



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

SPECIFICKÉ LÁTKY VE ZDROJÍCH PITNÉ VODY

SPECIFIC SUBSTANCES IN DRINKING WATER SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

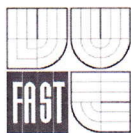
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ KONEČNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RENATA BIELA, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Jiří Konečný

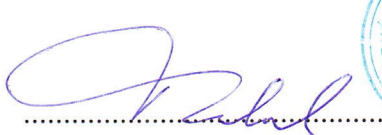
Název Specifické látky ve zdrojích pitné vody

Vedoucí bakalářské práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

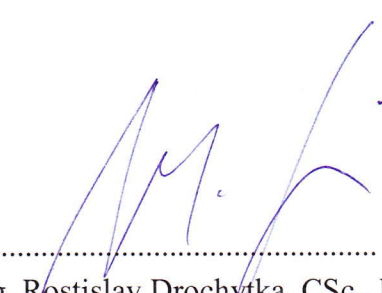
**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2013

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013


.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.
- [2] PITTER, Pavel. Hydrochemie. 4. vydání. Praha: VŠCHT Praha, 2009. 568 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [3] POMYKAČOVÁ, Ivana, et al. Problematika arsenu v pitné vodě v České republice. In Sborník konference Pitná voda 2010. České Budějovice: W&ET Team, 2010. s. 145-150. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [4] BIELA, R., KUČERA, T., VOSÁHLO, J. Účinnost sorpčních materiálů při odstraňování arsenu i jiných kovů z vody. SOVAK, 2012, roč. 21., č. 10, s. 18-20. ISSN 1210- 3039.
- [5] ILAVSKÝ, J., BARLOKOVÁ, D. Nové sorpčné materiály v odstraňování kovů z vody. In Sborník konference Pitná voda 2008. České Budějovice: W&ET Team, 2008. s. 195-200. ISBN 978-80-254-2034-8.
- [6] Odborné časopisy (Sovak, Vodní hospodářství, TZB-info)

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Bakalářská práce se bude zabývat specifickými látkami, které se mohou dostat do zdrojů pitné vody (např. ropné látky, kovy, pesticidy apod.) a nastíní možnosti jejich odstranění z vod. V rámci práce bude experimentálně provedeno odstranění některé specifické látky v laboratorních podmínkách.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).


.....

Ing. Renata Biela, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

V bakalářské práci jsem se zabýval specifickými látkami, které svým výskytem ve zdrojích pitné vody znečišťují kvalitu vody. Jedná se především o těžké kovy, ale také o sloučeniny bázi síry, dusíku, fosforu a další. V práci se zabývám možnostmi odstranění těchto látek pomocí různých metod, především adsorpce na filtračních materiálech. Předkládaná práce je zaměřena na využití adsorpce na vhodných adsorpčních materiálech ke snížení koncentrace arsenu a kadmia v pitné vodě. V první části práce jsem charakterizoval látky vyskytující se ve vodě a nastínil způsoby jejich odstranění. Druhá část práce je zaměřena na laboratorní sledování účinnosti odstranění arsenu a kadmia na sorpčních materiálech.

Abstract

In this bachelor thesis I dealt with specific substances which occurs in sources of drinking water and pollutes quality of water. Especially its heavy metal, sulfur compounds, nitrogen, phosphorus and other. In this thesis I deal with possibilities about remove of these substances by using various methods, especially absorption on filter materials. These thesis is focused on using absorption on suitable materials for reduction of concentration arsenic and cadmium in drinking water. In first part I've characterized substances which occurs in the water and outlined a way to remove them. Second part is focused on laboratory observation to efficiency of removing arsenic and cadmium on sorption materials.

Klíčová slova

Zdroje vody, úprava vody, pitná voda, filtrační materiál, arsen, kadmium

Keywords

Water source, water treatment, drinking water, filter material, arsenic, cadmium

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

KONEČNÝ, Jiří. *Specifické látky ve zdrojích pitné vody*. Brno, 2014. 55 s., 5 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 31.5.2014

.....
podpis autora
Jiří Konečný

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych především rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Renatě Biele Ph.D. za její aktivní přístup. Právě i díky jejímu příkladnému vedení vznikla tato bakalářská práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	ZDROJE A JAKOST PITNÉ VODY.....	4
2.1	Zdroje pitné vody	4
2.2	Jakost pitné vody.....	5
3	SPECIFICKÉ LÁTKY VE ZDROJÍCH PITNÉ VODY	12
3.1	Kovy.....	12
3.1.1	Olovo.....	12
3.1.2	Rtuť	12
3.1.3	Arsen	13
3.1.4	Kadmium.....	14
3.1.5	Nikl	15
3.2	Sloučeniny síry.....	16
3.2.1	Sířany	16
3.2.2	Sulfan	16
3.3	Sloučeniny dusíku a fosforu.....	17
3.3.1	Dusík	17
3.3.2	Fosfor	18
3.4	Ropné látky a uhlovodíky	19
3.5	Pesticidy	20
3.6	Tenzidy a detergenty	21
4	ZPŮSOBY ODSTRANĚNÍ LÁTEK Z VODY	22
4.1	Koagulace.....	22
4.2	Odstranění na železitém písku	22
4.3	Pohyblivé filtrační lože.....	23
4.4	Granulované sorpční materiály.....	24
4.4.1	CFH.....	24
4.4.2	Bayoxide	25
4.4.3	GEH	26
4.5	Nanosorbenty na bázi MnO ₂	27
5	EXPERIMENTÁLNÍ ODSTRANĚNÍ LÁTEK Z VODY.....	28
5.1	Cíl experimentu	28
5.2	Postup měření	28

5.2.1	Příprava filtračních kolon.....	29
5.2.2	Stanovení experimentálních parametrů	30
5.2.3	Filtrace	32
5.2.4	Podmínky filtrace	32
5.3	Výsledky rozboru	32
5.4	Fotodokumentace k experimentu.....	37
6	ZÁVĚR.....	42
7	POUŽITÁ LITERATURA	43
	SEZNAM TABULEK	45
	SEZNAM OBRÁZKŮ	46
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	47
	SEZNAM PŘÍLOH.....	48
	SUMMARY	49

1 ÚVOD

Voda je jedním z nejvýznamnějších produktů planety Země a vyskytuje se v přírodním prostředí jak na jejím povrchu, tak v podzemí, či v její atmosféře a to v různém skupenství a v množství typů vod různého charakteru. Díky existenci vody na Zemi je umožněn život a to od primární jednoduché podoby až po variace nejsložitějších dokonalých uskupení, kdy na vrcholu vývojové pyramidy stojí člověk. Je to právě člověk, který jako jediný ze skupiny živočišných druhů dokáže vodu využívat nejen pro svoji biologickou potřebu, nýbrž i pro celou řadu jiných procesů, u nichž je voda základním, případně vedlejším produktem. Okřídlené heslo: „Voda je základ života“ je bez ohledu na mnohdy zbytečnou devalvací reálnou, ničím nezpochybnitelnou realitou. [1]

Podzemní voda je veškerá voda v kapalném skupenství nacházející se pod zemským povrchem. Podzemní vodou není voda, která je fyzikálně nebo chemicky vázána na částice minerálů a hornin. Podzemní vodou se zabývá hydrogeologie. Existují i další definice podzemní vody, např. dle zákona č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon): Podzemními vodami jsou vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásnu nasycení v přímém styku s horninami; za podzemní vody se považují též vody protékající drenážními systémy a vody ve studních. [2]

Podle zákona č. 20/2004 Sb. o vodách, povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující se na zemském povrchu; tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních. [3]

S dnešním rychlým vývojem společnosti a jejích nároků roste technologická vybavenost a s ní i náročná výroba. Lze tedy předpokládat zvýšení množství odpadu z výroby a odpadních vod. Tyto vody pak ovlivňují kvalitu zdrojů pitné vody. Dalším důležitým aspektem dnešní doby jsou například pesticidy nebo ostatní hubící látky, které v dřívějších dobách nezatěžovaly životní prostředí. V poslední době se začínají objevovat zvýšené koncentrace některých kovů jako například niklu, olova, arsenu a dalších prvků ve vodách. Tyto látky mají neblahý vliv na člověka, a proto se v praktické části budu zabývat odstraněním vybraných kovů.

2 ZDROJE A JAKOST PITNÉ VODY

2.1 ZDROJE PITNÉ VODY

Jak již bylo zmíněno v úvodu, dělíme zdroje vody na povrchové a podzemní. U podzemních zdrojů má největší význam z vodárenského hlediska voda gravitační (též volná), která je soustředěna pod povrchem území a pohybuje se vlivem gravitačních sil. Zvodnělá vrstva může mít volnou nebo napjatou hladinu, nachází se na omezené (i rozsáhlé) oblasti, kterou lze chápat jako podpovrchovou zásobní nádrž, přičemž mocnost vrstvy může být od několika málo až do desítek metrů. Obecně platí, že podzemní vody jsou jako zdroj pitné vody vhodnější, jelikož jsou lépe chráněny před znečištěním (v závislosti na hloubce výskytu), obvykle mívají vyhovující kvalitu a často je lze použít buď přímo, nebo jen s minimální úpravou jako pitnou vodu. [1]

Podzemní voda vyvěrá z hydrogeologické struktury na zemský povrch přirozeně nebo vlivem umělého zásahu. Přirozený vývěr je místem zakončení oběhu podzemní vody. Přirozeně voda vystupuje na povrch formou skrytých vývěrů nebo jako prameny. Značná část podzemní vody z hydrogeologických struktur vyvěrá skrytě přímo do povrchových toků nebo nádrží (jezer, moří). Pramenem se nazývá soustředěný přirozený vývěr vody na zemský povrch. Prameny lze třídit podle různých kritérií, např. podle vydatnosti, setrvalosti vývěru (např. permanentní, občasné, periodické), směru pohybu podzemní vody k výtoku (sestupné, výstupné, přelivné), podle geologických poměrů (vrstevní, puklinové, zlomové, suťové, krasové), morfologické pozice (údolní, terasové, vrcholové) apod. [2]

Jímání podzemní vody vertikálně se navrhuje v případech, kdy zvodnělá vrstva má dostatečnou mocnost. Pokud se mluví o vertikálním jímání, jedná se především o studny, které jsou zároveň nejčastějším způsobem jímání podzemních vod. Konstrukce studní je závislá na vztahu k nepropustnému podloží a na způsobu výstavby. Mezi horizontální jímadla se řadí jímací zářezy, štoly a galerie. Horizontální způsob jímání se používá v případech, kdy mocnost zvodnělé vrstvy je nedostatečná pro vertikální jímání. [1]

Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu. Tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních. Z hlediska čistoty vody u nás jsou důležité vodní toky trvale tekoucí buď přirozeným (případně upraveným) korytem jako bystřiny, potoky, řeky anebo v umělém korytě jako kanály a nádrže apod. Mezi tyto vody patří také vody nacházející se ve slepých ramenech řek a rybnících. Tyto útvary tvoří takřka všechny povrchové vody v ČR. Jezera se vyskytují pouze výjimečně v pohraničních oblastech v horách a leží zpravidla v chráněných krajinných oblastech, takže jejich čistota je zabezpečována nejen orgány životního prostředí, ale i organizacemi památkové péče. [3]

Jímací objekty povrchové vody rozlišujeme pro vody tekoucí a pro vody stojaté. Pro jímání tekoucích vod se využívá břehových jímadel, kdy je voda jímána v břehu anebo řečištních jímadel, kdy je voda odebírána z toku ve dně toku případně nade dnem. [1]

2.2 JAKOST PITNÉ VODY

Pitnou vodou je veškerá voda v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství a voda určená k péči o tělo, k čištění předmětů, které svým určením přicházejí do styku s potravinami nebo lidským tělem, a k dalším účelům lidské spotřeby, a to bez ohledu na její původ, skupenství a způsob její distribuce ke spotřebitelům. Za pitnou se však nepovažuje přírodní léčivý zdroj a přírodní minerální voda.

Hygienické požadavky na zdravotní nezávadnost a čistotu pitné vody se stanoví hygienickými limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů. Hygienické limity se stanoví jako nejvyšší mezní hodnoty, mezní hodnoty a doporučené hodnoty.

Nejvyšší mezní hodnota (NMH) je hodnota ukazatele jakosti pitné vody, jejíž překročení znamená vyloučení použití vody jako vody pitné, neurčí-li příslušný orgán ochrany veřejného zdraví jinak.

Mezní hodnota (MH) je hodnota organoleptického ukazatele jakosti pitné vody, jejich přírodních součástí nebo provozních parametrů, jejíž překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní riziko. Není-li u ukazatele uvedeno jinak, jde o horní hranici rozmezí přípustných hodnot.

Doporučená hodnota (DH) je nezávazná hodnota ukazatele jakosti pitné vody, která se stanoví minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentrací dané látky, nebo optimální rozmezí koncentrace této látky.

Základním kvalitativním složením se povrchové vody od podzemních vod příliš neliší, rozdíly jsou v poměrném zastoupení jednotlivých složek. Chemická rozmanitost je u většiny povrchových vod menší než u vod podzemních, výjimku tvoří bezodtoková jezera.

Zatímco podzemní vody jsou často v anoxickém stavu a obsahují větší koncentrace CO_2 , u povrchových vod je tomu opačně. Povrchové vody obsahují rozpuštěný kyslík a jen malé koncentrace oxidu uhličitého (pouze v hypolimniu stojatých vod bývají anoxické podmínky, případně i vyšší koncentrace CO_2 v důsledku biologického rozkladu organických látek). Dále se liší obsahem organických látek. Podzemní vody bývají v důsledku infiltrace půdou a horninovým prostředím jen málo organicky znečištěny. Naproti tomu povrchové vody nejsou před antropogenním znečištěním přirozeným způsobem chráněny a koncentrace organických látek v nich může být značná.

Problémy zásobování nezávadnou pitnou vodou byly zpočátku výhradně problémem epidemiologickým, proto byla původně hlavní pozornost věnována možnosti fekálního znečištění. V posledních desetiletích však nabývá stále na významu také znečištění toxickými chemickými látkami, anorganickými a organickými látkami a radionuklidy. Dobrá pitná voda však musí obsahovat také látky nezbytné pro život a musí vyhovovat

i z hlediska organoleptického. Asi čtvrtinu potřebných esenciálních minerálních látek ve využitelné formě získává člověk především z vody. Proto je v současné době posuzování jakosti pitné vody komplexním problémem. [4]

Pitná voda musí splňovat legislativní požadavky, které jsou shrnuty ve vyhlášce č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Vyhláška obsahuje mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele pitné vody a jejich limity.

Tab. 2.1 Mikrobiologické a biologické ukazatele [5]

Číslo	Ukazatel	Jednotka	Limit	Typ limitu
1	<i>Clostridium perfringens</i>	KTJ/100 ml	0	MH
2	<i>enterokoky</i>	KTJ/100 ml	0	NMH
		KTJ/250 ml	0	NMH
3	<i>Escherichia coli</i>	KTJ/100 ml	0	NMH
		KTJ/250 ml	0	NMH
4	<i>koliformní bakterie</i>	KTJ/100 ml	0	MH
5	<i>mikroskopický obraz -abioseston</i>	%	10	MH
6	<i>mikroskopický obraz - počet organismů</i>	jedinci/ml	50	MH
7	<i>mikroskopický obraz - živé organismy</i>	jedinci/ml	0	MH
8	<i>počty kolonií při 22 °C</i>	KTJ/ml	200	MH
		KTJ/ml	100	NMH
9	<i>počty kolonií při 36 °C</i>	KTJ/ml	20	MH
		KTJ/ml	20	NMH
10	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	KTJ/250 ml	0	NMH

Tab. 2.2 Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele [5]

Číslo	Ukazatel	Symbol	Jednotka	Limit	Typ limitu
11	<i>1,2-dichlorethan</i>		µg/l	3	NMH
12	<i>akrylamid</i>		µg/l	0,1	NMH
13	<i>amonné ionty</i>	NH ₄ ⁺	mg/l	0,5	MH
14	<i>antimon</i>	Sb	µg/l	5	NMH
15	<i>arsen</i>	As	µg/l	10	NMH

16	<i>barva</i>		mg/l Pt	20	MH
17	<i>benzen</i>		µg/l	1	NMH
18	<i>benzo[α]pyren</i>	BaP	µg/l	0,01	NMH
19	<i>beryllium</i>	Be	µg/l	2	NMH
20	<i>bor</i>	B	mg/l	1	NMH
21	<i>bromičnany</i>	BrO ₃	µg/l	10	NMH
22	<i>celkový organický uhlík</i>	TOC	mg/l	5	MH
23	<i>dusičnany</i>	NO ₃ ⁻	mg/l	50	NMH
24	<i>dusitany</i>	NO ₂ ⁻	mg/l	0,5	NMH
25	<i>epichlorhydrin</i>		µg/l	0,1	NMH
26	<i>fluoridy</i>	F	mg/l	1,5	NMH
27	<i>hliník</i>	Al	mg/l	0,2	MH
28	<i>hořčík</i>	Mg	mg/l	10	MH
				20-30	DH
29	<i>chemická spotřeba kyslíku (manganistanem)</i>	CHSK-Mn	mg/l	3	MH
30	<i>chlor volný</i>		mg/l	0,3	MH
31	<i>chlorethen (vinylchlorid)</i>		µg/l	0,5	NMH
32	<i>chloridy</i>	cr	mg/l	100	MH
33	<i>chloritany</i>	ClO ₂ ⁻	µg/l	200	MH
34	<i>chrom</i>	Cr	µg/l	50	NMH
35	<i>chuť</i>			přijatelná pro odběratele	MH
36	<i>kadmium</i>	Cd	µg/l	5	NMH
37	<i>konduktivita</i>	K	mS/m	125	MH
38	<i>kyanidy celkové</i>	CN ⁻	mg/l	0,05	NMH
39	<i>mangan</i>	Mn	mg/l	0,05	MH
40	<i>měď</i>	Cu	µg/l	1000	NMH
41	<i>microcystin-LR</i>		µg/l	1	NMH
42	<i>nikl</i>	Ni	µg/l	20	NMH
43	<i>olovo</i>	Pb	µg/l	10	NMH
44	<i>ozon</i>	O ₃	µg/l	50	MH
45	<i>pach</i>			přijatelný pro odběratele	MH
46	<i>pesticidní látky</i>		µg/l	0,1	NMH
47	<i>pesticidní látky celkem</i>		µg/l	0,5	NMH

48	<i>pH</i>	pH		6,5 - 9,5	MH
49	<i>polycyklické aromatické uhlovodíky</i>	PAU	µg/l	0,1	NMH
50	<i>rtuť</i>	Hg	µg/l	1	NMH
51	<i>selen</i>	Se	µg/l	10	NMH
52	<i>sírany</i>	SO ₄ ²⁻	mg/l	250	MH
53	<i>sodík</i>	Na	mg/l	200	MH
54	<i>stříbro</i>	Ag	µg/l	50	NMH
55	<i>tetrachlorethen</i>	PCE	µg/l	10	NMH
56	<i>trihalomethany</i>	THM	µg/l	100	NMH
57	<i>trichlorethen</i>	TCE	µg/l	10	NMH
58	<i>trichlormethan (chloroform)</i>		µg/l	30	MH
59	<i>vápník</i>	Ca	mg/l	30	MH
				40-80	DH
60	<i>vápník a hořčík</i>	Ca + Mg	mmol/l	2-3,5	DH
61	<i>zákal</i>		ZF(t,n)	5	MH
62	<i>železo</i>	Fe	mg/l	0,2	MH

Vyhláška č. 120/2011 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb. v příloze č. 13 předepisuje mezní hodnoty ukazatelů limitující zařazení do příslušné kategorie jakosti surové vody pro úpravu na vodu pitnou.

Tab. 2.3 Ukazatele jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na pitnou vodu [6]

Číslo	Ukazatel	Jednotka	A1	A2	A3
			mezní	mezní	mezní
1.	<i>Reakce vody</i>	pH	6,5-9,5	5-6,5 9,5-10	< 5 nebo <10
2.	<i>Barva</i>	mg/l Pt	20	100	200
3.	<i>Nerozpuštěné látky suš.</i>	mg/l	10		
4.	<i>Teplota</i>	°C	20	25	25
5.	<i>Konduktivita</i>	mS /m	125	125	125
6.	<i>Pach</i>		přijatelný		nepřijatelný
7.	<i>Dusičnany</i>	mg/l	50	50	50
8.	<i>Fluoridy</i>	mg/l	1,5	1,5	1,5
9.	<i>Adsorbovatelné org. vázané halogeny (AOX)</i>	mg/l	0,01	0,02	0,03

10.	<i>Železo celkové</i>	mg/l	0,2	1	2
11.	<i>Mangan</i>	mg/l	0,05	0,5	1,5
12.	<i>Měď</i>	mg/l	0,05	0,05	0,1
13.	<i>Zinek</i>	mg/l	3	5	5
14.	<i>Bor</i>	mg/l	1	1	1
15.	<i>Berylium</i>	mg/l	0,002	0,002	0,002
16.	<i>Nikl</i>	mg/l	0,02	0,03	0,03
17.	<i>Arsen</i>	mg/l	0,01	0,01	0,02
18.	<i>Kadmium</i>	mg/l	0,005	0,005	0,005
19.	<i>Chrom veškerý</i>	mg/l	0,05	0,05	0,05
20.	<i>Olovo</i>	mg/l	0,01	0,025	0,05
21.	<i>Selen</i>	mg/l	0,01	0,01	0,01
22.	<i>Rtuť</i>	mg/l	0,001	0,001	0,001
23.	<i>Kyanidy veškeré</i>	mg/l	0,05	0,05	0,05
24.	<i>Sírany</i>	mg/l	250	250	250
25.	<i>Chloridy</i>	mg/l	100	100	250
26.	<i>Tenzidy aniontové</i>	mg/l	0,2	0,2	0,5
27.	<i>Uhlovodíky C10-C40</i>	mg/l	0,1	0,1	0,1
28.	<i>Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)</i>	ng/i	0,1	0,1	0,2
29.	<i>Pesticidní látky celkem</i>	ng/i	0,5	0,5	0,5
30.	<i>Chemická spotřeba kyslíku manganistanem</i>	mg/l	3	10	15
31.	<i>Biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅) při 20°C s vyloučením nitrifikace</i>	mg/l	3	5	7
32.	<i>Amonné ionty</i>	mg/l	0,5	1	3
33.	<i>Celkový organický uhlík (TOC)</i>	mg/l	5	7	10
34.	<i>Huminové látky</i>	mg/l	2,5	5	8
35.	<i>Koliformní bakterie</i>	KTJ/100 ml	50	5000	50000
36.	<i>Termotolerantní koliformní bakterie</i>	KTJ/100 ml	20	2000	20000
37.	<i>Fekální streptokoky (Enterokoky)</i>	KTJ/100 ml	20	1000	10000
38.	<i>Mikroskopický obraz</i>	jedinci/ml	50	3000	10000
39.	<i>Pesticid jednotlivý</i>	µg/l	0,1	0,1	0,5
40.	<i>Hliník</i>	mg/l	0,2	1	2

Pro podzemní vodu platí ukazatele uvedené v Tab. 2.3 pro povrchovou vodu kromě dále uvedených ukazatelů, pro které platí následující limity.

Tab. 2.4 Ukazatele jakosti surové podzemní vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standartních metod úpravy surové vody na pitnou vodu [6]

Ukazatel	Jednotka	A1	A2	A3
<i>Železo</i>	mg/l	0,2	5	20
<i>Mangan</i>	mg/l	0,05	1	2
<i>Sulfan</i>	mg/l	platí limity pachu		

Základní zařazení nového zdroje surové vody do kategorie se provádí vyhodnocením ukazatelů jakosti surové vody uvedených v tabulkách č. 2.3 a 2.4, a to s četností minimálně 12 vzorků v průběhu dvou let.

Surová voda je považována za vyhovující příslušným ukazatelům v dané kategorii, pokud vzorky této vody odebírané v pravidelných intervalech a v tomtéž bodě vzorkování budou vyhovovat hodnotám ukazatelů pro odpovídající kvalitu vody, a to u 95% odebraných vzorků. Každý ukazatel je svými výsledky zařazen do vlastní kategorie. Výsledná kategorie je určena podle nejhorší kategorie jednotlivého ukazatele.

Tab. 2.5 Typy úprav pro jednotlivé kategorie surové vody [6]

Pro kategorii	Typy úprav
A1	Úprava surové vody s koncovou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plyných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.
A2	Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezňování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.
A3	Úprava surové vody vyžaduje dvou či více stupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezňováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí, popř. jejich kombinací. Mezi další vhodné procesy se řadí např. využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (např. sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.

<i>Vyšší koncentrace než jsou uvedeny pro kategorii A3</i>	Podle § 13 odst. 2 zákona č. 274/2001 Sb. lze vodu této jakosti výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody.
---	---

3 SPECIFICKÉ LÁTKY VE ZDROJÍCH PITNÉ VODY

3.1 KOVY

3.1.1 Olovo

Olovo se v přírodě vyskytuje především ve sloučeninách olověných rud, jako jsou galenit (PbS) a anglesit (PbSO_4). V přírodě se olovo hromadí například v dolech, především v důlních vodách. V minulosti byly významným antropogenním zdrojem olova výfukové plyny motorových vozidel obsahující rozkladné produkty tetraethylplumbu (tetraethylolova), které sloužilo jako antidetonační prostředek. Důsledkem bylo hromadění olova na vegetaci v okolí komunikací, znečišťování atmosférických vod a odtud i vod povrchových a podzemních. Dalším zdrojem znečištění byly ve velkém množství dříve používané olověné části vodovodního potrubí, především vodovodní přípojky. Tento problém je však na ústupu díky nahrazování olověného potrubí potrubím z oceli nebo plastu. V hutním průmyslu jsou znečišťovány odpadní vody ze zpracování rud, z barevné metalurgie, z výroby akumulátorů a ze sklářského průmyslu, kde jsou sloučeniny olova součástí glazur.

Olovo má vysoký akumulační koeficient, díky němuž se významně hromadí nejenom v plaveninách, sedimentech a kalcitech, ale i v biomase mikroorganismů a rostlin. Pro svou vysokou toxicitu je ve vodě velmi závadné. [4]

Olovo se po vniknutí do organismu ukládá hlavně v kostech a v určitém množství se nachází v krvi. Typickými příznaky otravy olovem jsou bledost obličeje a rtů, zácpa a nechut' k jídlu, kolika, anémie, bolesti hlavy, křeče, chronická nefritida, poškození mozku a poruchy centrálního mozkuvého systému. Léčení spočívá v tvorbě komplexu a maskování Pb silným chelatačním činidlem. I stopy olova v okolním prostředí a potravě mohou vést při trvalém přísunu do organismu k následným těžkým onemocněním, protože olovo se vylučuje jen obtížně. [7]

3.1.2 Rtuť

Hlavní rudou obsahující rtuť je cinabrit neboli rumělka (HgS). Kromě toho rtuť doprovází některé další sulfidické rudy, při jejichž pražení se dostává do atmosféry. Dalším významným zdrojem rtuti v povrchových vodách jsou atmosférické vody kontaminované spalováním fosilních paliv. Proto významným zdrojem rtuti v povrchových vodách je kontaminace z atmosférických vod. V průmyslových odpadních vodách je rtuť obsažena například v odpadu z elektrolýzy NaCl amalgámovým způsobem, z organických syntéz a z rudných úpraven. Rtuť je také součástí rtuťnatých pesticidů, především fungicidů. Vyskytuje se i v konzervačních prostředcích sloužících např. ke konzervaci řezných emulzí

nebo jako prostředek k moření osiva. Vysoká toxicita rtuti vede k postupnému zákazu používání některých rtuťnatých preparátů, takže počet zdrojů kontaminace se postupně snižuje, což se příznivě projevuje ve zlepšování jakosti složek životního prostředí.

Rtuť tvoří velmi stabilní komplexy s huminovými látkami. Tyto komplexy ovlivňují do značné míry mobilitu rtuti v prostředí, např. mezi přírodními vodami, půdou a sedimenty. Vzhledem k rychlé kumulaci a sorpci v biomase a sedimentech i k vazbě do komplexních sloučenin a rozkladu bývá koncentrace volných methylderivátů asi o řád nižší než koncentrace celkové rtuti ve vodě. Proto v povrchových a užitkových vodách není sledování organicky vázané rtuti nutné. [4]

Rtuť patří mezi prvky, jejichž vliv na zdravotní stav lidského organismu je jednoznačně negativní. Je, stejně jako podobně se chovající kadmium, kumulativním jedem. Z organismu se vylučuje jen velmi pozvolna a obtížně, jeho většina se přitom koncentruje především v ledvinách a v menší míře i v játrech a slezině. Bylo prokázáno, že rtuť může v ledvinách setrvat až desítky let. Právě ty jsou při chronické otravě rtutí nejvíce ohroženy. Do organismu se rtuť dostává především dvěma cestami – v potravě a dýcháním. Z potravin jsou rizikovým faktorem především vnitřnosti (játra, ledviny) nebo ryby, které byly kontaminovány rtutí při svém růstu. Rizikové mohou být i zemědělské plodiny pěstované na půdě zamořené rtuťnatými sloučeninami, ať již z průmyslových zdrojů nebo nevhodně použitými přípravky k hubení zemědělských škůdců. Sporná je také otázka dlouhodobého působení amalgámových zubních plomb, které někteří lékaři považují za zcela neškodné. [8]

3.1.3 Arsen

Arsen je všeobecně rozšířený prvek, který se v prostředí vyskytuje v organické i anorganické formě. V přírodě se vyskytuje zejména ve formě sulfidů (FeAsS , As_4S_4) a je častou součástí různých hornin a půd, jejichž zvětváváním se dostává do podzemních a povrchových vod. Vliv na koncentrace arsenu v těchto vodách má také atmosférická depozice. Má značnou schopnost hromadit se v říčních sedimentech. Adsorpce a zpětná uvolňování arsenu ze sedimentů do kapalné fáze může být v některých případech určujícím faktorem jeho koncentrace v této fázi. [13]

Antropogenním zdrojem arsenu je spalování fosilních paliv (především hnědé uhlí), hutní a rudný průmysl, koželužny, aplikace některých pesticidů a jiné. Značné množství arsenu je obsaženo ve výluzích z elektrárenských popílků (drenážní vody z odkališť) a v některých důlních vodách. Oxid arsenitý se také používá ve sklářském průmyslu (sklářské kaly). Jelikož arsen doprovází fosfor, je obsažen i v odpadních vodách z praní prádla, pokud se používají prací prostředky s obsahem polyfosforečnanů. [4]

Přestože je arsen znám jako jedovatý prvek, kovový arsen je netoxický. V organismu je však metabolizován na toxické látky, nejčastěji na oxid arsenitý. Akutní otravy se projevují

zvracením, průjmy, svalovými křečemi, ochrnutím a zástavou srdce. As_2O_3 , AsCl_3 , AsF_3 , jsou mnohem toxičtější než sloučeniny pětivazného arsenu, řadí se mezi významné látky mutagenní, teratogenní a karcinogenní. As_2S_3 , As_2S_2 , jsou prakticky netoxické, avšak rozpouštějí se v žaludku. V běžném okolním životním prostředí se všichni setkáváme s jistou nízkou hladinou expozice arsenem, která ale organismus nijak nepoškozuje a existují naopak studie, které tvrdí, že velmi nízké dávky arsenu v přijímané potravě jsou důležité a prospěšné. Bezesporu je však prokázáno, že trvalé vystavení organismu zvýšeným dávkám sloučenin arsenu vede k poškození zdraví.

V okolí metalurgických závodů na zpracování a výrobu barevných kovů bývá zaznamenána zvýšená koncentrace arsenu ve vzduchu. K tomuto jevu dochází i při masivním spalování uhlí s vysokým obsahem arsenu, např. v tepelných elektrárnách nebo výtopnách. Vdechování mikroskopických částec (aerosolů) s vysokým obsahem arsenu vede ke zvýšenému riziku vzniku plicní rakoviny, ale existují studie, které dávají do souvislosti zvýšené množství potrátů u žen, které žijí v blízkém okolí hutí.

Vysoký obsah arsenu v pitné vodě vede nejčastěji k dermatologickým problémům. Patrně nejznámější je v tomto ohledu Bangladéš, kde jsou desítky milionů lidí nuceny pít vodu ze studní se zvýšeným obsahem tohoto prvku.

Zdrojem zvýšeného příjmu arsenu z potravy jsou obvykle mořské ryby z lokalit, kdy dochází ke zvýšené koncentraci tohoto prvku ve vodě. Příčinou bývá obvykle lidská aktivita (vypouštění závadných odpadních vod do moře), ale může to být i podmořská vulkanická činnost. [14]

3.1.4 Kadmium

Vzhledem ke své chemické podobnosti doprovází kadmium v jeho rudách zinek. Při jejich zpracování se dostává kadmium jednak do odpadních vod, jednak do atmosféry. Výrazným antropogenním zdrojem kadmia jsou fosforečnanová hnojiva a aplikace čistírenských kalů v zemědělství. Dalším zdrojem jsou odpadní vody z galvanického pokovování a z výroby baterií Ni-Cd. Kadmium je součástí některých pigmentů a slouží jako stabilizátor některých termoplastů, např. PVC. Při spalování těchto plastů přechází kadmium do atmosféry, stejně tak při spalování fosilních paliv, nafty a topných olejů. Kadmium se následně dostává díky atmosférickým vodám z kontaminované atmosféry do podloží. [4]

Kadmium patří mezi několik málo prvků, jejichž vliv na zdravotní stav lidského organismu je jednoznačně negativní. Tento fakt se zdá být kuriózní, protože je chemicky velmi podobné zinku, jenž je naopak nezbytnou součástí potravy a má důležitou roli pro správný vývoj a zdravotní stav lidského organismu. Právě vzájemná chemická podobnost těchto prvků však působí problémy, protože kadmium může snadno vstupovat do různých enzymatických reakcí místo zinku a následné biochemické pochody neproběhnou nebo probíhají jiným způsobem. Příkladem je zablokování inzulínového cyklu, které může působit vážné zdravotní komplikace. Typická kumulace kadmia je v prostatě u mužů, kde

je běžně vysoký obsah zinku a toto kumulované kadmium zde může způsobovat velice rozšířenou rakovinu prostaty s následnými metastázami po celém těle.

Dalším rizikovým faktorem u kadmia je skutečnost, že se jedná o mimořádně kumulativní jed. Přijaté kadmium se z organismu vylučuje jen velmi pozvolna a obtížně, jeho většina se přitom koncentruje především v ledvinách a v menší míře i v játrech. Bylo prokázáno, že kadmium může v ledvinách setrvat až desítky let. Právě ty jsou při chronické otravě kadmii nejvíce ohroženy.

Hlavními zdravotními projevy dlouhodobé (chronické) otravy kadmii jsou kromě poškození ledvin a jater také osteoporóza – lidově řídnutí kostí a anémie neboli chudokrevnost, přičemž se zvyšuje i riziko srdečních a cévních onemocnění. Vyšší obsah kadmia totiž působí na metabolismus vápníku a způsobuje jeho zvýšené vylučování z organismu s následkem zeslabení kostní hmoty. Kadmium je také prokazatelně karcinogenní a jeho vysoký obsah v organismu zvyšuje riziko vzniku rakovinného bujení. Při jednorázové vysoké dávce kadmia se dostávají bolesti břicha, průjem a zvracení. Kadmium také ohrožuje funkčnost a kvalitu spermií.

Do organismu se kadmium dostává dvěma cestami – v potravě (1 – 5 %) a dýcháním (až 50%). Z potravin jsou rizikovým faktorem především vnitřnosti (játra, ledviny) nebo ryby, které byly kontaminovány kadmii při svém růstu. Rizikové mohou být i zemědělské plodiny, pěstované na kadmii kontaminované půdě.

Vzhledem k nízkému bodu varu kadmia se tento prvek poměrně snadno dostává do atmosféry. Je proto nezbytné, aby hutní provozy, které s kadmii pracují, velmi důsledně dbaly o dokonalé čištění plynných exhalací, které z nich odcházejí. Ohrožení totiž nejsou pouze přímo pracovníci v uvedených provozech, ale i obyvatelstvo v okolí, protože kadmium nesorbované na prachové částice a atmosférický aerosol může být větrem transportováno na značně velké vzdálenosti. [13]

3.1.5 Nikl

Nikl se vyskytuje v minerálech obvykle společně se sírou, arsenem a antimonem ve sloučeninách jako jsou nikelin (NiAs) a millerit (NiS). Antropogenním zdrojem niklu jsou především odpadní vody z povrchové úpravy kovů, kde je převážně komplexně vázán, a dále odpadní vody z barevné metalurgie. Dalším zdrojem mohou být poniklované části zařízení přicházející do styku s vodou, např. v rozvodných sítích. Nikl není pro člověka příliš toxický, patří však mezi potenciální karcinogeny. [4]

Při velkých anebo pravidelně zvýšených dávkách niklu se silně zvyšuje riziko vzniku rakoviny a nikl je dnes řazen i mezi teratogeny, tedy látky schopné negativním způsobem ovlivnit vývoj lidského plodu. Ohrožení takovými dávkami niklu však hrozí pouze pracovníkům metalurgických provozů, kteří se zabývají zpracováním tohoto kovu a nedodržují základní pravidla bezpečnosti práce. V běžném životě se však poměrně často setkáváme s kožní alergií na nikl. Projevuje se u 6 – 10 % obyvatelstva a doprovází ji

nejprve zarudnutí kůže a později až vznik kožních ekzémů při trvalém styku s předměty z niklu. Zvláště nebezpečné jsou v tomto ohledu náušnice, u některých jedinců k těmto jevům dochází dokonce při placení kovovými mincemi s příměsí niklu. [9]

3.2 SLOUČENINY SÍRY

Ve vodách se vyskytuje síra anorganicky a organicky vázaná. Anorganické sloučeniny síry jsou v různých oxidačních stupních, jako např. sulfan (H_2S), thiokyanatany (SCN), elementární síra (S), siřičitany (SO_3) a sírany (SO_4). Mezi organické sloučeniny síry přicházejí v úvahu některé bílkoviny, aminokyseliny, thioly a sulfosloučeniny. [4]

3.2.1 Sírany

Hlavními minerály jsou sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a anhydrit (CaSO_4). Sírany mohou také vznikat oxidací sulfidických rud jako je pyrit (FeS_2), což je příčinou vysoké koncentrace síranů v důlních vodách. Z antropogenních zdrojů je nutné jmenovat především odpadní vody z moření kovů, kde se k moření používá kyselina sírová. Dalším zdrojem jsou městské a průmyslové exhalace obsahující značné množství SO_2 a SO_3 , vznikající spalováním fosilních paliv a pronikající do atmosférických vod.

Sírany v koncentracích vyskytujících se běžně v povrchových a prostých podzemních vodách nemají příliš hygienický význam. Při vyšší koncentraci však ovlivňují chuť vody. Vysoké koncentrace síranů spolu s vyššími koncentracemi hořčíku a sodíku zapříčiňují, že voda funguje jako projímadlo, má tedy laxativní účinky. Podstatným problémem pro odpadní stoky a jejich životnost je působení síranů ve vodě, což způsobuje agresivitu vody vůči betonu. [4]

3.2.2 Sulfan

Sulfan a jeho další formy vznikají především biologickou redukcí síranů nebo se tvoří při anaerobním biologickém rozkladu organických látek. Z těchto důvodů bývá obsažen v bioplynu vznikajícím při anaerobním zpracování některých průmyslových nebo zemědělských odpadů. Sulfan je také obsažen ve vulkanických exhalacích a v termálních pramenech. Antropogenním zdrojem jsou některé průmyslové vody, např. z koželužen, z tepelného zpracování uhlí, z barviren, z výroby sulfátové celulózy, z petrochemického průmyslu a dalších. Tvorby málo rozpustných sulfidů se v technologii vody někdy využívá pro odstraňování kovů z odpadních vod, zejména rtuti. Tyto vody pak obsahují značné množství sulfidů, které je ale možno odstranit koagulací. [4]

Sulfan je prudce jedovatý, i v menších dávkách může způsobit smrtelné otravy (včetně okamžité smrti bez morfologických změn). Jeho účinky jsou podobné jako u kyanovodíku,

přičemž obě látky brání tkáním využívat kyslík. To se projevuje především v centrální nervové soustavě paralýzou dýchacího centra. Sulfan má dráždivý i dusivý účinek, který může vést až k edému plic. [10]

3.3 SLOUČENINY DUSÍKU A FOSFORU

3.3.1 Dusík

Sloučeniny dusíku mohou být buď anorganického, nebo organického původu. Sloučeniny dusíku v biosféře jsou převážně biogenního původu, vznikají rozkladem organických dusíkatých látek rostlinného a živočišného původu. Splaškové odpadní vody jsou jedním z významných zdrojů anorganických a organických sloučenin dusíku. Dalším významným zdrojem dusíku jsou odpady ze zemědělství v podobě amoniakálního dusíku. Dále jsou to splachy ze zemědělsky obdělávané půdy hnojené dusíkatými hnojivy a některé průmyslové odpadní vody z potravinářského průmyslu. Podle klimatických podmínek a složení půdy také dochází k vyplavování dusičnanů z horniny a jejich vnikání do zdrojů pitné vody.

Při bilanci dusíku v podzemních a povrchových vodách je nutné brát v úvahu i obsah dusíku v atmosférických vodách. Zde dochází k působení oxidů dusíků N_2O , NO , NO_2 a NH_3 , které jsou buď antropogenního, nebo přírodního původu. Dominantním zdrojem amoniakálního dusíku v ovzduší je biologická produkce, rozklad organické hmoty v půdě. V některých případech může mít při dusíkových bilancích význam i fixace atmosférického elementárního dusíku některými organismy.

Amoniakální dusík (NH_4 , NH_3) se v přírodě ve formě jednoduché amonné soli nevyskytuje a není proto ve vodách přírodního původu. Amoniakální dusík je produktem rozkladu většiny organických dusíkatých látek živočišného a rostlinného původu. Proto antropogenním zdrojem amoniakálního dusíku organického původu jsou především splaškové odpadní vody, odpady ze zemědělských výroby a kalová voda za anaerobní stabilizace čistírenských kalů. Nezanedbatelným zdrojem amoniakálního dusíku ve vodách mohou být i emise amoniaku v okolí závodů živočišné výroby. Antropogenním zdrojem amoniakálního dusíku anorganického původu jsou především dusíkatá hnojiva, která se infiltrací a splachem ze zemědělsky obdělávaných ploch dostávají do podzemních a povrchových vod. Do atmosférických vod se amoniakální dusík dostává z průmyslových exhalací. Amoniakální dusík působí velmi toxicky na ryby, toxicita však závisí do značné míry na hodnotě pH. Jelikož je amoniakální dusík jedním z primárních produktů rozkladu organických dusíkatých látek, je důležitým chemickým indikátorem znečištění podzemních vod živočišnými odpady. Amoniakální a celkový dusík je také ukazatelem přípustného znečištění vypouštěných splaškových a městských odpadních vod do vod povrchových.

Dusitany se v podobě minerálu nevyskytují, ale pokud jsou přítomny ve vodách, vznikají zejména biochemickou oxidací amoniakálního dusíku (nitrifikací) nebo biochemickou redukcí dusičnanů. Zvýšená koncentrace dusitanů se vyskytuje např. při intenzivních

chovech ryb, zejména v recirkulačních systémech. Dusitany v atmosférických vodách jsou anorganického původu. Některé odpadní vody jsou na dusitany velmi bohaté, jako např. odpadní vody z výroby barviv nebo ze strojírenských závodů. Dusitany jsou také součástí některých inhibitorů koroze a nemrznoucích kapalin. V koncentracích vyskytujících se v podzemních a povrchových vodách jsou dusitany samy o sobě hygienicky nevýznamné. Dusitany působící toxicky na ryby mohou být příčinou masového úhynu ryb. Vyšší koncentrace dusitanů se mohou projevovat při dezinfekci vody pomocí UV-záření.

Dusičnany jsou v minerálech obsaženy jen velmi zřídka. Znám je v mimoevropských lokalitách např. chilský ledek. Dusičnany vznikají především sekundárně při nitrifikaci amoniakálního dusíku a jsou konečným stupněm rozkladu dusíkatých organických látek v oxickém prostředí. Jejich koncentrace stoupá především v důsledku vzrůstajícího počtu obyvatel a zemědělské činnosti. Dalším zdrojem je hnojení zemědělsky obdělávané půdy dusíkatými hnojivy. Anorganického původu jsou dusičnany v atmosférických vodách (spalování paliv), které jsou příčinou zvyšujících se koncentrací dusičnanů v povrchových vodách. Vysoká koncentrace dusičnanů nebo i dusitanů bývá charakteristická pro podzemní vody v oblastech borových lesů, kde písčité, dobře provzdušněné půda obsahuje v horních vrstvách bakterie schopné fixovat elementární dusík i nitrifikační bakterie. Následně pak dochází k vymývání do podzemních vod.

Kyanidy vyskytující se ve vodách jsou převážně antropogenního původu. Jsou obsaženy v různých průmyslových odpadních vodách, především z povrchové a tepelné úpravy kovů, tepelného zpracování uhlí a výroby karbidu vápenatého. Také některé tuhé odpady ze strojírenských provozů obsahují kyanidy, stejně jako některé odpadní vody z organických syntéz. Zdrojem komplexních kyanidů mohou být posypové soli nebo odpadní vody z fotografického průmyslu. Kyanidy fungují jako jedy, které brání přenosu kyslíku z krve do tkání. [4]

3.3.2 Fosfor

Přírodním zdrojem fosforu ve vodách je rozpouštění a vyluhování některých půd, minerálů a zvětralých hornin. Minerálem s největším obsahem fosforu je apatit ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F},\text{Cl})_2$), dále pak variscit, strengit a další. Antropogenním zdrojem anorganického fosforu mohou být některé prací a čisticí prostředky, včetně protikorozních a protiinkrustačních přípravků. Velkým zdrojem fosforu jsou zemědělská fosforečná hnojiva, která se splachem z polí dostávají do zdrojů pitné vody. Významným bodovým zdrojem mohou být velkochovy hospodářských zvířat. Zdrojem fosforu organického původu je rozkládající se biomasa fytoplanktonu a zooplanktonu usazující se na dně jezer, nádrží a toků. Sloučeniny fosforu se však do povrchových vod dostávají také díky fosforu obsaženému v atmosférických vodách.

Sloučeniny fosforu, především fosforečnany, mají významnou roli v přírodním koloběhu látek. Jsou nezbytné pro nižší i vyšší organismy, které je přeměňují na organicky vázaný

fosfor. Po uhynutí a rozkladu organismů se fosforečnany opět uvolňují do okolního prostředí. Zvláště významně se fosforečnany uplatňují při růstu zelených organismů ve vodě, hlavně řas a sinic. Lze tedy říci, že fosfor má klíčový význam pro eutrofizaci povrchových vod.

Hygienický význam fosforečnanů ve vodách je malý. Jsou zdravotně nezávadné a v požadavcích na jakost pitné vody a balených vod nejsou uvedeny. Fosforečnany se někdy používají při dopravě vody ocelovým a litinovým potrubím jako příměs proti korozivním účinkům vody. Používané dávky fosforu sice nelze považovat za rizikové z hlediska toxikologického, přesto lze jejich přidávání do pitné vody považovat za nežádoucí. Tento způsob užívání lze doporučit jen ve zdůvodněných případech s časově omezeným dávkováním.

V podzemních vodách mají fosforečnany indikační význam. Pokud jejich koncentrace v těchto vodách vzroste, svědčí to o možnosti fekálního znečištění podzemních zdrojů vody. [4]

3.4 ROPNÉ LÁTKY A UHLOVODÍKY

Hlavním zdrojem uhlovodíků jsou produkty získávané z ropy, např. benzín, petrolej, motorová nafta, topné a mazací oleje, mazut a asfalt označované jako ropné látky. Jsou tvořeny především ropnými uhlovodíky, jako jsou areny, monocyklické a polycyklické aromatické uhlovodíky a další. Spousta těchto látek se používá ve formě rozpouštědel a jejich obsah ve vodě je dobře znatelný. Z hlediska karcinogenity je z nich nejzávadnější benzen. Dalším zdrojem uhlovodíků jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU, resp. PAH), které vznikají při nedokonalém spalování organické hmoty, jako je spalování pevných a kapalných paliv, provoz motorových vozidel. V průmyslu dochází k uvolňování při karbonizaci uhlí, krakování ropy aj. Nemalou míru na znečištění vody uhlovodíky mají také lesní požáry, splachy z asfaltových povrchů vozovek, impregnace dřeva, dehtové nátěry a další. Tyto látky se následně atmosférickými srážkami dostávají do podzemních a povrchových vod. Voda a půda jsou přímo kontaminovány z průmyslových odpadních vod, především při haváriích a v důsledku technických závad a chyb obsluhy při dopravě, manipulaci a skladování ropy a ropných produktů. [4]

Ropné uhlovodíky jsou málo rozpustné ve vodě a většinou jsou lehčí než voda. V menším množství se tvoří na hladině olejový film, který brání a zpomaluje přístup kyslíku do vody a ovlivňuje tak biochemický rozklad ve vodách probíhající. [3]

Uhlovodíky ve vodách zhoršují jejich organoleptické vlastnosti a mohou působit toxicky na vodní organismy. Přítomnost uhlovodíku je odhalitelná především díky pachové stopě, jejíž koncentrace je nižší než prahová koncentrace chuti.

Polycyklické uhlovodíky se 4 až 6 kondenzovanými kruhy vykazují karcinogenní vlastnosti, především benzopyren, benzofluorantheny a další. Jsou největší skupinou karcinogenů vznikající během spalování a pyrolýzy organické hmoty. [4]

3.5 PESTICIDY

Pesticidy jsou biocidní látky používané na ochranu rostlin v zemědělství a lesnictví proti plevelům, houbám a živočišným škůdcům. Pesticidy našly uplatnění i ve vodním hospodářství, kde slouží např. k likvidaci některých vodních rostlin, k redukci zooplanktonu v případě ohrožení ryb kyslíkovým deficitem, k likvidaci dravých buchanek před vysazením váčkového plůdku kapra a k antiparazitnímu ošetření kaprových ryb.

Jde o velmi početnou skupinu látek, které se dělí podle biologické účinnosti a podle chemického typu účinné látky. Podle biologické účinnosti se dělí na několik skupin, z nichž nejdůležitější jsou insekticidy (k hubení hmyzu), herbicidy (proti plevelům) a fungicidy (proti škodlivým parazitickým houbám) a další. Podle působení na ošetřovaný organismus lze pesticidy rozdělit na kontaktně působící, které zůstávají na povrchu, a na systémově působící, které pronikají do organismu živočichů nebo rostlin, včetně kořenového systému. Největší skupinu organických pesticidů zahrnují pesticidy organochlorové a organofosforové.

Pesticidy se používají ve formě postřiků, poprašků nebo aerosolů. Nejvýznamnější je splach pesticidů z polí a plodin a transport větrem při leteckém postřiku. Dalším zdrojem jsou průmyslové odpadní vody z jejich výroby, vody z mytí a vyplachování použitého strojního rozstřikovacího zařízení a přímá aplikace ve vodním hospodářství při chovu ryb.

Pesticidy jsou ve vodách buď rozpuštěné, nebo nerozpuštěné. Ze značné části mohou být sorbovány na nerozpuštěných látkách minerální i organické povahy. Proto jejich stanovení jenom v kapalně fázi není pro odpovědné hodnocení celkového znečištění vodního útvaru postačující a je nezbytná i analýza sedimentů, kalů a půdy. Vzhledem ke své nebezpečnosti vyžadují pesticidy cílené sledování, i když jejich stanovení ve vodách je náročné. Do podzemních vod pronikají pesticidy jen výjimečně, protože se sorbují v půdě. Proto se pesticidy vyskytují především v povrchových vodách.

Z ekotoxikologického hlediska mohou pesticidy ve vyšších koncentracích porušit biologickou rovnováhu v tocích tím, že toxicky působí na některé složky vodní biocenózy, zejména pak ryby a zooplankton. Mimo to mohou nepříznivě ovlivňovat samočistící schopnost vody, její pach a chuť. V případě proniknutí do pitné vody mohou být pro člověka škodlivé, jelikož některé z nich jsou značně toxické, popřípadě karcinogenní. [4]

3.6 TENZIDY A DETERGENTY

Tenzidy jsou hlavní součástí pracích, čistících, mycích, emulgačních, dispergačních a pěnicích prostředků, které kromě tenzidů obsahují dále přísady zlepšující jejich účinky. Z chemického hlediska se tenzidy dělí na aniontové, kationtové, neiontové a amfolytické. Tyto látky jsou ve vodách buď přírodního, nebo antropogenního charakteru. Mezi zdroje tenzidů se řadí především čistící prostředky používané v domácnostech a velkoprádelnách a odpadní vody z průmyslové výroby, jako je výroba papíru, textilnictví, strojírenství a potravinářství. Významným zdrojem znečištění podzemních vod mohou být tenzidy používané při dekontaminaci horninového prostředí znečištěného nepolárními látkami, např. ropnými látkami.

V dnešní době se však ukazuje, že po přechodu na výrobu většinou biologicky rozložitelných tenzidů nejsou povrchově aktivní látky významným kontaminantem přírodních, užitkových, a dokonce ani městských odpadních vod. Vyšší koncentrace lze prokázat pouze pod zdrojem znečištění, kde by mohl být příčinou pění v recipientu. [4]

V dřívějších letech však problém tenzidů ve vodním hospodářství byl natolik velký, že např. v ČR v roce 1995 uzavřelo Ministerstvo životního prostředí dohodu se sdružením výrobců těchto látek omezující koncentrace některých látek, jako např. fosforu, polykarboxylátů a dalších. Dnes tuto problematiku řeší zákon č. 350/2011 Sb. O chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon). [11]

Co se týká požadavků na jakost pitné vody, tenzidy nejsou uvedeny jako ukazatel jakosti. To platí i pro vodu balenou a kojeneckou. [4]

4 ZPŮSOBY ODSTRANĚNÍ LÁTEK Z VODY

Existuje vícero technologických postupů na odstraňování těžkých kovů při úpravě vody. Jsou to srážení (čiření), iontová výměna, membránové, adsorpční, elektrochemické procesy a v neposlední řadě se začínají prosazovat i biologické metody.

Současný stav odstraňování těžkých kovů je orientovaný na aplikaci přírodních materiálů, jako jsou odpady z průmyslu a zemědělství, které mohou představovat výhodné cenové sorbenty. Mezi nejvíce testované sorbenty těžkých kovů patří zeolity, karbonáty, jíly, rašelina, oxidy a hydroxidy železa (přírodní nebo uměle připravené), hydroxidem železa obalovaný písek, aktivní uhlí a další. [15]

V současné době představuje adsorpce pomocí oxidů a hydroxidů železa efektivní a cenově nejvýhodnější možnost pro odstranění těžkých kovů z vody.

4.1 KOAGULACE

Koagulace spočívá v odstranění vysrážených znečišťujících látek, které se vysrážely po přidání chemických činidel, koagulantů. Přidáním koagulantu do upravované vody začne docházet ke vzniku shluků. Při tomto procesu je zajištěno promíchávání (rychlé a následně pomalé míchání). Jako koagulanty se nejčastěji používají soli železa a hliníku, např. síran železitý, chlorid železitý, síran železnatý, síran hlinitý, kamenec (síran draselný-hlinitý) a další. Vysrážené látky se následně odstraní na tlakových filtrech. Tato metoda odstraňování těžkých kovů je však cenově náročná. [1][19]

4.2 ODSTRANĚNÍ NA ŽELEZITÉM PÍSKU

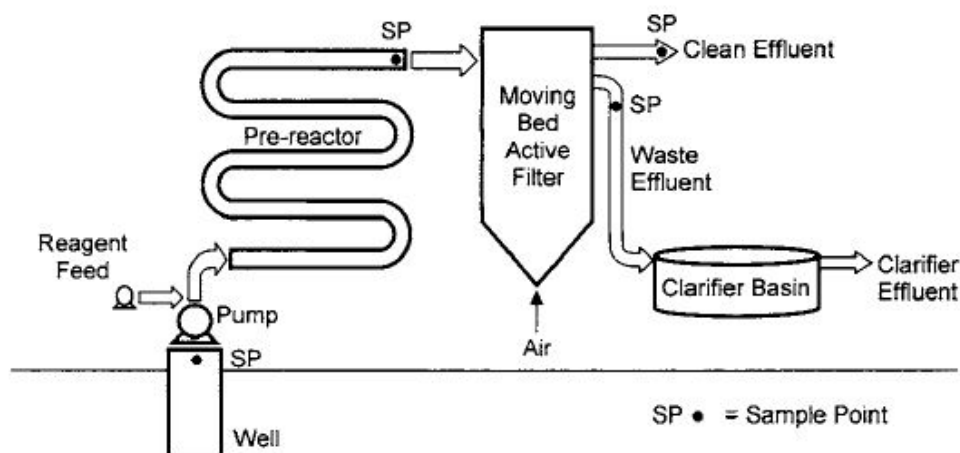
Sorpční filtrace za použití křemenného písku obaleného v oxidu železa je poměrně novým způsobem úpravy vody kontaminované znečišťujícími látkami na vodu pitnou. Železitý písek je laboratorně vyrobený suchý granulovaný materiál určený k odstraňování především těžkých kovů. Výroba spočívá ve smíchání $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ a vody, kdy následně dojde k rozpuštění prvků dusíku. Roztok je nalit na křemenný písek a dále se míchá za teploty okolo 100 °C. V poslední fázi výroby se prolije vodou kvůli snížení teploty na pokojovou teplotu, nechá se vysušit na slunci a je připraven k distribuci. K čištění se využívají 2 druhy písku. Prvním pískem je oxidem uhličitým potažený písek (IOCS) a druhým potom železem impregnovaný písek (IIS). Vhodným použitím těchto filtračních medií jsou domácí úpravny vody. Tento druh filtrace je vhodný pro mnoho druhů těžkých kovů, především pak arsenu, na kterém byla odzkoušena jeho účinnost. [20]

Tab. 4.1 Vlastnosti železitých písků [20]

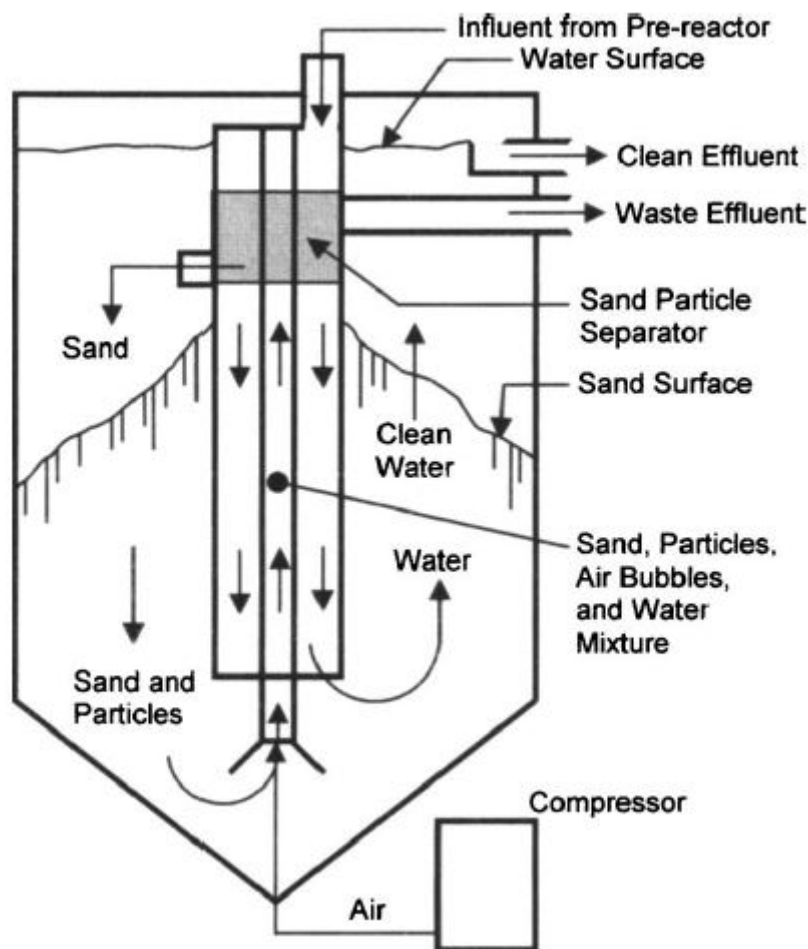
Charakteristiky	Jednotky	IOCS	IIS
Velikost	[mm]	0,498	0,498
Průměr zrna	[mm]	0,5	0,5
BET plocha povrchu	[m ² /g]	3,210	4,268
Celkové železo	[mg Fe/g písku]	4,6	15,2
Odolnost vůči kyselinám (pH=1)	[%]	40,3	40,1
Odolnost vůči zásadám (pH=12,67)	[%]	0,25	0,015
Zdánlivá hustota	[mm]	1,49	1,48

4.3 POHYBLIVÉ FILTRAČNÍ LOŽE

Funkce pohyblivého filtračního lože spočívá v čerpání vody ze zdroje do točitého předreaktoru tloušťky 5 cm, kde dochází ke smíchání vody s FeCl_3 . Následně voda putuje do filtru, kde dochází k jejímu pročištění. Plocha filtru se pohybuje okolo 0,3 m², přičemž jeho náplní je 700 kg křemičitého písku o průměru zrn 1,15 – 1,25 mm. Zrna písku se vlivem gravitace snášejí na dno filtru, odkud jsou vzduchem vytlačována nahoru, aby se zase následně vracela dolů. Během propadávání zrn ke dnu proudí voda filtru opačným směrem (Obr. 4.1). V horní části filtru je umístěn separátor částic, který odděluje zrna křemičitého písku, na kterých došlo k adsorpci nebo reakci znečišťujících látek. Vzhledem ke kontinuální separaci nepotřebuje filtr nijak zvláštní prací cyklus. Poměr vyčištěné vody k vodě odpadní je 10:1. Odpadní voda dále putuje do 380 l nádrže, kde je s ní následně nakládáno dle požadavků úpravce. Pro dosažení nejlepších výsledků snížení koncentrace odstraňovaných látek se doporučuje kombinovat pohyblivé filtrační lože s filtry pracujícími na principu adsorpce pomocí IOCS. [21]



Obr. 4.1 Schéma zapojení pohyblivého filtračního lože [21]



Obr. 4.2 Schéma průběhu filtrace přes pohyblivé filtrační lože [21]

4.4 GRANULOVANÉ SORPČNÍ MATERIÁLY

4.4.1 CFH

Jedná se o velmi účinný materiál na odstraňování arsenu, selenu, fosforu, stříbra, niklu, olova, molybdenu, křemíku, vanadu, mědi a dalších kovů adsorpcí z vody. Výhodou materiálu je jeho snadné použití a jednoduchá předúprava vody. Výrobce na trh uvádí dva materiály – CFH 12 a CFH 0818, které se liší především zrnitostí. Oba materiály jsou nápadně podobným zbarvením do hnědé až červenohnědé barvy, přičemž se jedná o granulát. Filtrační rychlost udávaná výrobcem je $0,033 \text{ l/min/cm}^2$ při tlaku vody $0,01 \text{ bar}$. Rychlost praní je pak $0,065 \text{ l/min/cm}^2$, přičemž četnost praní udává výrobce dle velikosti filtru a kvality vody. Před použitím je nutné sorpční látku nechat 48 hodin smáčet před vlastním praním. Je doporučeno použití dvou filtračních jednotek za sebou. Výrobce je finská společnost Kemira.[17]

Tab. 4.2 Zrnitost filtračních materiálů Kemira [17]

CFH 12		CFH 0818	
Rozptyl [mm]	Zastoupení [%]	Rozptyl [mm]	Zastoupení [%]
2 - 0,85	92,7	2 - 0,5	97,6
< 0,85	5,9	< 0,5	2,4
> 2	1,4	> 2	0

Tab. 4.3 Vlastnosti filtračního materiálu Kemira [17]

Charakteristiky	Jednotka	Min.	Max.	Typická
Fe ³⁺	[%]	39	48	44
Vlhkost	[%]	13	19	16
Objemová hmotnost	[kg/l]			1,2



Obr. 4.3 Kemira CFH12 (vlevo) a CFH 0818 (vpravo) [18]

4.4.2 Bayoxide

Bayoxide je suchý krystalický granulovaný sorbent na bázi oxidu železa. Byl vyvinut společností Severn Trent ve spolupráci se společností Bayer AG a vyráběn je firmou LANXESS Deutschland GmbH, Leverkusen v Německu. Vyrábí se ve dvou variantách, a to Bayoxide E33 a Bayoxide E33P. Rozdíl je v tom, že Bayoxide E33 je granulovaný, kdežto Bayoxide E33P se vyrábí v tabletách. Materiál byl navržen pro odstraňování arsenu a jeho výhodou je odstraňování As^{III} a As^V spolu s odstraněním železa a manganu. [18]



Obr. 4.4 Granulovaný sorbent Bayoxide E33 [18]

4.4.3 GEH

Adsorpční materiál GEH byl vyvinut na Berlínské univerzitě na katedře Kontroly kvality vody za účelem odstraňování arsenu a antimonu z vody. Vyrábí ho německá firma GEH-Wasserchemie GmbH. Technologie úpravy je tvořena z adsorpce kontaminantu na granulovaný hydroxid železitý (GEH sorbent) uložený v reaktoru, kterým protéká upravovaná voda. Adsorpční kapacita materiálu je závislá na provozních podmínkách. Do ČR je dovážen společností Inform-Consult Aqua s.r.o, Příbram. [18]



Obr. 4.5 Adsorpční materiál GEH [18]

4.5 NANOSORBENTY NA BÁZI MnO_2

Nový trend v užití sorbentů pro odstraňování nejen arsenu z vod směřuje k materiálům s vysokou adsorpční kapacitou, mezi které se řadí nanomateriály. Velikost částic těchto materiálů se pohybuje okolo 100 nm, čímž se významně mění vlastnosti povrchu, zejména vzrůstá povrchová energie. Změna charakteristiky nanosorbentů se promítá např. do zvýšení iontové kapacity, molekulární adsorpce, elektrochemických a magnetických vlastností povrchu materiálu.

Nanosorbenty jsou netoxické povahy, s velkou afinitou k polutantům, v podstatě jsou konkurenčním materiálem k ionexům a aktivnímu uhlí. Tyto vlastnosti je řadí k perspektivním materiálům využitelným v technologii vody.

Pro adsorpci As existují dvě modifikace nanočástic MnO_2 . Prvním je modifikace $\alpha\text{-MnO}_2$, což jsou tyčinky o délce cca 50 – 80 nm a šířce cca 5 nm. Druhou je modifikace $\delta\text{-MnO}_2$, což je nanočástice, neboli birnesite kulového tvaru o velikosti přibližně 50 – 100 nm.

Obě modifikace vykazují vysokou adsorpční kapacitu pro As, resp. jsou vhodným sorbentem pro odstraňování arseničnanů z vodných roztoků. Strukturální charakteristika nanosorbentů a výsledky jednorázových pokusů ukazují, že As je k povrchu adsorbentu poután elektrostatickými silami. [16]

5 EXPERIMENTÁLNÍ ODSTRANĚNÍ LÁTEK Z VODY

V laboratorní části práce byl jednou ze specifických látek k odstranění zvolen polokov arsen (As) a dále kov kadmium (Cd). Měření probíhalo na Fakultě stavební VUT v Brně v laboratoři Ústavu vodního hospodářství obcí.

5.1 CÍL EXPERIMENTU

Cílem experimentu bylo porovnat tři druhy filtračního materiálu k odstranění specifických látek, přičemž všechny sorpční materiály (GEH, Bayoxide E33 a CFH 0818) byly na bázi hydroxidu železa. Cílem bylo zjistit jejich adsorpční vlastnosti při různých průtocích vody a různé době zdržení vody ve filtrační koloně. Hlavním účelem bylo zjištění kvality odstranění arsenu a kadmia z vody bez použití dalších pomocných činidel a roztoků.

5.2 POSTUP MĚŘENÍ

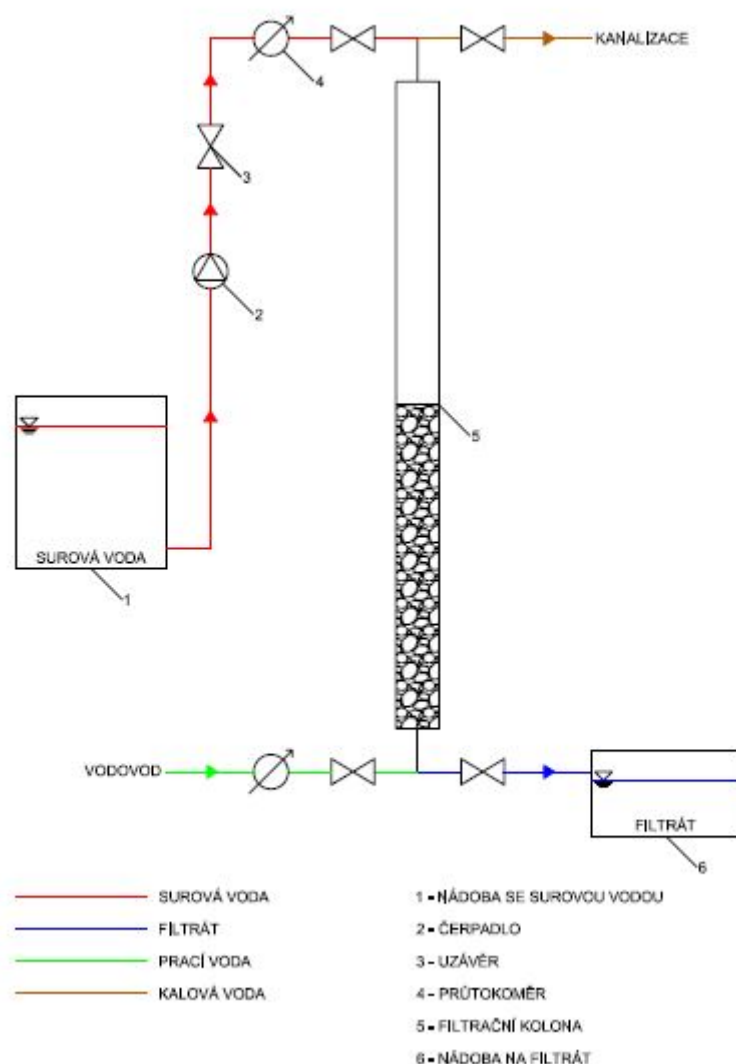
Pro laboratorní měření byly dodány tři adsorpční materiály – Kemira CFH 0818 (dále jen CFH), Bayoxide E33 a GEH. Jejich vlastnosti jsou uvedeny v kapitole 4.4.1 – 4.4.3. Všechny tři materiály již byly v laboratoři připraveny k použití ve filtračních kolonách. Filtrační kolonu tvořila skleněná trubice o vnitřním průměru 4,4 cm.

Ve spodní části skleněné trubice bylo osazeno plastové koleno s regulačním ventilem. Aby se při filtraci zabránilo unikání jemných částic filtračního materiálu, byla ve spodní části trubice vytvořená drenážní vrstva ze skleněných kuliček velikosti 4 mm a na ni vrstva kuliček průměru 2 mm. Nad drenážní vrstvou se už nacházela samotná filtrační náplň rozdílné mocnosti. Zbylou část trubice vyplňovala voda, přičemž její horní část utěšňoval plastový uzávěr s regulačním ventilem. Jednotlivé kolony pak byly vruty připevněny do zdi vedle sebe.

Kompletní filtrační zařízení se skládalo z 30l nádoby se surovou vodou, čerpací jednotky, průtokoměru (rotametr s ventilem), filtrační kolony a nádoby na filtrát. Sestava kolony s napojením průtokoměru, filtrátu a pracího potrubí je uvedena ve schématu obr. 5.2.

Během měření se surová voda čerpala z nádrže přes průtokoměr do filtrační kolony. Množství vody se regulovalo na průtokoměru tak, aby bylo dosaženo požadovaných dob zdržení vody v koloně. Z filtrační kolony voda odtékala do odměrné nádoby, v níž se následně provádělo stanovení teploty, pH a zákalu.

Jako surová voda byla při měření použita pitná voda z městské vodovodní sítě. Zvýšené koncentrace arsenu a kadmia tak bylo dosaženo uměle přidáním chemického roztoku do surové vody.



Obr. 5.1 Schéma zapojení filtrační aparatury

5.2.1 Příprava filtračních kolon

Přestože byly všechny tři kolony již nainstalované a připravené k měření, bylo nutné filtry vyprat prací vodou. Při praní voda proudí filtrem opačným směrem než při filtraci, tedy zespodu nahoru. Tím dochází k vyplavování nečistot usazených na povrchu filtračního materiálu. K tomuto účelu byla použita voda z vodovodní sítě, která byla po průchodu kolonou opačným směrem vypouštěna do kanalizace. Při praní byla rychlost proudění zvolena optimálně tak, aby se filtrační materiál dostal do vzhledu, ale aby nedocházelo k jeho vyplavování do kanalizace a tím ke ztrátě materiálu. Ideální rychlost praní se pohybovala okolo 20 l/h. Praní probíhalo tak dlouho, dokud z filtru nevytékala čirá voda.

5.2.2 Stanovení experimentálních parametrů

Před zahájením samotného experimentu bylo třeba stanovit potřebné parametry k docílení rozdílné doby zdržení vody ve filtrech. Tomu je potřebné stanovit množství vody k filtraci, průtočné množství v koloně při filtraci, dobu zdržení vody ve filtru a filtrační rychlost v koloně.

Výchozí hodnoty společné pro všechny filtry:

Vnitřní průměr kolony: 4,4 cm

Plocha kolony: 15,20 cm²

1) Výpočet objemu vody v koloně

$$V_v = V_p = V_c \cdot n \text{ [m}^3\text{]}$$

Kde: V_v objem vody [m³]

V_p objem pórů [m³]

V_c objem celkem [m³]

n pórovitost [%]

Tab. 5.1 Parametry kolony

Materiál		CFH 0818	Bayoxide E33	GEH
Pórovitost	n [%]	76	85	75
Délka kolony	h [m]	0,58	0,70	0,55
Celkový objem	V_c [m ³]	0,00088	0,00106	0,00084
Objem vody	V_v [m ³]	0,00067	0,00090	0,00063

2) Výpočet průtoku pro dobu zdržení

$$Q = V / t \text{ [m}^3\text{/min]}$$

Kde: Q průtok filtrátu [m³/min]

V objem vody [m³]

t doba zdržení [min]

Doby zdržení byly zvoleny 2,5 minuty, 5 minut, 10 minut a 20 minut, aby byla posouzena efektivnost sorpce filtračních materiálů při různé průtočné rychlosti.

Tab. 5.2 Průtoky dle doby zdržení

Materiál	CFH 0818		Bayoxide E33		GEH	
	Q [m ³ /min]	Q [l/h]	Q [m ³ /min]	Q [l/h]	Q [m ³ /min]	Q [l/h]
2,5	0,000268	16,09	0,00036	21,6	0,000252	15,12
5	0,000134	8,04	0,00018	10,8	0,000126	7,56
10	0,000067	4,02	0,00009	5,4	0,000063	3,78
20	0,0000335	2,01	0,000045	2,7	0,0000315	1,89

3) Výpočet průtočné rychlosti a množství vody

$$v = Q / P \text{ [cm/min]}$$

$$V = v \cdot P \cdot t \text{ [l]}$$

Kde: v průtočná rychlost [cm/min]

P plocha filtru [cm²]

Q průtok vody [m³/min]

t čas [min]

V objem vody [l]

Tab. 5.3 Průtočné rychlosti v kolonách

Materiál	CFH 0818		Bayoxide E33		GEH	
	Průtok Q [l/h]	Průtočná rychlost v [m/h]	Průtok Q [l/h]	Průtočná rychlost v [m/h]	Průtok Q [l/h]	Průtočná rychlost v [m/h]
Čas t [min]						
2,5	16,09	4,23	21,6	5,68	15,12	6,63
5	8,04	1,05	10,8	2,36	7,56	1,65
10	4,02	0,26	5,4	0,35	3,78	0,41
20	2,01	0,06	2,7	0,08	1,89	0,10

5.2.3 Filtrace

Jak již bylo uvedeno, pro filtraci byla použita pitná voda z brněnského městského vodovodu, do níž se přidaly koncentráty arsenu a kadmia. Koncentrát arsenu obsahoval roztok o koncentraci 1000 mg/l. Koncentrát kadmia měl koncentraci 100 mg/l. Do 30 l nádoby se surovou vodou se tak přidalo 1,5 ml roztoku arsenu a 3 ml roztoku kadmia. Tímto bylo zajištěno, že množství arsenu a kadmia v surové vodě bude překračovat limitní koncentrace platné pro pitnou vodu.

Před filtrací byla z kolony vypuštěna voda, která tam zůstala po praní filtrů, aby přes filtrační materiál proudila pouze surová voda a nedošlo tak k ovlivnění výsledků.

Při filtraci se surová voda čerpala do jednotlivých kolon a přes průtokoměr byl regulován průtok za účelem požadované doby zdržení. Rychlost klesala, přičemž se zvyšovala doba zdržení vody ve filtru. Z každé kolony byly odebrány čtyři vzorky ve stanovených časech. Dohromady tak bylo odebráno celkem 12 vzorků upravené vody a jeden vzorek na rozbor vody surové. V každém vzorku bylo stanoveno pH, teplota a zákal. Rozbor vzorku na arsen a kadmium byl odeslán do Státního zdravotního ústavu.

5.2.4 Podmínky filtrace

Během filtrace byly zohledněny podmínky výrobců adsorpčních materiálů na maximální průtok a pH. Nebyla dodržena pouze minimální výška filtrační náplně stanovená výrobcem, která činí 0,8 – 1 m. Vzhledem k tomu, že výrobcem uváděná výška náleží reálnému filtru, výška filtrační náplně při pokusu je dostačující. U filtračního materiálu CFH 0818 byla překročena doporučená hodnota pH udávaná výrobcem, což se však neprojevovalo na schopnosti odstranit arsen a kadmium ze surové vody.

Tab. 5.4 Podmínky filtrace

Materiál	CFH 0818		Bayoxide E33		GEH	
	Měření	Výrobce	Měření	Výrobce	Měření	Výrobce
Výška filtrační náplně [m]	0,58	0,8 – 1,6	0,7	**	0,55	0,8 – 1,6
Max. filtrační rychlost [m/h]	4,23	20	5,68	**	6,63	19,8
Rozmezí pH [-]	7,76 – 7,88	6,5 – 7,5	6,07 – 7,76	6,0 – 8,0	7,61 – 7,65	5,5 – 9,0

** Neuvedeno v dodacím (bezpečnostním) listu „safety data sheet“

5.3 VÝSLEDKY ROZBORU

Pro měření pH byl použit digitální pH metr, který současně dokáže změřit i teplotu měřené kapaliny. Zákal byl měřen na přenosném turbidimetru, který byl pro přesnost po každém měření nulován destilovanou vodou.

Tab. 5.5 Rozbor surové vody

Surová voda					
t [min]	pH	Teplota [°C]	Zákal [ZF]	c As [mg/l]	c Cd [mg/l]
0	7,56	14,8	1,35	88,1	12,6

Tab. 5.6 Rozbor vody po filtraci přes CFH 0818

CFH 0818					
t [min]	pH	Teplota [°C]	Zákal [ZF]	c As [µg/l]	c Cd [µg/l]
2,5	7,76	19,1	3,82	<1,0	<0,2
5	7,79	17,0	2,14	<1,0	<0,2
10	7,82	15,6	1,46	<1,0	<0,2
20	7,88	16,0	1,07	<1,0	<0,2

Tab. 5.7 Rozbor vody po filtraci přes Bayoxide E33

Bayoxide E33					
t [min]	pH	Teplota [°C]	Zákal [ZF]	c As [µg/l]	c Cd [µg/l]
2,5	7,72	17,3	6,07	<1,0	<0,2
5	7,72	15,9	4,42	<1,0	<0,2
10	7,73	15,9	2,31	<1,0	<0,2
20	7,76	16,7	1,21	<1,0	<0,2

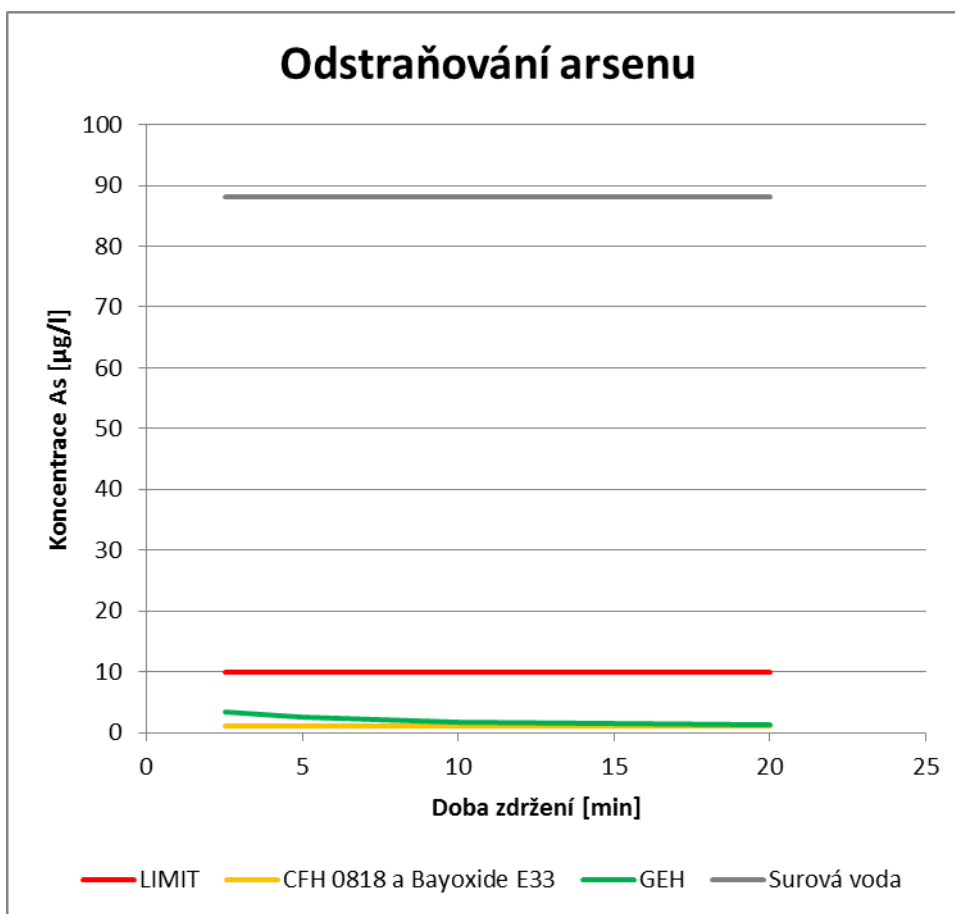
Tab. 5.8 Rozbor vody po filtraci přes GEH

GEH					
t [min]	pH	Teplota [°C]	Zákal [ZF]	c As [µg/l]	c Cd [µg/l]
2,5	7,61	20,2	2,15	3,4	<0,2
5	7,63	19,8	1,19	2,6	<0,2
10	7,63	18,1	1,03	1,8	<0,2
20	7,65	18,1	1,02	1,3	<0,2

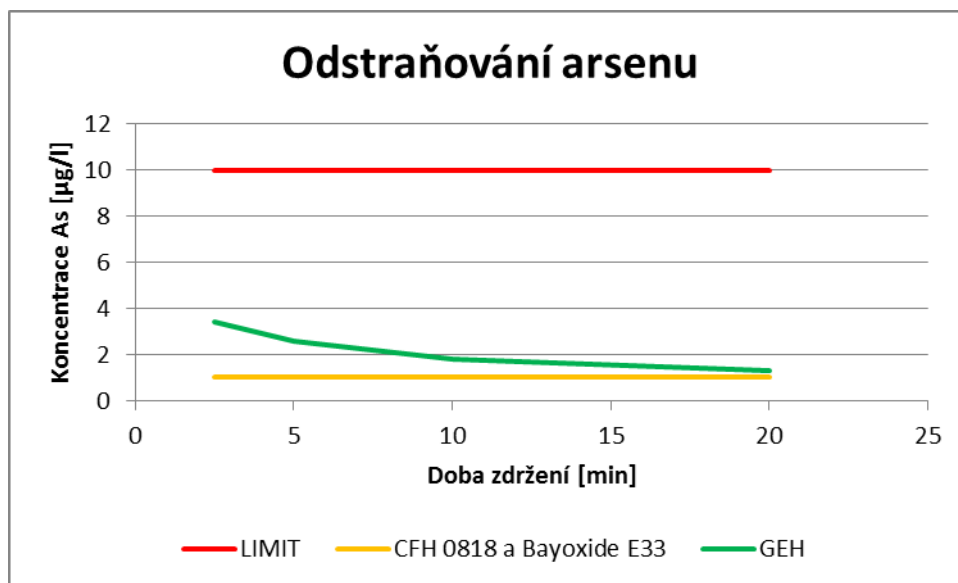
Z tabulek je patrné, že všechny tři materiály jsou vynikající na odstranění arsenu i kadmia a dosahují podobných filtračních výkonů. Už při nejmenší době zdržení čítající 2,5 minuty byla koncentrace arsenu i kadmia v upravené vodě hluboko pod limitem nejvyšší možné hodnoty dle Vyhlášky č. 252/2004 Sb. pro arsen 10 $\mu\text{g/l}$ a pro kadmium 5 $\mu\text{g/l}$. Ostatní doby zdržení už neměly výraznější vliv na pokles koncentrací těchto látek v upravené vodě.

Při odstraňování kadmia došlo jednoznačně u všech sorpčních materiálů ke kontaktní filtraci. Při odstraňování arsenu z vody proběhla filtrace kontaktně u CFH 0818 a Bayoxidu E33, v případě materiálu GEH bylo pozorováno odstraňování arsenu v závislosti na čase. Hodnoty arsenu ($<1,0 \mu\text{g/l}$) a kadmia ($<0,2 \mu\text{g/l}$) byly maximálně možné změřitelné na laboratorních přístrojích a skutečné hodnoty jsou pod mez detekce.

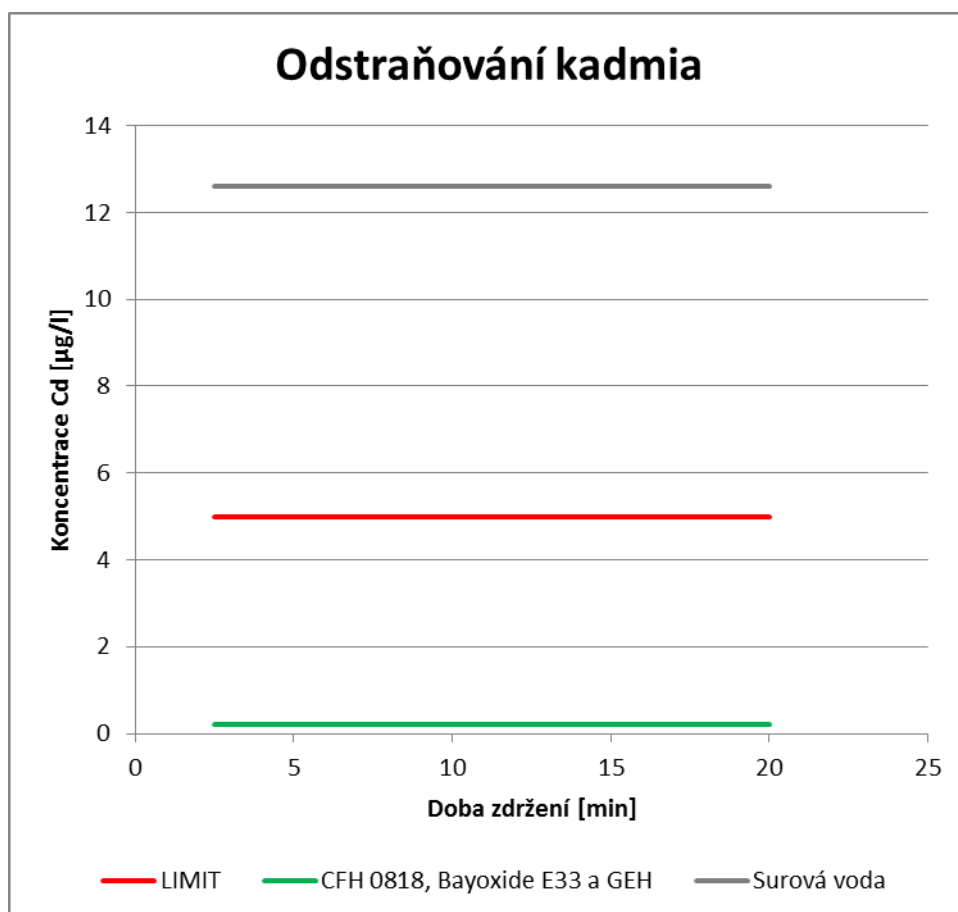
Současně se sledováním odstraňování arsenu a kadmia byly sledovány hodnoty zákalu, pH a teploty. Hodnota pH vody s dobou zdržení roste v čase na všech kolonách. Zákal se se vzrůstající dobou zdržení snižuje, přičemž už po nejkratší době zdržení vody v koloně je pod limitem mezní hodnoty dle Vyhlášky č. 252/2004 Sb. (5 ZF).



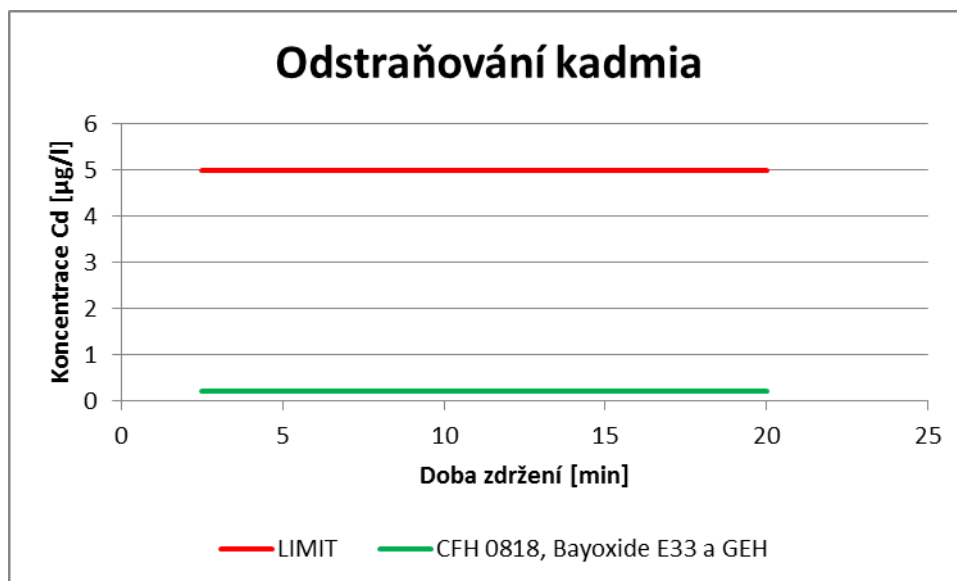
Obr. 5.2 Průběh odstranění arsenu z vody



Obr. 5.3 Podrobný průběh odstranění arsenu z vody



Obr. 5.4 Průběh odstranění arsenu z vody



Obr. 5.5 Podrobný průběh odstranění arsenu z vody

5.4 FOTODOKUMENTACE K EXPERIMENTU



Obr. 5.6 Filtrační kolony se sorpčními materiály (Z leva: CFH 0818, Bayoxide E33, GEH)



Obr. 5.7 Vyplavování nečistot z filtru při praní



Obr. 5.8 Koncentráty jednotlivých prvků



Obr. 5.9 Dávkovací pipeta



Obr. 5.10 Čerpadlo pro surovou vodu



Obr. 5.11 Zakonzervování odebraných vzorků



Obr. 5.12 Průtokoměr (rotametr s ventilem)



Obr. 5.13 Měření digitálním pH metrem s integrovaným měřidlem teploty média

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo specifikovat přírodní látky, které pronikají do zdrojů pitné vody přirozeně infiltrací v podloží, atmosférickým znečištěním, odpadními vodami nebo uměle, případně při haváriích. Následně byly zhodnoceny adsorpční materiály a jejich vlastnosti a charakteristiky, které jsou zásadní pro správné zvolení příslušného adsorpčního materiálu. Jelikož se v poslední době objevuje ve zdrojích pitné vody arsen a kadmium, byla tomuto problému věnována samostatná kapitola. V neposlední řadě bylo cílem provést výzkumné laboratorní měření na třech adsorpčních materiálech za účelem ověření jejich schopnosti odstraňovat tyto dvě látky z vody přes filtrační kolonu.

Z poznatků poslední doby vyplouvá na povrch skutečnost, že kromě prvků typu železa, manganu a dalších látek vyskytujících se v podzemních nebo povrchových zdrojích se do těchto zdrojů dostávají látky pro člověka značně nebezpečné a toxické, jako např. arsen kadmium, olovo, rtuť. V neposlední řadě je to ropa, která může díky neodborné manipulaci snadno znečistit zdroje pitné vody. Je tedy v zájmu všech, abychom udržovali a chránili zdroje pitné vody pro lidstvo nepoškozené a čisté, přičemž v případě znečištění některými specifickými látkami jsme navrhli optimální řešení na úpravu vody a ochránili tak naše zdraví.

Laboratorním měřením bylo dokázáno, že existuje velmi spolehlivá a účinná metoda na snížení koncentrace arsenu a kadmia ve vodě pomocí sorpce na speciálních filtračních materiálech na bázi hydroxidu železa. Pro účel experimentu byly odzkoušeny tři filtrační materiály – Kemira CFH 0818, Bayoxide E33 a GEH. Z výsledků laboratorního měření vyplývá, že všechny tři materiály byly schopny snížit koncentrace posuzovaných látek hluboko pod limit, který udává vyhláška č. 252/2004 Sb., už při nejkratší době zdržení (2,5 minuty). Při odstraňování kadmia došlo jednoznačně u všech sorpčních materiálů ke kontaktní filtraci. Při odstraňování arsenu z vody proběhla filtrace kontaktně u CFH 0818 a Bayoxidu E33, v případě materiálu GEH bylo pozorováno odstraňování arsenu v závislosti na čase. Současně se sledováním odstraňování arsenu a kadmia byly sledovány hodnoty zákalu, pH a teploty. Hodnota pH vody s dobou zdržení roste v čase ve všech kolonách. Zákal se se vzrůstající dobou zdržení snižuje, přičemž už po nejkratší době zdržení vody v koloně je pod limitem mezní hodnoty dle Vyhlášky č. 252/2004 Sb. (5 ZF).

Lze tedy tyto materiály doporučit i vzhledem k jejich nízkým provozním a pořizovacím nákladům.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, L.; ADLER, P.; KUČERA, T.; RACLAVSKÝ, J., *Vodárenství*, VUT v Brně, FAST, Brno, 2006
- [2] Základní principy hydrologie. *Metodická příručka Ministerstva životního prostředí* [online]. 2010 [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf)
- [3] HLAVÍNEK, Petr a Jaromír ŘÍHA. *Jakost vody v povodí*. VUT v Brně, FAST, Brno, 2006.
- [4] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [5] Česká republika. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: *252/2004 Sb.* 2004. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>
- [6] Česká republika. Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *428/2001 Sb.* 2001. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>
- [7] Olovo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Olovo>
- [8] Rtuť. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rtu%C5%A5>
- [9] Nikl. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl>
- [10] Sulfan. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Sulfan>
- [11] Česká republika. Zákon o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon). In: *350/2011 Sb.* 2011. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-350>
- [12] Kadmium. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kadmium>

- [13] Problematika arsenu v pitné vodě v České republice. In: *Sborník konference Pitná voda 2010: 10. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží : 17.5 - 20.5.2010 v Táboře*. České Budějovice: W, 2010, s. 6. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [14] Arsen. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Arsen>
- [15] Nové sorpčné materiály v odstraňování kovů z vody. In: *Sborník konference Pitná voda 2008: 9. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží : 2.6.-5.6. 2008 v Táboře*. České Budějovice: W, 2008, s. 5. ISBN 978-80-254-2034-8.
- [16] Využití nanosorbentů na bázi MnO₂ pro odstraňování As (V) z vod. In: *Sborník konference Pitná voda 2010: 10. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží : 17.5 - 20.5.2010 v Táboře*. České Budějovice: W, 2010, s. 6. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [17] KEMWATER PROCHEMIE. *Hydroxid železitý, Kemira CFH12 a CFH0818*. Dostupné z: <http://www.prochemie.cz/chem/tech-list-hydroxid-zelezity-kemira-cfh.pdf>
- [18] Účinnost sorpčních materiálů na odstranění niklu i jiných kovů z vody Zdroj: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/10071-ucinnost-sorpcnich-materialu-na-odstraneni-niklu-i-jinych-kovu-z-vody>. [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/10071-ucinnost-sorpcnich-materialu-na-odstraneni-niklu-i-jinych-kovu-z-vody>
- [19] Arsenic removal from drinking water during coagulation. In: *Journal of environmental engineering*. New York: American Society of Civil Engineers, 1997, s. 8. ISSN 0733-9372.
- [20] Arsenic removal from groundwater by iron impregnated sand. In: *Journal of environmental engineering*. New York: American Society of Civil Engineers, 2003, s. 4. ISSN 0733-9372.
- [21] Arsenic removal from water by moving bed active filtration. In: *Journal of environmental engineering*. New York: American Society of Civil Engineers, 2006, s. 8. ISSN 0733-9372.

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Mikrobiologické a biologické ukazatele [5].....	6
Tab. 2.2 Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele [5]	6
Tab. 2.3 Ukazatele jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standartních metod úpravy surové vody na pitnou vodu [6]	8
Tab. 2.4 Ukazatele jakosti surové podzemní vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standartních metod úpravy surové vody na pitnou vodu [6]	10
Tab. 2.5 Typy úprav pro jednotlivé kategorie surové vody [6]	10
Tab. 4.1 Vlastnosti železitých písků [20]	23
Tab. 4.2 Zrnitost filtračních materiálů Kemira [17]	25
Tab. 4.3 Vlastnosti filtračního materiálu Kemira [17]	25
Tab. 5.1 Parametry kolony	30
Tab. 5.2 Průtoky dle doby zdržení.....	31
Tab. 5.3 Průtočné rychlosti v kolonách	31
Tab. 5.4 Podmínky filtrace	32
Tab. 5.5 Rozbor surové vody	33
Tab. 5.6 Rozbor vody po filtraci přes CFH 0818	33
Tab. 5.7 Rozbor vody po filtraci přes Bayoxide E33	33
Tab. 5.8 Rozbor vody po filtraci přes GEH.....	33

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 4.1 Schéma zapojení pohyblivého filtračního lože [21].....	23
Obr. 4.2 Schéma průběhu filtrace přes pohyblivé filtrační lože [21]	24
Obr. 4.3 Kemira CFH12 (vlevo) a CFH 0818 (vpravo) [18].....	25
Obr. 4.4 Granulovaný sorbent Bayoxide E33 [18].....	26
Obr. 4.5 Adsorpční materiál GEH [18]	27
Obr. 5.1 Schéma zapojení filtrační aparatury	29
Obr. 5.2 Průběh odstranění arsenu z vody	34
Obr. 5.3 Podrobný průběh odstranění arsenu z vody	35
Obr. 5.4 Průběh odstranění arsenu z vody	35
Obr. 5.5 Podrobný průběh odstranění arsenu z vody	36
Obr. 5.6 Filtrační kolony se sorpčními materiály (Z leva: CFH 0818, Bayoxide E33, GEH) .	37
Obr. 5.7 Vyplavování nečistot z filtru při praní	38
Obr. 5.8 Koncentráty jednotlivých prvků	39
Obr. 5.9 Dávkovací pipeta.....	39
Obr. 5.10 Čerpadlo pro surovou vodu	40
Obr. 5.11 Zakonzervování odebraných vzorků	40
Obr. 5.12 Průtokoměr (rotametr s ventilem)	41
Obr. 5.13 Měření digitálním pH metrem s integrovaným měřidlem teploty média	41

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

NMH ...	nejvyšší mezní hodnota
MH ...	mezní hodnota
DH ...	doporučená hodnota
PVC ...	polyvinylchlorid
PAU ...	polycyklické aromatické uhlovodíky
PAH ...	polycyclic aromatic hydrocarbons
IOCS ...	iron oxid coated sand
IIS ...	iron impregnated sand
V_v ...	objem vody [m^3]
V_p ...	objem pórů [m^3]
V_c ...	objem celkem [m^3]
n ...	pórovitost [%]
Q ...	průtok filtrátu [m^3/min]
V ...	objem vody [m^3]
t ...	doba zdržení [min]
v ...	průměrná rychlost [cm/min]
P ...	plocha filtru [cm^2]

SEZNAM PŘÍLOH

1. Protokol č. 16672/2014, 5 str.

SUMMARY

Specific substances such as various types of metals and metalloid compounds of sulfur, nitrogen, phosphorus, and other hydrocarbons are dangerous because they accumulate in plants and animals. At higher concentrations are very dangerous for health. It is a lot of technology in which these substances are removed from the water, such as coagulation, ion exchange, adsorption, and other electrochemical processes. The most common methods of removing these substances is the adsorption to the relevant sorption material. They are simple, effective and affordable method of water treatment for drinking water.

In recent years, arsenic is more and more found in natural waters. Its concentration in the water caused by occurrence of the mineral compounds in the soil, which subsequently penetrate into the groundwater. Another important source of atmospheric water are polluted, in which arsenic is received by the burning of fossil fuels, especially coal. Arsenic is metabolized to toxic substances. Poisoning is manifested by vomiting, diarrhea, muscle cramps, paralysis and cardiac arrest. In the vicinity of metallurgical plants may be elevated levels of arsenic in the air, which can lead to lung cancer. Thus teratogenic and carcinogenic. With long-term use leads to dermatological problems.

Cadmium in natural ores accompanies zinc. During her treatment gets into the waste water and the atmosphere. A significant proportion of cadmium also contain phosphate fertilizers, a large concentration which is dangerous to the people, is released during the combustion of PVC. Atmospheric water further pollute groundwater and povrchové. Cadmium accumulate in the kidneys and liver and can also cause osteoporosis. Cadmium is a highly carcinogenic element and causes cancerous growths.

The aim of the study was to determine the effectiveness of the removal of arsenic and cadmium on sorption materials at different residence times and different water flow rates. As sorption materials were used: CFH 0818, BAYOXIDE E33 and GEH. During measurements were also observed pH, temperature and turbidity.

All three materials achieved excellent results because the removal of arsenic and cadmium limit under the Act No. 252/2004 Coll. was already at the shortest time delay. The pH increased with increasing time, while the value of the turbidity decreased, already at the shortest residence time the limit came under the decree.

These sorbent materials can be recommended due to effective results and low cost of ownership.