

Středoškolská odborná činnost 2009/2010

6.Vodohospodářství a lesnictví

Odstranění radonu z menších zdrojů pitné vody za pomoci sorpce na nepolární pevné materiály

Autor:

Jakub Tegel
SPŠCH Na Třísle 135
530 88 Pardubice
4. ročník
Kraj Pardubický

Konzultanti práce:

Ing. Jan Ptáček
Ing. M. Čáslavský
Ph. D. prof. RNDr. Pavel
Danihelka CSc.

Zadavatel práce:

VŠ Báňská Fakulta
bezpečnostního inženýrství

Pardubice 2010

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a informační zdroje jsem uvedl v seznamu použité literatury.

Podpis:

Anotace

Cílem práce bylo zkoumání nepolárních sorbentů, které by se daly použít pro snížení objemové aktivity radonu v menších zdrojích pitné vody a dostat se na hodnotu, která bude pod 300 Bq/l stanovenou pro balenou stolní vodu a pitnou vodu pro veřejné zásobování dle vyhlášky č. 307/2002 Sb. Tak, aby nebyla tato voda nebezpečná pro člověka.

Pro práci jsem si musel vybrat sorbenty vhodné pro styk s pitnou vodou a zároveň hydrofobní, aby je bylo možné z vody snadno odstranit. Pracoval jsem tedy s aktivním uhlím a s různými druhy sorpčních stříží a drtí, také jsem zkoumal vliv biomasy na snížení objemové aktivity radonu. Sorbenty vykazující nejvyšší účinnost byly testovány v terénních podmínkách okolí Krouny.

Seznam použitých značek a zkratek

OAR	Objemová aktivita radonu
OAR ₁	Počáteční objemová aktivita radonu
OAR ₂	Objemová aktivita radonu po radonové dekontaminaci
ČR	Česká republika
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
GAC	Granulated activated carbon (granulované aktivní uhlí)
ČMI	Český metrologický institut
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
Bq	becquerel, jednotka radioaktivity
l	litr, metrická jednotka objemu 0,001 m ³
min	60 s
α	proud alfa částic, alfa záření
β^-	proud elektronů, beta záření
RADIM	radonový indukční měřič

Obsah

Úvod.....	7
Radon.....	8
Vznik radonu.....	9
Výskyt radonu v přírodě.....	10
Závislost výskytu radonu na typu horniny.....	11
Migrace radonu z podloží.....	14
Rozpad radonu v lidském organismu	15
Dosud používané postupy k odstranění radonu.....	16
Metodika.....	18
Základní rozvaha použitelnosti pevných nepolárních materiálů.....	18
Návrh pokusného zařízení pro laboratorní experimenty	20
Hlavní zkoumané parametry při odradonování:.....	21
Vliv množství sorbentu za konstantní jednotku času.....	21
Vliv doby míchání při konstantní hmotnosti sorbentu.....	21
Eliminace rizika vzniku radioaktivního odpadu ze sorbentů.....	22
Výsledky.....	23
Vliv množství sorbentu za konstantní jednotku času.....	23
Odběr vzorků.....	23
Přeprava a uchování vzorků.....	24
Účinnost odradonování pro GAC zrnitosti 3–4 mm.....	25
Účinnost odradonování pro hydrofobní sorpční rohož HR2200.....	27
Účinnost odradonování pro hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005.....	28
Vliv doby míchání při konstantní hmotnosti sorbentu.....	30
Odběr vzorků.....	31
Přeprava a uchování vzorků.....	32
Použité pomůcky:.....	33
Účinnost odradonování pro GAC zrnitosti 3– 4 mm.....	33
Měření GAC pro 15 minut.....	34
Účinnost odradonování pro Hydrofobní sorpční rohož HR2200.....	34
Účinnost odradonování pro hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005.....	35
Zkoumání organických materiálů:.....	37
Využití pilin jehličnatých dřevin.....	37
Postup experimentu.....	37
Využití hydrofobní rašelinné drtě PEATSORB HDP005.....	38

Stanovení chyb při měření.....	39
Diskuse.....	41
Zhodnocení sorbentů dle dodaného množství.....	41
Zhodnocení sorbentů dle doby dekontaminace.....	41
Hydrofobní sorpční rohož HR2200.....	41
Hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005.....	43
Granulované aktivní uhlí zrnitosti 3–4 mm.....	43
Ostatní biologické materiály.....	44
Závěr.....	45
Seznam použité literatury.....	46
Dokumentační přílohy.....	48
1.Provedené experimenty:.....	48
2.Návrh zařízení:.....	48
3.Legislativní příloha.....	48
4.Fotodokumentace:.....	48
5.Ceník vláknitých sorbentů.....	48

Úvod

V otázce radioaktivity je dnes pozornost veřejnosti soustředěna především na umělé zdroje záření (zvláště na jaderná zařízení, problematiku radioaktivních odpadů apod.), aniž by si většina lidí uvědomovala, že zdaleka největší ozáření obyvatel je způsobeno přírodní radioaktivitou a z ní na prvním místě radonem v ovzduší budov.

Radon je plynný prvek přítomný v atmosféře, hydrosféře i litosféře. Je součástí našeho životního i pracovního prostředí a zásadním způsobem přispívá k vnitřnímu ozáření populace. Riziko spojené s jeho výskytem v obytných prostorách souvisí s faktem, že radon nelze lidskými smysly vnímat a že ozáření od radonu může způsobit rakovinu plic, jak bylo doloženo epidemiologickými studiemi horníků uranových dolů a některými studiemi na skupinách obyvatelstva. Z hlediska působení radonu na člověka je nutno rozlišovat příjem ingescí (požití potravin či vody) a inhalací (vdechnutí).

Voda je nezastupitelná složka životního prostředí. Je to nepostradatelný přírodní zdroj. Vodní zdroje mají v České republice jedinečné postavení, protože sem přitéká zanedbatelné množství vody, zatímco díky pahorkatému reliéfu velmi rychle odtéká z území státu. Jako zdroje pitné vody jsou využívány vody podzemní nebo povrchové.

Přírodní radionuklidy obsažené v horninách se uvolňují do vod poměrně složitými procesy. Ty závisí na geochemických, fyzikálních a hydrologických poměrech popsanych níže. Vyšší hodnoty radioaktivity jsou ve vodách podzemních oproti povrchovým, neboť jen v podzemních vodách dochází k dlouhodobému kontaktu s horninami s vyšším obsahem přírodních radionuklidů. Nejvyšší obsah radonu vykazuje spodní voda v geologickém profilu tvořeném vyvěřelými horninami, nejnižší v sedimentech.

Požadavky na měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě jsou stanoveny legislativou ČR Atomový zákon, Vyhláška č. 307/2002 Sb.. Základní rozbor vody dle vyhlášky č. 307/2002 Sb. zahrnuje stanovení celkového obsahu radionuklidů, a to včetně objemové aktivity ^{222}Rn v podzemních vodách.

Zjišťování koncentrace radonu se v ČR provádí převážně u vodních zdrojů, jež se využívají, či v budoucnu se mohou využít, jako zdroje vody pitné. Měření radioaktivity vod provádí Státní ústav radiační ochrany (SÚRO) nebo akreditované firmy. Legislativně je problematika dobře ošetřena jen pro velké a střední vodní zdroje. Pro malé vodní zdroje existují jen doporučené hodnoty. Důsledkem této skutečnosti je pak situace, že je radon sledován a jeho koncentrace případně regulována pouze z velkých vodních zdrojů nebo u vody balené, zatímco odstraňování radonu z malých vodních zdrojů zůstává v pozadí zájmu.

Radon

Je to inertní radioaktivní plyn, jehož radioaktivita byla potvrzena v roce 1926 manželi Curieovými.

Radon získal svůj název podle svého izotopu radonu ^{222}Rn s nejdelším poločasem rozpadu. Izotop ^{222}Rn má poločas rozpadu 3,8235 dne a vyzářuje α částice, které mají dolet ve vzduchu při atmosférickém tlaku přibližně 4 cm. Při jeho přeměně vznikají dceřiné produkty jako ^{218}Po (Ra A), ^{214}Pb (Ra B), ^{214}Bi (Ra C) a ^{214}Po (Ra C'), pohybují se ve vzduchu buď naadsorbovány na prachové částice, nebo v atomárním stavu a zejména tyto produkty negativně ovlivňují lidské zdraví.

Jednotkou radioaktivity radonu a jeho dceřiných produktů je Bq/m^3 a Bq/l , rozlišujeme buď objemovou aktivitu ve vzduchu, nebo v kapalinách. Objemová aktivita radonu (OAR) ve vzduchu $1 \text{ Bq}/\text{m}^3$ říká, že v objemu 1 m^3 dojde k $1 \cdot 10^3$ radioaktivním přeměnám. Podobně je tomu i ve vodě, kdy jsou jednotky Bq/l .

Radon je zastoupen třemi izotopy: radonem ^{222}Rn , thoriem ^{220}Rn a aktinodem ^{219}Rn , je součástí tří rozpadových řad rádio uranové, thoriové a aktinovo uranové. Radon ^{222}Rn vzniká jako produkt rozpadu ^{238}U . Nejvýznamnější z našeho hlediska jsou radon ^{222}Rn a thoron ^{220}Rn , kvůli jejich poločasům rozpadů a koncentracím mateřských radionuklidů. Oba vznikají v horninovém prostředí v podobném zastoupení, ale pouze radon ^{222}Rn díky svému nejdelšímu poločasu rozpadu může migrací ovlivňovat a významně působit i na jiná, než jen horninová prostředí.

Vznik radonu

Hlavním zdrojem radonu ^{222}Rn je Uran ^{238}U , který je obsažen v horninách. Ten je počátečním radionuklidem v řadě radioaktivních přeměn a to nuklidů ^{234}Th , ^{234}Pa , ^{234}U , ^{230}Th a ^{226}Ra . Z radia pak alfa přeměnou vzniká plyný radon ^{222}Rn . Radon vzniká i radioaktivní přeměnou z ^{232}Th a ^{235}U .

Rozpadová řada rádio uranová je pro nás z hlediska této práce nejpodstatnější. Je to z toho důvodu, že v podmínkách České republiky dochází k tomuto druhu přeměn nejčastěji.

Nejvíce nebezpečné dceřiné produkty rozpadu jsou pro nás ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po a ^{210}Tl , kvůli svému krátkému poločasu rozpadu.

Další dvě rozpadové řady jsou pro tuto práci méně významné, z důvodu nízkého zastoupení v zemské litosféře.

Tabulka 1: Rádiová uranová rozpadová řada a vzniklé dceřinné produkty s jejich poločasů rozpadu

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

Výskyt radonu v přírodě

Uran tvoří samostatné minerály uranit, coffinit a další silikáty, nebo je přítomen v horninotvorných minerálech jako je biotit, zirkon a apatit. Nejvíce uranu obsahují horniny vyvřelé-magmatické, jako například žula, neboť již při svém vzniku byly obohaceny uranem a obsahují nerovnoměrně rozptýlené minerály s vyšším obsahem uranu. Střední obsah radonu lze předpokládat v horninách přeměněných-metamorfovaných (pararuly a ortoruly krystalinika) a nejnižší v horninách sedimentárního typu, jako například pískovcích. Může však dojít i k výjimkám, jako je například doklad vyššího obsahu radionuklidů v uhelných jílovcích permokarbonských pánví, kde by se dala předpokládat nižší koncentrace.

Objemová aktivita radonu je závislá na vícero faktorech. Jedním z těchto vlivů může být i počasí. Pokud jsou v delším časovém období výrazná sucha, dochází k zakoncentrování radonu v podzemní vodě, a tedy ke zvýšení jeho koncentrace. Obdobná situace je i u opačného extrému, tedy za dlouhodobě velmi nízkých teplot, kdy dochází díky mrazu k vytvoření neprostupné vrstvy a opětovnému zakoncentrování radonu. V jarních měsících a v deštivých obdobích se zvyšuje hladina podzemní vody, dochází ke zředění koncentrace radonu ve vodě.

Ve světě byla vedena pozorování, která zjistila určitou součinnost mezi změnou objemové aktivity radonu na dané lokalitě v čase a slapovými silami. Další studie se zabývaly zvýšenou objemovou aktivitou jako predikcí před zemětřesením.

Na výše uvedených příkladech jsme chtěli ukázat, že na vliv objemové koncentrace radonu má vliv řada faktorů, kde jejich vliv má za následek, že objemová aktivita radonu v podzemní vodě u jednoho jímacího objektu se v průběhu času mění.

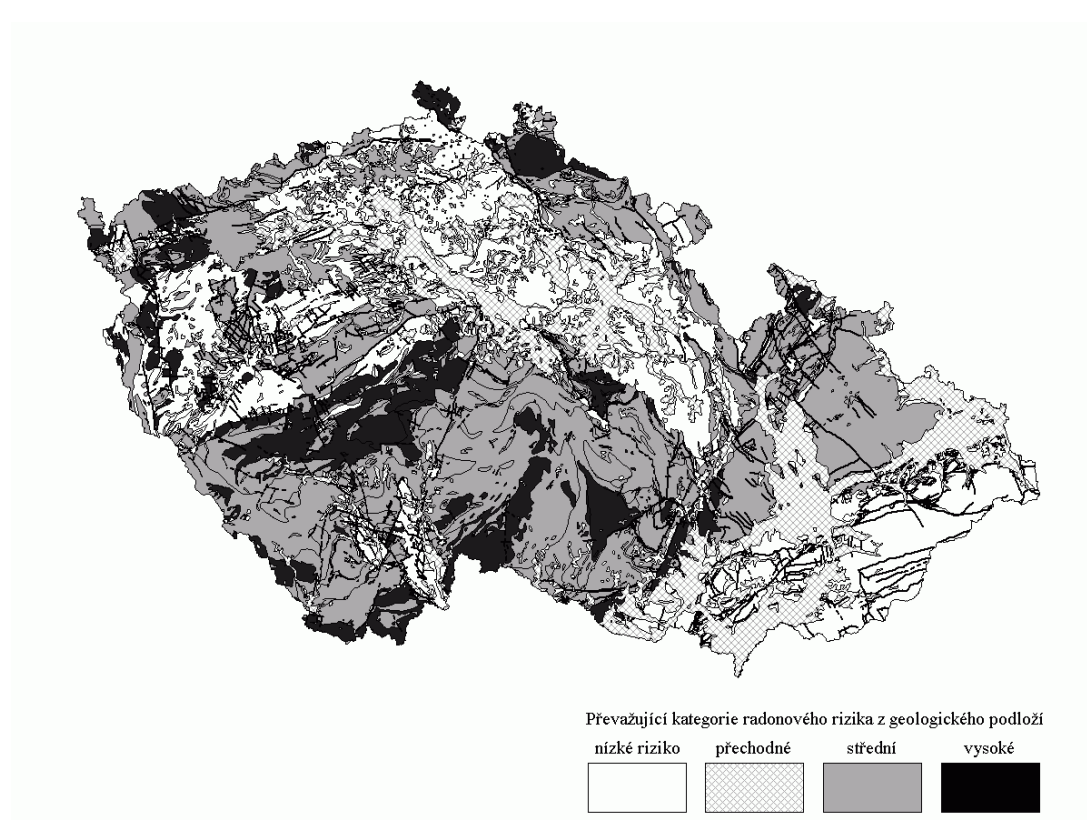
Závislost výskytu radonu na typu horniny

Jak již bylo výše řečeno, množství uranu v určité lokalitě silně závisí na geologickém podloží a typu převažující horniny, lze tak s jistou přesností určit míru radonového nebezpečí lokality.

Toto pravidlo však nelze vztáhnout na veškeré horniny, neboť mohou také obsahovat různé příměsi a mohou být ovlivněny tektonickou činností (zlomy, tlak, propadliny...).

Základním faktem je, že geologická stavba České republiky je tvořena dvěma platformními jednotkami, a to Českým masivem a Západními Karpaty. Český masiv vznikl před 660 - 550 miliony let. Západní Karpaty jsou mladšího původu, vznikaly před 65 - 30 miliony let. Český masiv má blokovou stavbu a je ovlivněn mnoha zlomy. Západní Karpaty jsou většinou tvořeny sedimenty.

Česká republika má díky své geologické stavbě jednu z nejvyšších koncentrací radonu v objektech (viz ilustrace č. 4), ve srovnání s ostatními evropskými státy. Měření radonu v objektech se provádí tak, že na dobu jednoho roku jsou v měřeném objektu vyvěšeny detektory s citlivou fólií, na níž radioaktivní záření zanechává stopy. Podle jejich počtu je přepočtena objemová aktivita radonu uvnitř objektů.



Obr. 1: Mapa výskytu radonu v ČR dle horninového podloží (lze předpokládat podobný výskyt v podzemních vodách)

Tabulka 2: Kategorie radonového rizika v závislosti na typu podloží

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

Dle tabulky nejvyšší objemovou aktivitu radonu vykazují horniny magmatického původu, ty jsou zastoupeny ve velké míře na území Českého masivu. Silurské sedimenty jsou mnohem omezeněji zastoupeny na našem území, a proto nenesou takový význam. Vysoké hodnoty OAR silurských sedimentů jsou způsobeny tím, že se radon váže na jejich organickou složku.

Velkou část území České republiky tvoří přeměněné sedimenty, ty mají povětšinou objemovou aktivitu ve středních hodnotách. Střední hodnoty OAR jsou také reprezentovány permskými sedimenty, hojně zastoupenými v Českém masivu. Střední koncentrace permských sedimentů jsou způsobeny obsahem jílovitých hornin s obsahem slídy, na kterou se radon váže.

Nejmladší sedimenty představují nejnižší koncentrace radonu, jsou to křídové, paleogénní a neogénní písky, pískovce a jílovce.

Společně s typem horniny může mít vliv na objemovou koncentraci radonu i samotná geologická stavba lokality. Jako primární cesty uvolňování uranu do podzemní vody můžou být tektonické poruchy. Studiemi byla pozorována zvýšená koncentrace radonu na styku dvou geologicky odlišných jednotek (křída – krystalinikum).

Migrace radonu z podloží

Z minerálů mateřské horniny, která obsahuje rádiu ^{226}Ra , se uvolňují při přeměně atomy radonu ^{222}Rn . Tento proces se nazývá emanace. Při emanaci radonu dochází k několika dějům. Emanace zahrnuje nejdříve vlastní děj rozpadu rádia, následuje děj migrace atomu radonu po krystalové mřížce minerálu k jeho povrchu a konečně přechod atomu radonu do pórů a trhlin horniny. Koncentrace radonu v půdním vzduchu tedy tvoří ty atomy radonu, které pronikly až do pórů hornin a zemin. V této fázi dochází ke dvěma základním typům transportu radonu z geologického podloží:

1. *Difúze* je jev způsobený tepelným pohybem molekul a atomů plynu, který vede k jejich přemísťování z míst o vyšší koncentraci do míst s nižší koncentrací. Migrace radonu difúzí závisí na pórovitosti prostředí, uspořádání částic horniny, na nasycenosti pórů zeminy kapalinou a na teplotě. Z fyzikální podstaty jevu vyplývá, že rychlost difúze je velmi malá a vzdálenost, na kterou se radon difúzí může přemístit, činí maximálně 1 m.
2. *Konvekce* radonu je způsobena vnějšími fyzikálními jevy v geologickém prostředí, velikostí tektonických struktur a poruch (zlomy), pohybem podzemních vod apod. Rychlost transportu radonu konvekci je o několik řádů vyšší než difúzí. Radon může v půdě či tektonicky porušené hornině migrovat až na vzdálenost několik metrů od zdroje.

Na tyto dva základní způsoby migrace působí i další omezující faktory:

- *Propustnost hornin a půd.* Horniny se zvýšenou propustností (např. písky, štěrky) slouží jako transportní cesta pro radon, a to jak ve svislém, tak i ve vodorovném směru. Naopak horniny s nízkou propustností (např. jíly) naopak brání proti pronikání radonu z podloží a mohou vytvářet bariéry, pod nimiž se radon hromadí.

- *Tektonické porušení hornin různými zlomy a přesmyky.* Tyto poruchy tvoří výbornou transportní cestu pro radon, neboť může podél poruch migrovat jednodušeji než kompaktní horninou. Terénními měřeními bylo prokázáno, že nad tektonickými poruchami ze základových půd uniká až několikanásobné množství radonu, než nad horninami neporušenými. Zlomy jsou navíc velmi často provázeny uranovou mineralizací a tím se stávají i výrazným zdrojem radonu.

Radon se do podzemních vod dostává dvěma způsoby, a to již výše zmíněnou migrací z půdního vzduchu, anebo z radia již ve vodě rozpuštěného. Obsah radonu ve vodách bývá sice mnohdy nižší, než v půdním vzduchu, avšak kvůli vysoké mobilitě používání, zvláště není-li voda upravována, se toto médium stává velkým spolupodílníkem na celkovém zamoření domácnosti radonem. Zvláštní pozornost je nutné věnovat vodám s hlubokým oběhem, úpravnám a akumulacím takovéto vody.

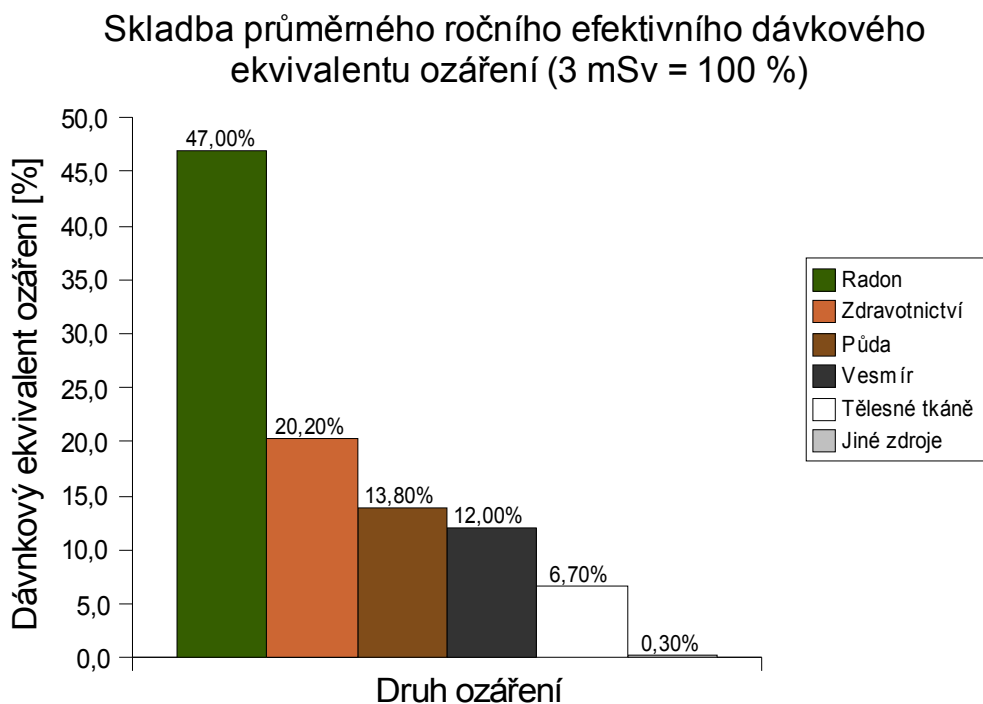
Rozpad radonu v lidském organismu

Zdravotní újma hrozí při nahromadění radonu v uzavřených prostorách, respektive při jeho kumulaci v budovách. Hlavními zdroji radonu v obytných místnostech bývá geologické podloží, stavební materiál a voda dodávaná do objektu. Radon se ze vody dostává do ovzduší při činnostech spojených s užitím vody jako je praní, vaření a sprchování, koupání, mytí nádobí atd. Množství takto uvolněného radonu závisí na objemové aktivitě radonu (OAR) ve vodě, na spotřebě vody na osobu, na počtu osob v bytě.

Při inhalaci radonu samotného však nedochází k poškození plic, neboť je v plicní tkáni rozpouštěn, rovnoměrně rozptýlen a opět vydechnut do ovzduší. Problém nastává při inhalaci jeho produktů radioaktivní přeměny, které jsou již kovové povahy a produkují rovněž α -záření. Způsobující ozáření dolních cest dýchacích a podněcují možnost vzniku rakoviny plic. Produkty radioaktivní přeměny radonu jsou např. ^{218}Po , ^{214}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , které se po navázání na aerosolové částice obsažené ve vzduchu ukládají v plicní tkáni a způsobují vnitřní ozáření. V okrajových případech může dojít ke zdravotní újmě i ingescí těchto dceřinných produktů radonu spočívající zejména ve vnitřním poškození tenkého střeva.

Z hlediska ozáření člověka jsou nejdůležitější dva izotopy polonia, a to ^{214}Po a ^{218}Po . Oba dva jsou velmi silné alfa zářiče, jejichž energie je 6,0 MeV, respektive 7,7 MeV a mají tak silné ionizační účinky.

Dle WHO radon nejvíce přispívá k přirozenému ozáření člověka (viz. Obr. 2).



Obr. 2: Skladba průměrného ročního efektivního dávkového ekvivalentu ozáření (zdroj WHO)

Dosud používané postupy k odstranění radonu

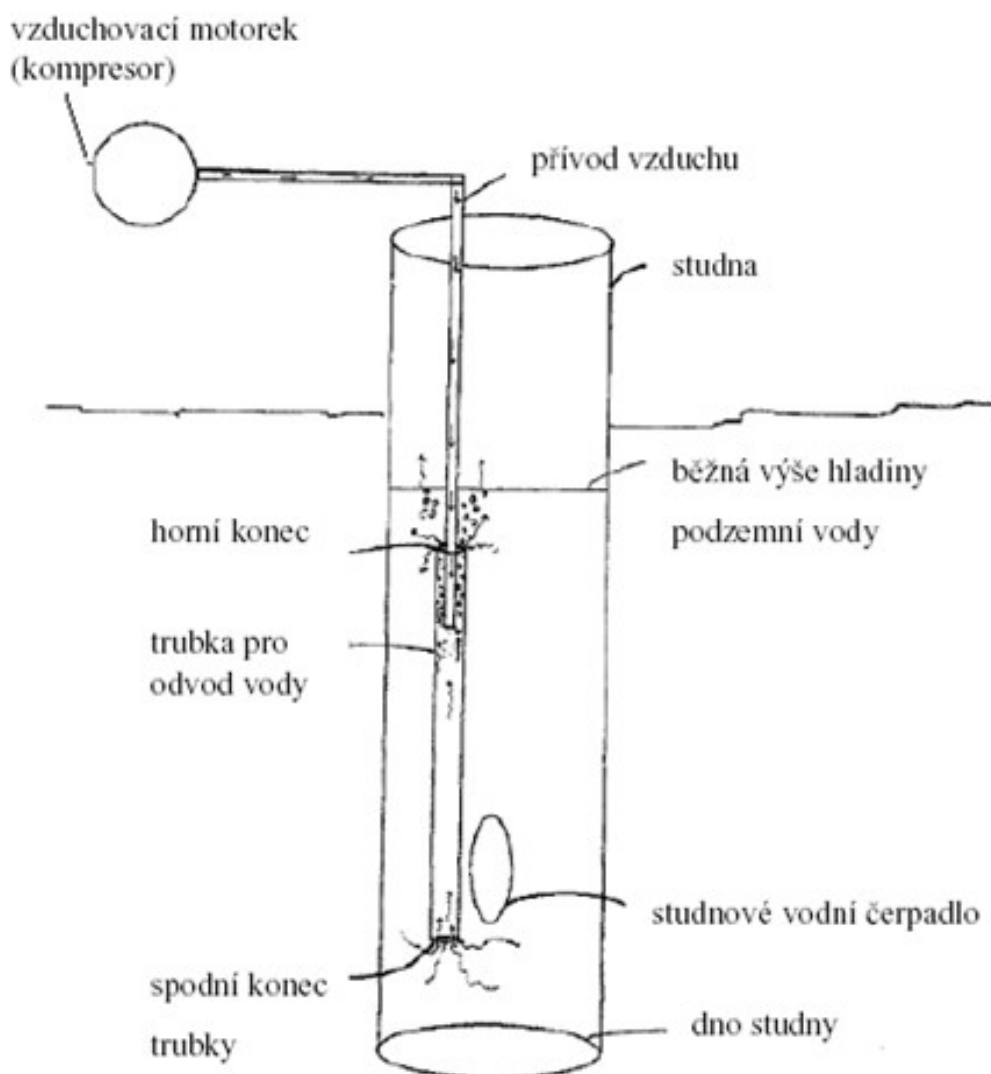
Dosud používané postupy na odstranění radonu z pitné vody jsou na základě aerace, tedy provzdušňování, avšak tyto technologie a jejich nevýhody a jejich nároky vedly k zavedení neaeračních postupů odradonování vod.

K dosažení účinnosti se musí dbát následujících zásad:

- Dostatečný poměr mezi objemem dekontaminované vody a dodávaného vzduchu

- Pokud možno co nejmenší bublinky. Malé bublinky mají velký povrch, který slouží jako fázové rozhraní k přechodu radonu. Při snížení velikosti poloměru bublinek o jeden řád recipročně vrostne poměr povrch / objem také o jeden řád. Malé bublinky také postupují vodou pomaleji a tak je delší doba kontaktu mezi vzduchem bublinek a vodou.
- Svislé uspořádání zařízení. Tím je dosaženo delšího styku obou fází .
- Dostatečně dlouhá doba dekontaminace; je lepší dekontaminovat vodu v zásobníku než průtokově při odběru.

A rovněž tato technologie má několik nevýhod jako je například nutnost odvádět vzduch s obsahem radonu mimo budovy, ztrátu tlaku vody a nutnost jejího opětovného natlakování a také riziko, že vzduchem dojde ke kontaminaci vody, například mikroorganismy dále pak oxidace iontů manganu a železa a možné ucpávání čerpadel, tyto komplikace vedly k zavedení neaeračních způsobů úpravy vody.



Obr. 3: Zařízení používané k aeraci v místě vrtu

Metodika

Základní rozvaha použitelnosti pevných nepolárních materiálů

Jak bylo zjištěno z chemicko - fyzikálních rozborů, radon, i když se ve vodě rozpouští, nemá k ní velkou afinitu a je v ní vázán jen slabě. To dává dobré předpoklady pro jeho odstranění převedením do jiné fáze ke které má afinitu větší nebo která bude přítomna v dostatečném nadbytku. Svoji podstatou je atom radonu nepolární, dokonale symetrická částice s malou polarizovatelností a bude tedy mít vyšší afinitu k nepolárním látkám než k polární vodě. Nepolární jsou některé organické kapaliny a tuhé materiály využívané např.: k sanacím ropných havárií. Ve všech případech je však nutné počítat s difúzními procesy, tedy se skutečností, že o efektivitě metody nerozhoduje jen rovnováha, ale také rychlost transportu radonu uvnitř dekontaminované vody a od mezifázového rozhraní do hloubky druhé fáze.

Pro pokusy s pevnými sorbenty byly zvoleny následující sorbenty:

- Granulované aktivní uhlí (dále GAC) o zrnitosti 3–4 mm
- Hydrofobní sorpční rohož HR2200
- Hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005

Z biologických materiálů:

- Hydrofobní rašelinná drť PEATSORB HDP00
- Piliny smrku, borovice a jasanu

GAC se používá na odstranění radonu z okolí domů a také s ním byly provedeny pokusy odradonování, proto by mělo být neúčinnější, mým úkolem bylo tuto domněnku vyvrátit nebo naopak potvrdit.

Z fyzikálně – chemických vlastností radonu vyplývá, že na účinnost budou mít vliv hlavně následující faktory:

- poměr vody ku sorbentu respektive hmotnost dodaného sorbentu do experimentální aparatury
- době styku vody se sorbentem v experimentálních podmínkách bylo vzhledem k praxi stanovena maximální hodnota styku se sorbentem 15 min
- způsobu homogenizace směsi, v mém případě bylo použito magnetické míchadlo, ale v praxi by bylo možné použití vrtulových míchadel nebo autokláv

- na dalších faktorech jako jsou tlak a teplota vzduchu, teplota vody a na nerozpuštěných látkách obsažených ve vodě, na které se radon sorbuje

Z těchto faktorů je nejvýhodnější vybrat ten, který je nejrychlejší ale zároveň nejvíce ekonomický.

Výstupem práce budou jednak základní data, která budou zpracována do příslušných grafů. Dále bude muset následovat rozvaha o tom zda se dají použít zkoumané sorbenty jejich výhody a nevýhody při použití v praxi.

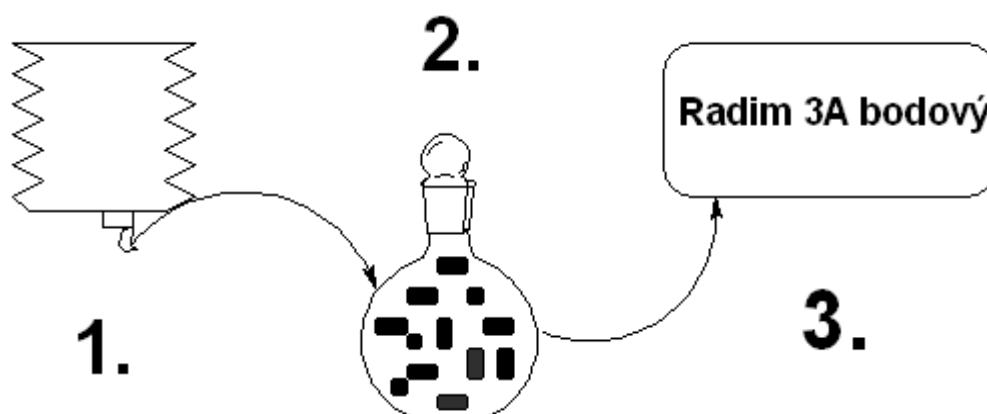
Návrh pokusného zařízení pro laboratorní experimenty

Pro následující experimenty bylo použito základní zařízení, které by simulovalo zařízení použitelné v praxi eliminující pro experiment nežádoucí děje zkreslující účinnost sorbentu jako jsou: nepřímá aerace, zahřívání, stripování. Při pokusech je důležité dbát na co nejmenší styk vody se vzduchem, proto pro přemístění kapaliny byly použity silikonové hadičky eliminující právě nepřímou aeraci.

Pro testovací sestavu pro experimenty jsem použil destilační zábrusovou baňku s gumovým uzávěrem o objemu 250 ml, což je rovněž i objem použité kapaliny, protože nádoba byla plněna až po okraj, aby při uzavření došlo k vytlačení kapaliny a nežádoucího vzduchu. K měření objemové aktivity radonu bylo využito zařízení Radim 3A bodový ověřený ČMI v Praze.

Popis schématu experimentální aparatury:

1. Skládací kanystr – zdroj radonové vody
2. Skleněná destilační baňka se směsí voda se sorbentem
3. Radonový indukční měřič 3 a bodový



Obr. 4: Schéma experimentální aparatury

Hlavní zkoumané parametry při odradonování:

- hmotnost sorbentu ve 250 ml vody
- délka kontaktu vody ze sorbenty

Vliv množství sorbentu za konstantní jednotku času

Experiment má za úkol zjistit kolik je nutné použít sorbentu pro každých 250 ml vody pro jednorázové použití. Musí se stanovit optimální hmotnost využívaného sorbentu kdy bude mít nejvyšší účinnost, všeobecně se předpokládá, že čím více sorbentu tím vyšší účinnost odradonování. Avšak určitá hmotnost pro nás není ekonomická z důvodů předpokládané výměny sorbentu. Stanovení této optimální hodnoty je pro experiment klíčová. Pro experiment byly stanoveny hmotnosti sorbentů 2, 5, 8, 10, 15 g. U různých materiálů např.: sorpčních rohoží byla z ekonomických důvodů stanovena hranice pouze 10 g. Stanovená doba míchání byla 5 min jako neoptimálnější.

Vliv doby míchání při konstantní hmotnosti sorbentu

Z předchozích měření byla vybrána nejvhodnější hmotnost sorbentu. Při této hmotnosti bylo zkoumáno neúčinnější, ale zároveň nejlépe technologicky i ekonomicky realizovatelná doba po kterou by měl být sorbent v kontaktu s vodou.

Po konzultaci bylo určeno, že všechny experimenty budou prováděny s navázkou 5 g sorbentu. Toto budu aplikovat pouze v případě, že daný sorbent se osvědčil v předcházejícím experimentu.

Eliminace rizika vzniku radioaktivního odpadu ze sorbentů

Nutné je sledovat také radioaktivitu sorbentu po odradonování. Nesmíme sorbent zasytit radonem natolik, aby byl radioaktivní a byl nebezpečný pro člověka a životní prostředí. Poté bude taky složité se zbavit sorbentu po odradonování jako odpadu. Uvolňovací úroveň pro ^{210}Pb což je prvek s nejdelším poločasem rozpadu je 300 Bq/kg. Nepřekročí-li hmotnostní aktivita ^{210}Pb zachyceného v sorbentu tuto uvolňovací úroveň je možno uvést tento sorbent uvést do životního prostředí bez povolení SÚJB, tj. není nutno s ním nakládat jako s radioaktivním odpadem. Pro pevné materiály není žádný dostupný teoretický výpočet, jako třeba u kapaliny, proto je nutné při dalším využívání těchto sorbentů stanovit dobu použitelnosti pro každý sorbent zvlášť experimentální cestou. Toto bude zřejmě dalším pokračováním práce. Protože se v praxi bez těchto informací neobejdeme.

Výsledky

Vliv množství sorbentu za konstantní jednotku času

Teoretickou úvahou vyplývá, že čím více přidáme sorbentu tím větší bude jeho účinnost, mým úkolem bylo tuto domněnku potvrdit. Měření bylo prováděno na radonovém indukčním měřiči Radimu 3A bodovém. Sorpční zkoušky byly prováděny s navázkou různého množství sorbentu ve skleněných zábrusových destilačních baňkách s plochým dnem objemu 250 ml zajištěných gumovou zátkou kvůli zabránění kontaktu vody se vzduchem. Zkoušená podzemní voda byla na místě lita do baněk pomocí hadiček tak, aby docházelo k nejmenšímu kontaktu vody se vzduchem. K experimentu byly použity následující materiály:

- GAC o zrnitosti 3– 4 mm
- Hydrofobní sorpční rohož HR2200
- Hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005

Celá směs byla promíchávána elektromagnetickou míchačkou po zvolenou dobu tj.: 5 min. Vzorek byl ihned po skončení míchání izolován do uzavřené vzorkovnice Radonového měřiče následně měřen a stanovena OAR_2 vzorku. Voda pro experimenty byla vybrána podzemní voda lokality Krouny s OAR_1 intervalu od 400-900 Bq.l⁻¹. Všechny sorbenty byly opakovaně prané v destilované vodě nejméně po dobu 20 min z důvodů odstranění absorbovaného vzduchu. Vlákňitý sorbent byl stříhán na čtverečky 0,4×0,4 cm, pro zvýšení absorpční plochy a zlepšení manipulovatelnosti s materiálem.

Odběr vzorků

Vycházelo se zejména z předpisu uvedeného v normě ČSN 75 7624 Stanovení radonu, avšak kvůli novým zjištěním a výzkumům v tomto směru se odběr vzorku konzultoval s českým metrologickým institutem (ČMI). Změna se projevila zejména ve výběru vzorkovnice, kdy jako nejlepší se osvědčila vzorkovnice z tvrdého plastu se závitovým uzávěrem nebo skleněná vzorkovnice se závitovým uzávěrem.

Odběry vzorků z obecních studen a ze studen na obecním pozemku se konzultovaly se starosty obcí, aby nedošlo k právnímu stíhání ze strany obcí. V jednom případě se k odběru vzorků využilo také tamější obyvatelstvo kterému byly dány přesné instrukce, jak odebírat a nakládat se vzorky.

1. Vzorkovnice musí být skleněná, nebo z tvrdého plastu o objemu min 250 ml, nejlépe se závitovým uzávěrem.
2. Je nutné odpustit objem vody, který odpovídá objemu potrubí od místa odběru ze zdroje až po místo odběru.
3. Do vypláchnuté vzorkovnice musí být voda jímána po stěně a za minimálního průtoku, aby nedocházelo ke ztrátám obsahu radonu. Nejlépe z odběrného kohoutku a hadičky.
4. Je nutné, by vzorkovnice byla zcela naplněná, bez vzduchových bublin, mohlo by totiž dojít k uvolnění plynného radonu.
5. Vzorkovnici se vzorkem je nutno zřetelně identifikovat, při přenášení je nutno se vyvarovat otřesům a následně uchovat v chladu (4 °C).

Přeprava a uchování vzorků

Voda byla jímána do skládacích kanystrů od společnosti Ferrino, tak aby se do kanystru nedostal vzduch, který by způsobil snížení OAR_1 . Pokud se tam nějaký vzduch dostal byl okamžitě odstraněn vyfouknutím. Voda byla skladována v kanystru v chladu a temnu nejlépe pouze jeden den, kdy jsme prováděli experimenty, maximálně ovšem do druhého dne, pokud jsme vodu první den nepoužívali.

Postup experimentu:

1. Bylo naváženo dané množství sorbentu pro určitý experiment.
2. Vlákňité sorbenty bylo nutné nastříhat na čtverečky $0,4 \times 0,4 \text{ cm} \pm 2 \text{ mm}$.
3. Sorbent byl vyluhován v destilované vodě pro odstranění vzduchu.
4. Poté byl převeden do destilační baňky objemu 250 ml.
5. Baňka byla plněna po hrdlo vodou ze skládacího kanystru tak, aby voda trochu přetekla a to pomocí gumové hadičky, která byla u dna aby došlo co možná k nejmenšímu styku vody se vzduchem.

6. Nádoba byla poté zajištěna gumovou zátkou, odpovídající průměru hrdla baňky.

Zajištěná baňka se vzorkem byla umístěna na elektromagnetickou míchačku, kde byl vzorek míchán na střední otáčky.

Ze vzorku vody bylo po míchání převedeno 200 ml do měřicí nádoby Radimu opět pomocí gumové hadičky.

Poté byla voda v této nádobě 5 minut aerována aerátorem Tetratex AP100 v uzavřeném obvodu Radima a následně 20 min měřena.

Následný výpočet účinnosti odradonování:

$$\eta = \frac{OAR_1 - OAR_2}{OAR_1} \times 100$$

Tento výpočet nám udá číslo v procentech, které odpovídá účinnosti odradonování.

Použité pomůcky:

Odměrný válec, zábrusová destilační baňka s plochým dnem, výše uvedené sorbenty, hadičky, elektromagnetické míchadlo (délka míchadla 4 cm), váhy, teploměry, Radim 3A bodový (5 min aerace, 20 min měření), radonová voda sloužící jako vzorek.

Účinnost odradonování pro GAC zrnitosti 3–4 mm

Měření č. 1: OAR1 = 406 Bq/l, tlak vzduchu 1007,6 hPa, teplota vzduchu 23 °C, teplota vody 10,5 °C v laboratořích na SPŠCH Pardubice.

Tabulka 1: Vliv dodaného množství GAC na účinnost

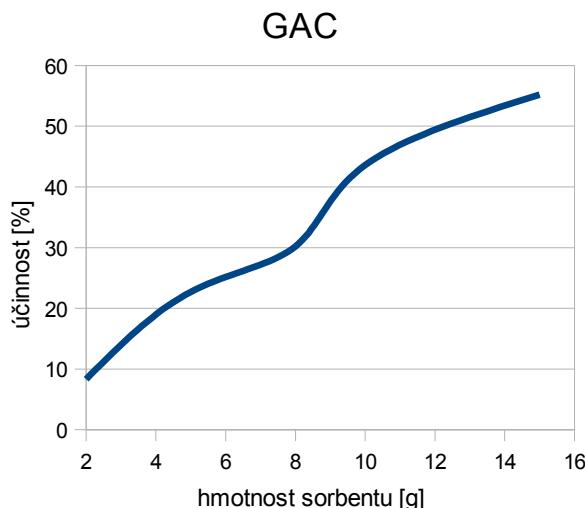
Sorbent	Množství [g]	Objem vody[ml]	Doba sorpce [min]	Účinnost [%]
GAC	2	250	5	8,3
GAC	5	250	5	22,7
GAC	8	250	5	30,2
GAC	10	250	5	43,6
GAC	15	250	5	55,2

Chuť i vůně jsou po úpravách dobré, voda je ale znečištěna uhelným prachem tím víc, čím se přidává GAC, avšak účinnost okolo 55 % je nedostačující. Proto by se tato technologie dala použít pouze jako koncové odradonování například s kombinací s kapalinovou extrakcí, kdy by se případný olej zachytil na uhlí. Avšak jednou z nevýhod aktivního uhlí je fakt, že se na jeho povrchu usazují bakterie, proto by se přiváděná voda



Obr. 5: Granulované aktivní uhlí

musela upravit.



Obr. 6: Graf účinnosti odradonování pro GAC v závislosti na dodaném množství sorbentu

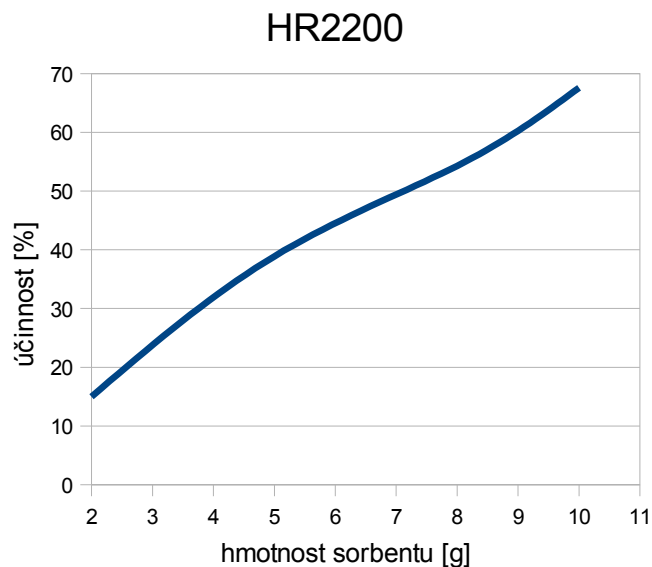
Účinnost odradonování pro hydrofobní sorpční rohož HR2200

Měření č. 2: $OAR_1 = 675 \text{ Bq/l}$ tlak vzduchu 996,4 hPa, teplota vzduchu 29 °C, teplota vody 7,5 °C v Krouně.

Tabulka 2: Vliv dodaného množství HR2200 na účinnost

Sorbent	Množství [g]	Objem vody [ml]	Doba sorpce [min]	Účinnost [%]
HR2200	2	250	5	15
HR2200	5	250	5	38,9
HR2200	8	250	5	54,3
HR2200	10	250	5	67,6

Hydrofobní sorpční rohož se vyznačuje vysokou účinností a skvělými vlastnostmi, jedinou nevýhodou bylo, že se sorbent musel nastříhat eventuálně nadrtit. V praxi je možné tento materiál použít pouze za předpokladu úpravy vstupní vody, protože se v něm zachycují bakterie a nečistoty snižující účinnost. Voda tímto sorbentem nebyla nijak ovlivněna a dokonce vykazuje i lepší vlastnosti než u aktivního uhlí, které vodu zakalilo.



Obr. 7: Graf účinnosti odradonování pro HR2200 v závislosti na dodaném množství sorbentu



Obr. 8: Hydrofobní sorpční rohož HR2200

Účinnost odradonování pro hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005

Měření č. 3: $OAR_1 = 680 \text{ Bq/l}$, tlak vzduchu $999,8 \text{ hPa}$, teplota vzduchu 31 °C , teplota vody $7,5 \text{ °C}$ v Krouně.

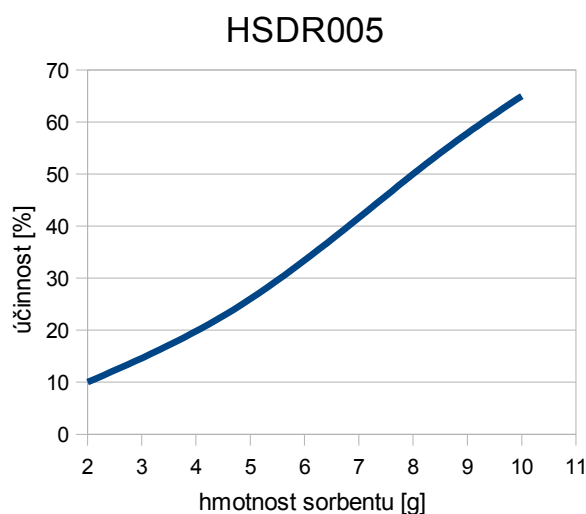
Tabulka 3: Vliv dodaného množství HSDR005 na účinnost

Sorbent	Množství [g]	Objem vody [ml]	Doba sorpce [min]	Účinnost [%]
HSDR005	2	250	5	10
HSDR005	5	250	5	26
HSDR005	8	250	5	50
HSDR005	10	250	5	65



Obr. 9: Hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005

Sorpční drť Reosorb je jedním z možných materiálů k použití, nemění organoleptické vlastnosti vody, je nadrcena takže nepotřebuje žádnou úpravu. Pouze voda by se musela předčistit a sorbent by se mohl používat pouze omezenou dobu aby se v něm nemnožily bakterie. Jediná nevýhoda tohoto sorbentu je jeho poměrně vysoká cena.



*Obr. 10: Graf účinnosti odradonování pro HSDR005
v závislosti na dodaném množství sorbentu*

Vliv doby míchání při konstantní hmotnosti sorbentu

Pro pokusy byly zvoleny doby kontaktu vody se sorbenty 5, 10 a 15 minut. Déle než 15 minut by bylo velmi těžce proveditelné a vlastně neoptimálnější čas by byl okolo 10 min. Tento čas by byl v praxi velmi jednoduše aplikovatelný a navíc i ekonomický, otázkou je zda-li sorbent dokáže odstranit potřebné množství radonu. Sorpční zkoušky byly prováděny s navázkou stejného množství sorbentu a to 5 g ve skleněných zábrusových destilačních baňkách s plochým dnem objemu 250 ml zajištěných gumovou zátkou kvůli zabránění kontaktu vody se vzduchem. Zkoušená podzemní voda byla na místě lita do baňek pomocí hadiček, tak aby docházelo k nejmenšímu kontaktu vody se vzduchem.

K experimentu byly použity následující sorbenty:

- GAC o zrnitosti 3–4 mm
- Hydrofobní sorpční rohož HR2200
- Hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005

Vzorek byl ihned po skončení míchání izolován do uzavřené vzorkovnice Radonového měřiče následně měřen a stanoven OAR_2 vzorku. Byla použita podzemní voda lokality Krouny s OAR_1 intervalu od 400-800 Bq.l-1. V případě použití uhlí bylo uhlí opakovaně prané v destilované vodě nejméně po dobu 20 min. Vlákňitý sorbent byl stříhán na čtverečky 0,4×0,4 cm, pro zvýšení absorpční plochy a zlepšení manipulovatelnosti s materiálem.

Odběr vzorků

Vycházelo se zejména z předpisu uvedeného v normě ČSN 75 7624 Stanovení radonu, avšak kvůli novým zjištěním a výzkumům v tomto směru se odběr vzorku konzultoval s českým metrologickým institutem (ČMI). Změna se projevila zejména ve výběru vzorkovnice, kdy jako nejlepší se osvědčila vzorkovnice z tvrdého plastu se závitovým uzávěrem nebo skleněná vzorkovnice se závitovým uzávěrem.

1. Odběry vzorků z obecních studen a ze studen na obecním pozemku se konzultovaly se starosty obcí, aby nedošlo k právnímu stíhání ze strany obcí. V jednom případě se k odběru vzorků využilo také tamější obyvatelstvo kterému byly dány přesné instrukce, jak odebírat a nakládat se vzorky.
2. Vzorkovnice musí být skleněná, nebo z tvrdého plastu o objemu min 250 ml, nejlépe se závitovým uzávěrem.
3. Je nutné odpustit objem vody, který odpovídá objemu potrubí od místa odběru ze zdroje až po místo odběru.
4. Do vypláchnuté vzorkovnice musí být voda jímána po stěně a za minimálního průtoku, aby nedocházelo ke ztrátám obsahu radonu. Nejlépe z odběrného kohoutku a hadičky.
5. Je nutné, by vzorkovnice byla zcela naplněná, bez vzduchových bublin, mohlo by totiž dojít k uvolnění plynného radonu.
6. Vzorkovnici se vzorkem je nutno zřetelně identifikovat, při přenášení je nutno se vyvarovat otřesům a následně uchovat v chladu (4 °C).

Přeprava a uchování vzorků

Voda byla jímána do skládacích kanystrů od společnosti Ferrino, tak aby se do kanystru nedostal vzduch, který by způsobil snížení OAR_1 . Pokud se tam nějaký vzduch dostal byl okamžitě odstraněn vyfouknutím. Voda byla skladována v kanystru v chladu a temnu nejlépe pouze jeden den, kdy jsme prováděli experimenty, maximálně ovšem do druhého dne, pokud jsme vodu první den nepoužívali.

Postup experimentu:

1. Bylo naváženo dané množství sorbentu pro určitý experiment.
2. Vlákňité sorbenty bylo nutné nastříhat na čtverečky $0,4 \times 0,4 \text{ cm} \pm 2 \text{ mm}$.
3. Sorbent byl vyluhován v destilované vodě pro odstranění vzduchu.
4. Poté byl převeden do destilační baňky objemu 250 ml.
5. Baňka byla plněna po hrdlo vodou ze skládacího kanystru tak, aby voda trochu přetekla a to pomocí gumové hadičky, která byla u dna aby došlo co možná k nejmenšímu styku vody se vzduchem.
6. Nádoba byla poté zajištěna gumovou zátkou, odpovídající průměru hrdla baňky.
7. Zajištěná baňka se vzorkem byla umístěna na elektromagnetickou míchačku, kde byl vzorek míchán na střední otáčce.
8. Ze vzorku vody bylo po míchání převedeno 200 ml do měřicí nádoby Radimu opět pomocí gumové hadičky.
9. Poté byla voda v této nádobě 5 minut aerována aerátorem Tetrattec AP100 v uzavřeném obvodu Radima a následně 20 min měřena.

Následný výpočet účinnosti odradonování:

$$\eta = \frac{OAR_1 - OAR_2}{OAR_1} \times 100$$

Tento výpočet nám udá číslo v procentech, které odpovídá účinnosti odradonování.

Použité pomůcky:

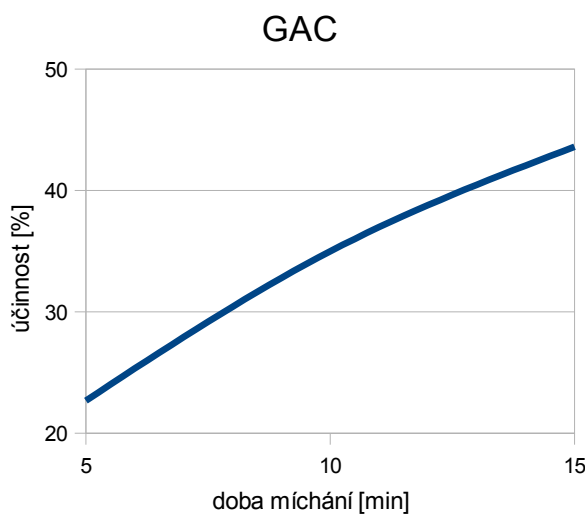
Odměrný válec, zábrusová destilační baňka s plochým dnem, výše uvedené sorbenty, hadičky, elektromagnetické míchadlo (délka míchadla 4 cm), váhy, teploměry, Radim 3A bodový (5 min aerace, 20 min měření), radonová voda sloužící jako vzorek.

Účinnost odradonování pro GAC zrnitosti 3– 4 mm

Měření č. 4 : $OAR_1 = 420 \text{ Bq/l}$, tlak vzduchu 1002,3 hPa, teplota vzduchu 26 °C, teplota vody 11,4 °C v laboratořích SPŠCH Pardubice.

Tabulka 4: Vliv doby kontaktu GAC s vodou na účinnost pro 5 min dekontaminace

Sorbent	Množství[g]	Objem vody[ml]	Doba sorpce [min]	Účinnost [%]
GAC	5	250	5	22,7
GAC	5	250	10	35
GAC	5	250	15	43,6



Obr. 11: Graf vlivu doby dekontaminace s GAC na účinnost pro 5 min

Z grafu je patrné, že s přibývajícím dobou kontaktu sorbentu vzrůstá i účinnost. Avšak při aplikaci 10 min není o moc rozdílná oproti 15 min pouze 8,6 %. Toto navýšení není nijak velké a proto by se účinnost dala zvýšit dodáním sorbentu, GAC není tolik drahé, navíc se dá částečně reaktivovat. Proto další z pokusů byl s dodáním 15 g tohoto sorbentu.

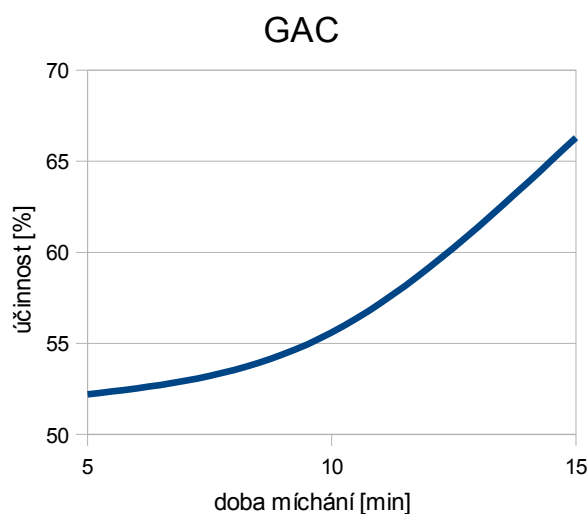
Měření GAC pro 15 minut

Měření č. 5 : $OAR_1 = 380 \text{ Bq/l}$, tlak vzduchu 1004,5 hPa, teplota vzduchu 28 °C, teplota vody 11,7 °C v laboratořích SPŠCH Pardubice.

Tabulka 5: Vliv doby kontaktu GAC s vodou na účinnost pro 15 min dekontaminace

Sorbent	Množství[g]	Objem vody[ml]	Doba sorpce [min]	Účinnost [%]
GAC	15	250	5	52,2
GAC	15	250	10	59,6
GAC	15	250	15	67,3

Z tohoto měření je jasně patrné, že GAC se nedá použít vzhledem k nutnosti dodat velké množství pro sorpci. i při 15 minutách míchání s nejvyšší možnou dodanou hmotností sorbentu vykazuje pouze 67 % účinnost. Navíc byla tato voda znečištěna GAC a musela by se nadále upravit filtry. Další nevýhodou je, že se v mikropórech GAC usazují bakterie a ucpávají je nerozpuštěné látky, takže se voda musí před sorpcí předčistit. Tyto skutečnosti vedou k závěru, že je GAC pro odradonování nevhodné.



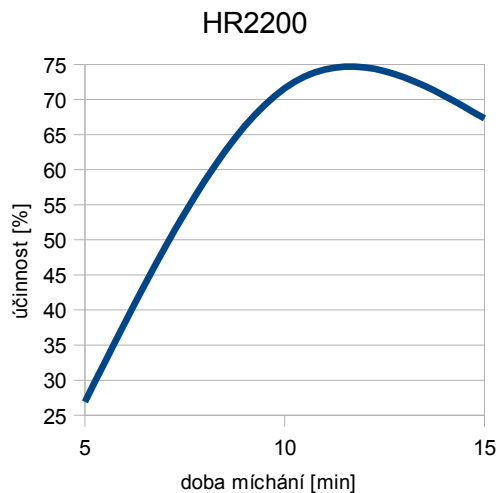
Obr. 12: Graf ovlivu doby dekontaminace s GAC na účinnost pro 15 min

Účinnost odradonování pro Hydrofobní sorpční rohož HR2200

Měření č. 6 : $OAR_1 = 698 \text{ Bq/l}$, tlak vzduchu 999,5 hPa, teplota vzduchu 31 °C, teplota vody 8 °C v Krouně.

Tabulka 6: Vliv doby kontaktu HR2200 s vodou na účinnost

Sorbent	Množství[g]	Objem vody[ml]	Doba sorpce [min]	Účinnost [%]
HR2200	5	250	5	26,9
HR2200	5	250	10	71,6
HR2200	5	250	15	67,3



Obr. 13: Graf vlivu doby dekontaminace s HR2200 na účinnost

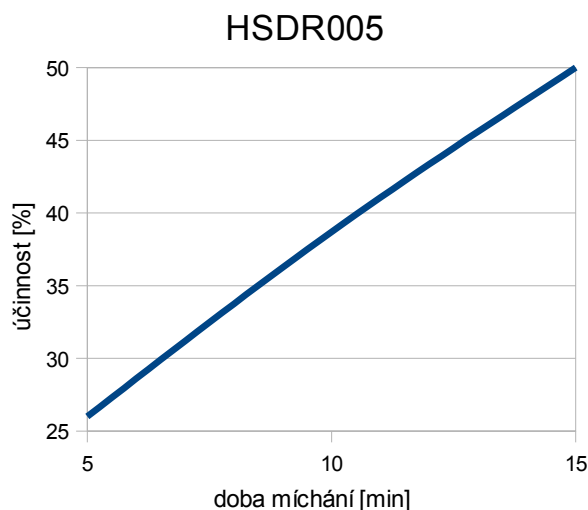
Výsledek tohoto experimentu je velmi překvapující, protože čím déle mícháme, tím menší je účinnost. Tento jev může být vysvětlen tím, že sorbent není schopen po delší dobu udržet radon a s delší dobou míchání ho uvolní zpět. V tomto případě by byla sorpční rohož naprosto nevhodná pro použití, avšak tento jev nelze dokázat z důvodů nedostatku sorbentu pro opakování experimentu. Proto tento sorbent zůstává díky svým vlastnostem jako nejlepší. Nevýhodami sorbentu jsou poměrně vysoká cena a nutnost úpravy vody před odradonováním. Organoleptické vlastnosti vody nejsou nijak změněny. Tento sorbent je možné použít v praxi.

Účinnost odradonování pro hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005

Měření č. 7: $OAR_1 = 650 \text{ Bq/l}$, tlak vzduchu 961,5 hPa, teplota vzduchu 27 °C, teplota vody 7,5 °C v Krouně.

Tabulka 7: Vliv doby kontaktu HSDR005 s vodou na účinnost

Sorbent	Množství[g]	Objem vody[ml]	Doba sorpce [min]	Účinnost [%]
HSDR005	5	250	5	26
HSDR005	5	250	10	38,7
HSDR005	5	250	15	50



Obr. 14: Graf vlivu doby dekontaminace s HSDR005 na účinnost

Z grafu je jasně patrné, že doba dekontaminace není nejdůležitějším faktorem odradonování. V případě tohoto sorbentu jsem nemohl stanovit jak velká bude účinnost při 10 min míchání s dodáním 10 g sorbentu z nedostatku tohoto sorbentu. Avšak tento sorbent je druhý nejlepší hned po předchozím. Jeho hlavními výhodami jsou, že se nemusí nijak upravovat, nemění organoleptické vlastnosti vody a je cenově dostupný v případě použití 40 g na 1 l kontaminované vody. Hlavní nevýhoda spočívá v nutnosti úpravy vody před dekontaminací. Tento sorbent je možné použít v praxi.

Zkoumání organických materiálů:

Jejich výhodou může být snadná dostupnost, nízká cena a možnost spálení použitých a vysušených sorbentů jako biomasy, ale jejich nevýhody mohou spočívat v ovlivnění kvality vody. Některé zkoumané materiály jako piliny nebo rašelina byly použity pouze jednou a to ve vysušeném stavu. Toto zkoumání je pouze orientační a srovnávací oproti syntetickým materiálům. Materiály nebylo nutné nijak upravovat. Velikost částic materiálu se pohybovala od prachových až po 5 mm. z důvodů přítomnosti malých částic se tyto sorbenty dají použít v případě zavedení další úpravy dekontaminované vody, protože je voda znečištěna.

Využití pilin jehličnatých dřevin

Postup experimentu

K měření byla použita voda odebraná z vrtu Krouna. Změřená hodnota OAR_1 odebrané vody byla použita jako vstupní hodnota pro experimenty. Do nádoby o objemu vody 300 ml byl nasypán daný sorbent. Nádoba byla doplněna vodou se zvýšeným obsahem radonu a uzavřena.

Po 25 min, byla voda vypuštěna a odebrán vzorek k měření OAR_2 . Účinnost odradonování byla hodnocena podle vstupní a výstupní hodnoty OAR . Experimenty byly dvakrát opakovány.

Měření č. 8: $OAR_1 = 823 \text{ Bq/l}$, tlak vzduchu 1020,5 hPa, teplota vzduchu 28,6 °C, teplota vody 8,5 °C, laboratoře SPŠCH Pardubice.

Tabulka 8: Vliv použití pilin na účinnost odradonování

Sorbent	Množství [g]	Objem vody [ml]	Doba sorpce [min]	Účinnost [%]
Piliny borovice	2	300	25	25
Piliny smrk	2	300	25	25
Piliny jasan	2	300	25	25

Tyto sorbenty mají i při relativně malé navážce vcelku vysokou účinnost. Avšak časová náročnost těchto pokusů je příliš velká a praxi by se takováto doba dekontaminace dala použít pouze v případě přetržitě pracujícího zařízení. S použitím jasanových pilin by se dalo do budoucna pracovat, ale pouze za předpokladu, že by se voda dále odbarvovala. Smrk je naprosto nevhodný, vyluhují se z něho pryskyřičné látky výrazně ovlivňující chuť. u borovicových pilin už by se odbarvovat nemusela. V další fázi by bylo vhodné experimentálně zkusit ještě piliny z topolu a lípy, protože jde o dřeviny používané v potravinářském průmyslu. Další otázkou je možné mikrobiologické znečištění organismy na sorbentu. Avšak i tomuto se dá předejít aplikací oligodynamie kovů v místě vrtu.



Obr. 15: Zkoumané piliny z jehličnatých dřevin

Využití hydrofobní rašelinné drtě PEATSORB HDP005

Měření č. 9: OAR1 = 803 Bq/l, tlak vzduchu 948,5 hPa, teplota vzduchu 28 °C, teplota vody 8 °C v Krouně.

Tabulka 9: Vliv použití rašeliny HDP005 na účinnost odradonování

Sorbent	Množství[g]	Objem vody[ml]	Doba sorpce [min]	Účinnost [%]
HDP005	5	250	5	6,7
HDP005	5	250	10	9,5

Tento sorbent se zdá neúčinný a myslím, že není důvod se jím dále zabývat. Jeho jedinou výhodou je možnost ekologické likvidace. Avšak voda byla částečně znečištěna pískem a biologickým materiálem, proto by se musela dále upravovat před použitím.



Obr. 16: hydrofobní rašelinné drtě PEATSORB HDP005

Stanovení chyb při měření

V průběhu měření se mohli vyskytnout nepřesnosti při stanovení účinnosti. Jednou z nich mohla být i manipulace z vodou při přelévání do nádob a vzorkovnice a dále pak samotné míchání. Abych tuto chybu mohl stanovit napodobil jsem pokus pouze s vodou bez přidání sorbentů. Tyto pokusy bylo průběžné a proto bylo zprůměrováno několik měření.

Postup experimentu:

1. Destilační baňka s plochým dnem byla pomocí gumové hadičky naplněna vodou ze skládacího kanystru.
2. Nádoba byla zajištěna gumovou zátkou, odpovídající průměru hrdla baňky.
3. Zajištěná baňka se vzorkem byla umístěna na elektromagnetickou míchačku, kde byl slepý vzorek míchán na střední otáčky.

4. Ze slepého vzorku bylo po míchání převedeno 200 ml do vzorkovnice Radimu opět pomocí gumové hadičky.
5. Poté byla voda v této nádobě měřena Radimem 3A bodovými byla vypočtena odchylka měření stejným způsobem jako byla stanovena účinnost.

Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a byla vypočtena konečná ztráta v závislosti na době míchání.

Toto měření potvrzuje, že celé měření lze považovat za objektivní a velmi přesné. Maximální odchylka 1,7 % značí vysokou přesnost měření (viz. tabulka 10).

Tabulka 10: Stanovení systematických chyb

Doba míchání [min]	Objem vody [ml]	Odchylka měření [%]
5	250	1
10	250	1,7
15	250	0,7

Diskuse

Zhodnocení sorbentů dle dodaného množství

V závislosti na dodaném množství účinnost stoupá avšak vláknité sorbenty dosahují vyšší účinnosti při aplikaci 10 minut míchání, než GAC při 15 minutách.

Zhodnocení sorbentů dle doby dekontaminace

Se stoupající dobou dekontaminace obecně mají sorbenty vyšší účinnost pouze u sorpční rohože byl dokázán úbytek účinnosti. Pro sorbent HR2200 byla nejlepší dokázaná doba kontaktu s vodou stanovena na 10 min což je ideální. Ve spojení s 10 g sorbentu by se dalo dosáhnout až 80 % účinnosti. Avšak toto se musí ověřit dalším měřením.

Hydrofobní sorpční rohož HR2200

Nejlepší sorbent byla hydrofobní sorpční rohož HR2200, která dosáhla nejlepší účinnosti až 67 % již pro 10 g (více nemohlo být zkoumáno z důvodů nedostatku sorbentu). Tento materiál je zdravotně nezávadný a nijak nemění vlastnosti vody a proto je v této kategorii nejlepší. z ekonomického hlediska je dražší než například aktivní uhlí, ale toto je pouze relativní pojem. Sorbent by se po použití dal prodávat do spaloven protože se vykazuje poměrně vysokou hodnotou spalného tepla. Avšak to pouze v případě, že by tento sorbent splňoval normy a bylo s ním možné nakládat jako s normálním odpadem. Rohož je nutné před použitím nastříhat nebo nadrtit pro větší sorpční povrch. Tento sorbent je schopen



Obr. 17: HR2200 příprava: nastříhání, praní a sorpce
snížit OAR na úroveň pod 300 Bq/l.

Hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005

Druhým nejlepším sorbentem byla hydrofobní sorpční drť REOSORB HSDR005 dosahující až 65 % účinnosti pro 10 g. Tento materiál má stejný potenciál jako rohož. Výhodou tohoto sorbentu je, že se nemusí nijak upravovat, protože je nadrcen. Nevýhodou je opět poměrně vysoká cenaspčného materiálu. Se sorbentem po použití by se dalo nakládat jako s rohožemi a to vysušit a prodat ke spálení. Jedinou nevýhodou je, stejně jako u rohoží, že je nutné vodu zbavit nerozpuštěných látek a bakterií před radonovou dekontaminací. Tak se dá zkombinovat několik technologií dohromady. V první části by se studně zbavila mikroorganismů za použitím oligodynamie kovů, poté by se voda mechanicky čistila ve filtru z aktivního uhlí (uveden v příloze), kde by se využila i vlastnost uhlí zachytit radon. Hlavní náplní by byla patrona se sorbenty ze které by odtékala odradonovaná voda. Tato voda by se dala použít bez dalších úprav. Největší přednost této technologie je skutečnost, že se voda nemusí znovu natlakovat a proto lze použít pouze jediné čerpadlo ve vrtu. Tento sorbent je schopen snížit OAR na úroveň pod 300 Bq/l.

Granulované aktivní uhlí zrnitosti 3–4 mm

Dle měření vyplývá, že je to nejhorší sorbent, který má kolem 50 % účinnost. Tento sorbent je možné využít pouze v kombinaci z jiným způsobem odradonování například kapalinovou extrakcí nebo výše zmíněnou kombinovanou sorpcí. Aktivní uhlí má mnoho nevýhod, voda se musí upravovat pře i po sorpci, protože je znečištěná uhelným prachem. Uhlí se musí dodat mnohem více než ostatních sorbentů pro dosažení srovnatelné účinnosti z vlákniny až 20 g na 250 ml což je již neekonomické (2820 Kč za 25 kg) životnost aktivního uhlí je dle výrobců šest měsíců, za neustálého provozování. Důvodem je adsorbovaný rozpadající se radon, bakterie a brázdění, které vzniká vlivem proudění kapaliny a dochází k tvorbě cestiček, které jsou postupně zahlcovány, navíc jediná možná úprava uhlí je jeho reaktivace a zde není prokázáno, že se produkty radioaktivního rozpadu odstraní. Proto je GAC nejhorším zkoumaným sorbentem v této kategorii. Navíc granulované aktivní uhlí nelze používat u vod, které jsou nebezpečné z mikrobiologického hlediska, dochází zde totiž ke kumulaci a množení bakterií v nevyplněném prostoru mezi granulami. Tomuto můžeme zabránit, použijeme-li aktivní uhlí slisované do bloků.

Ostatní biologické materiály

Tyto materiály jsou pro praktické použití spíše nevhodné. s porovnání se syntetickými vlákny mají spoustu nedostatků. Znečištění výstupní vody, nutnost předčištění před sorpcí, nízká účinnost a potřeba zdržení po dlouhou dobu. Pro tyto experimenty nemají další využití.

Závěr

Práce umožnila zavést do praxe neaerační techniky odstranění radonu z menších zdrojů pitné vody. Pro tyto účely by nejvíce vyhovovala hydrofobní sorpční rohož HR2200 s její účinnosti odradonování až 70%. Tento sorbent má široké použití a lze do patrony se sorbentem umístit antibakteriální materiály zanechávající stálou koncentraci př.: stříbro. Před úpravou vody se doporučuje odstranění iontů manganu a železa, které by snižovali sorpční kapacitu. Po použití bude sorbent separován ve spalovnách ještě před tím než bude označen jako radioaktivní. Práce zkoumala různé nepolární materiály a popřela použití GAC jako nejlepšího prostředku radonové dekontaminace. Závěrem si dovoluji upozornit, že zkoumaných sorbentů bylo deset, ale v této práci byly zahrnuty pouze ty nejvhodnější pro styk s pitnou vodou. Taktéž pozdější studie ukázali, že některé nepolární sorbenty dokáží snižovat koncentraci chlorovaných uhlovodíků ve vodě, tento fakt bude směrnicí pro další pokračování výzkumu sorbentů.

Seznam použité literatury

- Www.vz.cz* [online]. 2007 [cit. 2010-04-15]. <http://www.vz.cz/deradon.htm>.
Dostupné z WWW: <www.vz.cz>.
- Česko. Zákon č. 18/1997 Sb.. In *Sbírka zákonů, Česká republika. 1997, -, celý dokument*. Dostupný také z WWW: <http://www.sujb.cz/?c_id=229>.
- Česko. Zákon č. 19/1997 Sb.. In *Sbírka zákonů, Česká republika. 1997, -, celý dokument*. Dostupný také z WWW: <http://www.sujb.cz/?c_id=229>.
- Www.sujb.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-15]. Http://www.sujb.cz/?c_id=536.
Dostupné z WWW: <www.sujb.cz>.
- Www.sujb.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-15]. Http://www.sujb.cz/?c_id=664.
Dostupné z WWW: <www.sujb.cz>.
- Www.suro.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-15]. Www.suro.cz/cz/index_html.
Dostupné z WWW: <www.suro.cz>.
- Www.suro.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-15]. <Www.suro.cz/cz/prirodnioz>.
Dostupné z WWW: <www.suro.cz>.
- Radon In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2.4.2004, 4.3.2010 [cit. 2010-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Radon>>.
- ČÁSLAVSKÝ, Marek, et al. Rešerše projektu č. 2A-1TP1/044 „Odstranění radonu z vody pocházející z malých vodních zdrojů“ : Výzkum nových technologií na odstranění radonu z vody. In ČÁSLAVSKÝ, Marek, et al. Rešerše projektu č. 2A-1TP1/044 „Odstranění radonu z vody pocházející z malých vodních zdrojů“. Chrudim : Interně pro Vz Chrudim spol s.r.o., 2008. s. 86.
- HANSLÍK, Eduard. K projektu MPO ev. Č. 2A-1TP1/Odstraňování radonu z vody pocházejících z malých zdrojů. In HANSLÍK, Eduard. K projektu MPO ev. Č. 2A-1TP1/Odstraňování radonu z vody pocházejících z malých zdrojů . Praha : Interně pro VZ Chrudim spol s.r.o., 2008. s. 5.
- KOPECKÁ, Lenka. Aktivní uhlí : Zpráva o práci na projektu deRadon. In KOPECKÁ, Lenka. Základní rozvaha nad zařízením odstraňujícím radon malého vodního zdroje pomocí aktivního uhlí. Chrudim : Interní pro VZ Chrudim spol. s r. o, 2007. s. 13.

- KOPECKÝ, Jaroslav. *Technologie pro úpravu pitných a bazénových vod* : -. In KOPECKÝ, Jaroslav. *Aktivní uhlí-technologie pro úpravu pitných a bazénových vod* . Líbeznice : Interní pro Jako s.r.o., 2007. s. 3.
- MANSFELT, Jan. *Neaerační postupy snížení obsahu radonu při úpravě vod* : -. In HANZLÍK, Jaroslav. *Neaerační postupy snížení obsahu radonu při úpravě vod*. Praha : Interní pro VZ Chrudim spol. s r. o., 1994. s. 9.
- PTÁČEK, Jan. *Měření radonu*. In PTÁČEK, Jan. *Vyhledávání vodních zdrojů se zvýšeným obsahem radonu ve vodě v Pardubickém, Olomouckém a Severomoravské kraji..* Chrudim : Interní pro VZ Chrudim spol. s r. o., 2008. s. 10.
- ŠVEC, Jiří; PTÁČEK, Jan. *Zpráva o práci na projektu deRadon*. In ŠVEC, Jiří; PTÁČEK, Jan. *Měření objemové aktivity radonu v katastrálním území obce Krouna*. Chrudim : Interní pro VZ Chrudim spol. s r. o., 2007. s. 10.
- VÍŠEK, Martin; KOŘÍSTEK, Jan. *Měření radonu ve vodách na vybraných lokalitách v Pardubickém kraji*. In VÍŠEK, Martin; KOŘÍSTEK, Jan. *Měření radonu ve vodách na vybraných lokalitách v Pardubickém kraji*. Chrudim : Interní pro VZ Chrudim spol. s r. o., 2008. s. 45.

Dokumentační přílohy

1. Provedené experimenty:

- Použité experimenty z aktivním uhlím

2. Návrh zařízení:

- Blokové schéma

3. Legislativní příloha

4. Fotodokumentace:

5. Ceník vláknitých sorbentů

- Hydrofobní sorpční rohož HR2200
- Hydrofobní sorpční drť – REOSORB HSDR005