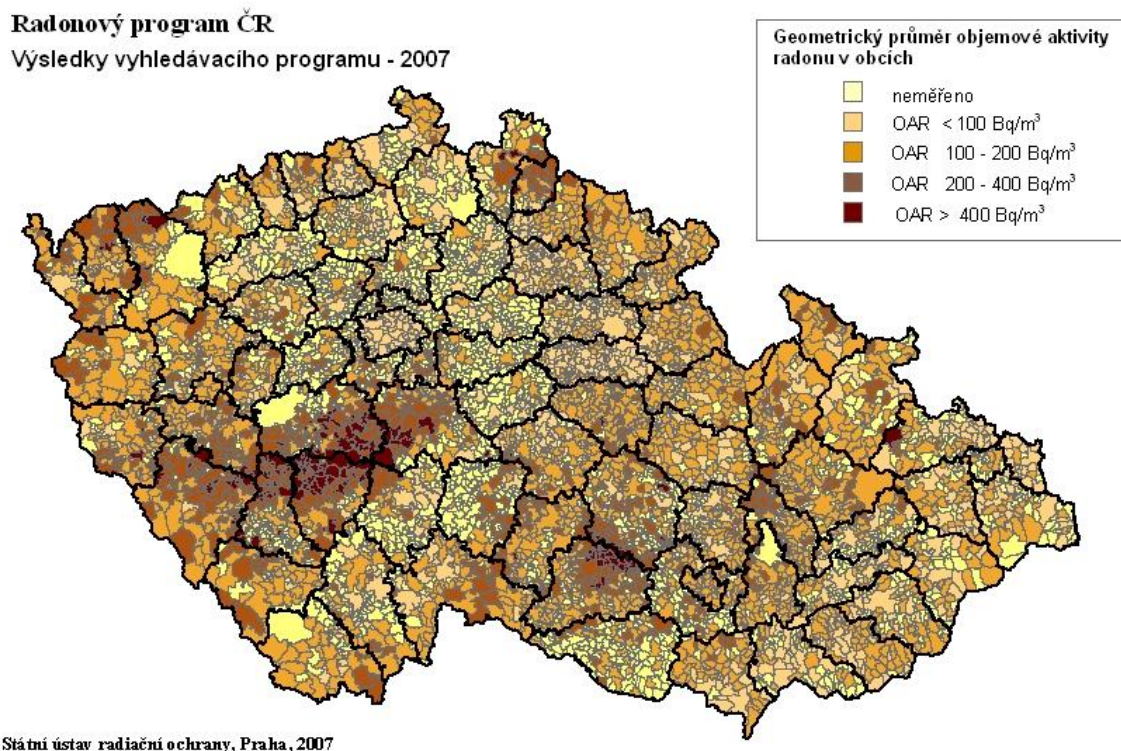
4.4 Radonový program

V roce 1990 byl vládou České republiky vyhlášen radonový program, v rámci něhož bylo provedeno měření v asi 100 000 budovách, z nichž zhruba 18 000 vykazovalo hodnotu dávky ze zevního ozáření kolem 10 mSv/rok. Ve 2 000 bytech pak proběhla ozdravná opatření za finanční podpory státu (jednalo se i o byty z rynchleckého škvárobetonu) [9, 22].

Usnesením vlády ze dne 31. května 1999 č. 538 přebírá zodpovědnost za plnění radonového programu SÚJB. Vzniká také nový plán plnění tohoto programu pro léta 2000 - 2009. Klade si za cíl i nadále pokračovat ve vyhledávání staveb s vysokými koncentracemi radonu ve vnitřním ovzduší, provádět protiradonová preventivní opatření i ozdravná opatření v budovách, dostatečně informovat o této problematice veřejnost a věnovat se vývojové a výzkumné činnosti Stavařská odbornost tohoto programu je svěřena Fakultě stavební ČVUT, geologická odbornost pak České geologické službě a Katedře geofyziky Přírodovědecké fakulty UK. Stovkám

projektantům bylo poskytnuto školení ohledně protiradonových ozdravných opatření a mnoho firem se pod dozorem SÚJB ujalo měřičských prací [9, 22].

V květnu 2010 vydala SÚJB Závěrečnou zprávu o plnění radonového programu v ČR za období 2000 - 2009. Během tohoto období se podařilo proměřit dalších 62 000 budov, z nichž necelých 10 000 vykazovalo objemovou aktivitu nad 400 Bq/m^3 . Za celou dobu existence programu se tak celkově podařilo najít 28 000 z předpokládaných hledaných 32 000 kontaminovaných objektů. Dále bylo umožněno ze státních dotací ošetřit dalších přibližně 800 budov. Také byly vytvořeny prognózní mapy, mapy radonového indexu a mapa průměrné koncentrace radonu v obcích (obr. 5). Je však nutno vzít v potaz, že díky v současné době přísnému dohlížení na radioaktivitu stavebních materiálů může za zvýšenou koncentraci radonu převážně geologické podloží [23].



Obr. 5: Mapa průměrné koncentrace radonu v obcích ČR v roce 2007[24].

5 POPÍLEK JAKO ZDROJ URANU PRO JADERNÉ ELEKTRÁRNY

V Číně a ve střední Evropě proběhly v roce 2007 pokusy o získání uranu ze škváry a popílku hnědouhelných elektráren. Z prvních rozborů bylo zjištěno, že skládka popílku a elektrárny Xiaolongtang v provincii Yunnan v Číně obsahuje 0,19 kg oxidu uranu (U_3O_8) na tunu popílku, přičemž 70% tohoto uranu je možno separovat. Tato skládka v současné době obsahuje již více než 1 000 kg uranu a každým rokem na ni dalších 160 kg přibývá [25].

Ještě téhož roku kanadská společnost Sparton Resources Inc., která testy prováděla, oznámila, že ze vzorku popílku vážícího 6,1 kg se podařilo získat malé množství oxidu uranu ve formě „žlutého koláče“. Technologie, kterou byl uran získán, je v podstatě shodná s tou, která se používá ve zpracovatelských závodech či na nalezištích uranové rudy. Jedná se tedy o vyluhování kyselinou a následnou filtraci [25].

Společnost Sparton dále zkoumala úložiště popílku u zmíněné elektrárny. Pomocí zkušebních vrtů bylo zjištěno, že vrstva je vysoká průměrně 17 metrů. Podle odhadů bude možno zpracovat až 10 milionů tun tohoto popílku, čímž by se mohlo získat až 2 085 tun U_3O_8 . Na základě pozitivních výsledků společnost Sparton uzavřela smlouvu s China National Nuclear Corporation (CNNC) na využití tohoto zdroje. Další smlouvy byly podepsány v šesti zemích východní Evropy a Jižní Afriky [26].

ZÁVĚR

Radioaktivní záření produkované uhelnými elektrárnami není pro člověka výrazněji škodlivé. Byť se produkty z uhelných elektráren nadále používají ve stavebnictví, jejich bezpečnost z hlediska radioaktivity je dnes již přísně kontrolována a proto je nejdůležitějším zdrojem radonu v domě geologické podloží. Díky radonovému programu jsou navíc stále vyhledávány domy s vyšší koncentrací radonu (ať už kvůli podloží či stavebnímu materiálu) a aplikují se na ně vhodné sanační metody.

V případě rakouské elektrárny Zwentendorf lze tedy říci, že argumentace zvýšenou radioaktivitou není zcela dostatečná na odstavení uhelné elektrárny Dürnröhr z provozu. Elektrárna sice zvyšuje koncentraci radionuklidů v jejím okolí, nicméně ne v takové míře, aby se stala nebezpečnou pro člověka. Důvody, proč elektrárnu uzavřít, by se měly týkat spíše ostatních emisí, jako jsou oxid uhličitý, oxid siřičitý a ostatní.

Do budoucna perspektivní se jeví možnost extrahovat uran z pevného odpadu uhelných elektráren. Došlo by tím nejen k získání uranu jakožto paliva pro jaderné elektrárny, ale i ke snížení radioaktivity těchto odpadů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VAŠINA, Martin. Radioaktivita. *Ústav fyziky a materiálového inženýrství UTB* [online]. 17. 3. 2011 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_17.pdf
- [2] Rozpadová řada. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Rozpadová_řada
- [3] WAGNER, Vladimír. *Bude dost surovin pro jadernou energetiku?. OSEL (Objective Source E- Learning)* [online]. 18. 7. 2008 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=3778>
- [4] TUREČEK, Igor. *Rakousko zatěžuje životní prostředí každou hodinu 2 – 4 kg uranu. OSEL (Objective Source E- Learning)*[online]. 24. 3. 2008 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=3428>
- [5] ZIELINSKI, Robert A. a Robert B. FINKELMAN. *Radioactive Elements in Coal and Fly Ash: Abundance, Forms, and Environmental Significance* [online]. 1997[cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://pubs.usgs.gov/fs/1997/fs163-97/FS-163-97.pdf>
- [6] *Konverze výstavby jaderné elektrárny v Temelíně na alternativní způsob využití.* Praha : RNDr. Miloš Kužvart, duben 1999. 45 s.
- [7] HORÁČEK, Petr. *Nejen jedy, ale i radioaktivita.* Vesmír. 2001/5, s. 249-250.
- [8] VANĚK, Václav. *Bez jádra to nepůjde* [online]. 2008 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: http://www.nri.cz/c/document_library/get_file?uuid=57bbed05-099b-4e9f-a2fb-4123212b7b7b&groupId=10504
- [9] THOMAS, Jiří. Radon v bytě. In: *Manuál prevence v lékařské praxi, díl III. Prevence nepříznivého působení vlivů obytného prostředí na zdraví.* Praha: SZÚ, 1996, 112 s.
- [10] SEVERA, Tomáš a Jiří FRÁNA. *Rekultivace a využití elektrárenských popílků.* České Budějovice, 2005. Seminární práce. Jihočeská univerzita.
- [11] *Směrnice EU o odpadech a jejich realizace v českém právu: Stavební odpady.* Praha: IREAS, Institut pro strukturální politiku, o. p. s., 2006.

- [12] HŮLKA, Jiří, Jaroslav VLČEK a Jiří THOMAS. *Natural Radioactivity in Building Materials - Czech Experience and European Legislation*. Las Vegas: Proceedings of the American Association of Radon Scientists and Technologists 2008 International Symposium, 2008.
- [13] *Radiační ochrana: Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech*. Praha: SÚJB, 2009.
- [14] Usnesení vlády České republiky č. 520 k postupu při vypořádání újmy vzniklé občanům, vlastnicím obytné objekty z ryncholeckého škvárbetonu. 12. 12. 1991.
- [15] JIRÁNEK, Martin; ROVENSKÁ, Kateřina. Naučná stezka o radonu [online]. 2009-2010 [cit. 2012-03-13]. Zdroje radonu v domě. Dostupné z: <http://www.radonovastezka.cz>.
- [16] *Státní ústav radiační ochrany* [online]. 2000-2011 [cit. 2012-03-11]. Opatření proti pronikání radonu do objektu. Dostupné z: <http://www.suro.cz/cz/prirodnioz/prakticke-informace/postup-pri-stavbe-novych-budov/opatreni>.
- [17] JIRÁNEK, Martin. Protiradiační opatření ve stávajících stavbách. In: [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.unisan.cz/StavajiciStavby.pdf>.
- [18] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně. In: *2002 Sb.* 13. 6. 2002.
- [19] 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. In: *2005 Sb.* 1. 1. 2006.
- [20] Vyhláška 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. In: *2005 Sb.* 3. 11. 2005.
- [21] Podrobné informace o radonu ze stavebního materiálu. In: *Státní úřad radiační ochrany* [online]. [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/radon-ve-stavebnich-materialech/radon-ve-stavebnich-materialech-dlouhy>

- [22] Usnesení Vlády České republiky č. 538 o radonovém programu České republiky. 31. 5. 1999.
- [23] *Závěrečná zpráva o plnění úkolů Radonového programu České republiky za období 2000 - 2009*. Praha: SÚJB, květen 2010.
- [24] Radonové mapy. In: *Státní úřad radiální ochrany* [online]. [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.suro.cz/cz/prirodnioz/rnmapy>
- [25] HANUS, Václav. Popílek zdrojem uranu pro jaderné elektrárny. *Science World* [online]. 7. 6. 2007 [cit. 2012-03-26]. Dostupné z: <http://scienceworld.cz/chemie/popilek-zdrojem-uranu-pro-jaderne-elektrarny-974>
- [26] HANUS, Václav. Vyroben první uran z popílku uhelné elektrárny. *Science World* [online]. 25. 10. 2007 [cit. 2012-03-26]. Dostupné z: <http://scienceworld.cz/fyzika/vyroben-prvni-uran-z-popilku-uhelne-elektrarny-823>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ppm parts per milion.

SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

CNNC China National Nuclear Corporation.

Υ gama záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma uranové rozpadové řady.	12
Obr. 2: Schéma aktinouranové rozpadové řady	12
Obr. 3: Schéma thoriové rozpadové řady	13
Obr. 4: Podíly jednotlivých zdrojů záření na celkové dávce	17
Obr. 5: Mapa průměrné koncentrace radonu v obcích ČR v roce 2007	30

SEZNAM TABULEK

Tab. I: Výsledky analýzy Ústavu nerostných surovin Kutná Hora z hlediska koncentrací radioaktivních prvků pro mostecko-chomutovské a sokolské uhlí.....	16
Tab. II: Průměrný emanační koeficient vybraných stavebních materiálů. ...	21
Tab. III: Výsledky měření koncentrace radonu v domech v Jáchymově.....	22
Tab. IV: Účinnost různých stínících materiálů v závislosti na tloušťce jejich vrstvy	24
Tab. V: Směrné a mezní hodnoty pro objemovou koncentraci radonu pro stávající a nové byty podle 307/2002 Sb.....	26
Tab. VI: Mezní hodnoty hmotnostní aktivity.....	27
Tab. VII: Směrné hodnoty obsahu přírodních radionuklidů	28
Tab. VIII: Četnost kontroly obsahu přírodních radionuklidů	28
Tab. IX: Výsledky měření obsahů přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech	29