

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Hospodaření s přírodními zdroji



Zuzana Rodovská

Anomální výskyty arsenu v přírodních vodách České republiky
Anomalous occurrences of arsenic in natural waters in the Czech Republic

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: Mgr. Petr Drahota, Ph.D.

Praha 2012

Poděkování:

Ráda bych touto cestou poděkovala všem, kteří přispěli k napsání této bakalařské práce. Především svému školiteli Mgr. Petru Drahotovi, Ph. D. za odborné konzultace a trpělivost a RNDr. Vladimíru Majerovi, CSc. za poskytnuté informace.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu. Souhlasím, aby byla bakalářská práce umístěná do knihovny.

V Praze, dne 17. 5. 2012

.....

Podpis

OBSAH:

Abstrakt	5
1. Úvod	6
1. 1. Historie	7
2. Arsen	9
2. 1. Toxikologie arsenu	10
2. 1. 1. Akutní otrava	10
2. 1. 2. Chronická otrava	10
2. 1. 3. Vylučování	11
2. 2. Produkce arsenu	11
2. 3. Současné využití arsenu	11
2. 4. Výskyt arsenu	12
2. 5. Specie arsenu ve vodách	13
2. 6. Transformace	14
2. 7. Legislativa As ve vodách	15
3. Zdroje arsenu	17
3. 1. Přírodní zdroje	17
3. 2. Antropogenní zdroje	18
4. Voda v přírodním prostředí	21
4. 1. Distribuce arsenu v přírodních vodách	21
5. Arsen v přírodních vodách ČR	23
5. 1. Hydrogeologie	23
5. 2. Povrchová voda	24
5. 2. 1. Koncentrace arsenu v povrchových vodách	25
5. 3. Podzemní voda	36
5. 3. 1. Koncentrace arsenu v podzemních vodách ČR	36
5. 4. Anomální a zvýšené výskyty arsenu	44
6. Závěr	49
7. Literatura	50

Abstrakt:

Bakalářská práce je rešerší, která se zaměřuje na distribuci arsenu v povrchových i podzemních přírodních vodách České republiky a zejména na výskyt jeho anomálních koncentrací v těchto prostředích včetně odhalení zdrojů kontaminace. Z výsledků práce vyplývá, že kvalita povrchových a podzemních vod v České republice, s ohledem na koncentraci arsenu, je celkově na dobré úrovni, v porovnání s kvalitou vod ve světě. Anomální koncentrace arsenu v přírodních vodách ČR ($> 50 \mu\text{g/l}$) byly dokumentovány jen vzácně v oblastech se zvýšenou antropogenní činností či oblastech postižených historickou důlní činností.

Klíčová slova: Arsen, toxicita, kontaminace, povrchové vody, podzemní vody, Česká republika

Abstract:

This bachelor thesis reviews the data on the distribution of arsenic in surface and underground natural waters of the Czech Republic. In addition the thesis focuses on the occurrence of anomalous arsenic concentrations and tries to detect sources of arsenic contamination. Results of the thesis suggest high quality of the surface and groundwater in the Czech Republic with respect to arsenic. Its anomalous concentrations in the natural waters in Czech Republic have been rarely documented only in areas with strong anthropogenic impact and in areas affected by historical mining operations.

Keywords: Arsenic, toxicity, contamination, surface water, groundwater, Czech Republic

1. ÚVOD

Arsen je polokov, který je vzhledem k jeho vlastnostem a především toxicitě někdy řazen mezi kovy. Vlastnosti sulfidu arsenitého a některých dalších sloučenin arsenu byly známy lékařům a profesionálním travičům již od 5. století př. n. l. Širší znalost arsenu jako polokovu se rozšířila v průběhu 13. až 15. století. V posledních letech je arsen velmi diskutovaným tématem a to především ve spojitosti s jeho schopností způsobovat závažná chronická onemocnění i v relativně velmi nízkých koncentracích vstupujících do organismu. Ty se mohou rozvinout ve velmi závažná onemocnění až smrt. Arsen se do organismů dostává různými způsoby. Nejčastěji však do organismu vstupuje především požitím kontaminované vody.

Toxicita arsenu závisí na chemické formě jeho výskytu a zejména na jeho oxidačním stavu. Arsen se vyskytuje v různých sférách prostředí, ve kterých je také různě stabilní, respektive mobilní. Vyskytuje se jak ve vodě, tak v půdě a ve vzduchu. Do životního prostředí se arsen dostává přírodní cestou z litosférického zdroje nebo je jeho vstup urychlen antropogenní činností. Antropogenní dopady na zvýšenou koncentraci arsenu v povrchových i podzemních rezervoárech vody vzrůstají díky rozvoji průmyslu, zemědělství atd. Nicméně to jsou zejména přírodní zdroje arsenu, které kontaminovaly rozsáhlá území spolu se zdroji podzemních vod a způsobily jednu z největších otrav v dějinách lidstva (Vaughan a kol. 2006).

V současnosti se monitoringem kvality povrchových a podzemních vod v České republice zabývá Český hydrometeorologický ústav. Tyto vzorky jsou analyzovány a výsledkem je distribuce obsahů polutantů (kovy a organické látky, včetně arsenu). Na základě toho se vody v České republice řadí podle jakosti do pěti tříd.

Bakalářská práce se zabývá distribucí arsenu v přírodních vodách ČR. Hlavním cílem bylo zhodnotit anomální koncentrace arsenu v těchto vodách a pokusit se odhalit hlavní zdroje znečištění, respektive rozlišit mezi jeho přírodními nebo antropogenními zdroji. Geochemická anomálie se projevuje takovou koncentrací daného prvku, která je buď výrazně nižší, nebo vyšší proti hodnotě geochemického pozadí. Práce se zaměřuje na anomální koncentrace, které reprezentují zvýšené obsahy, neboť ty představují riziko pro okolní ekosystémy. Pro účely této práce jsem si definovala anomální koncentraci arsenu ve vodách jako hodnotu vyšší než 50 µg/l. K tomu mě vedly dva důvody:

- Synáčková (1996) definuje vody s koncentrací arsenu vyšší než 50 µg/l jako silně a velmi silně znečištěné,
- Hodnota 50 µg/l arsenu představovala původní maximální povolenou koncentraci pro pitné vody v ČR a ostatních vyspělých státech světa.

1. 1. Historie

V průběhu let byly sloučeniny arsenu široce používány. Navíc některé z látek, jako je oxid arsenitý, se používaly jako jedy při vraždách i sebevraždách. Albertus Magnus (1193-1280), německý alchymista, byl první, který okolo roku 1250 izoloval elementární arsen (As (0)). V roce 1540 Vannocio Biringuccio, italský metalurg, odhalil základní rozdíly mezi As (0) a sloučeninami arsenu. V roce 1757 se Louis-Claude de Cadet Gassicourt (1731-1799) pokusil o výrobu As (0) . Místo toho syntetizoval hnědý roztok složený z kyseliny kakodylové a dalších sloučenin arsenu, tzv. Kadetův dýmavý roztok. V 18. a 19. století začaly evropské lékárny syntetizovat řadu různých sloučenin arsenu. Arsin objevil Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) v roce 1775. Alchymista a lékař Paracelsus poznamenal: „Všechny látky jsou jedy, ale vhodná dávka odlišuje jed od léku“.

Hippokrates se zmínil, že auripigment a realgar byly používány při léčbě vředů. Spisovatel a přírodovědec Plinius Starší popsal použití realgaru k léčbě bolesti v krku, astmatu a kašle. Pedanius Dioscorides prohlásil auripigment za vhodný pro používání v lékařství, včetně zabíjení vši. Perský alchymista Zakariyya al-Razi doporučuje arsen pro léčbu astmatu, respiračních potíží, vředů a pro ošetření při úplavici (Henke a Atwood 2009). V roce 1836 James Marsh vyvinul analytické metody pro detekci relativně nízkých koncentrací arsenu v různých materiálech, např. v lidském těle (Henke a Atwood 2009).

Auripigment a realgar byl ve starověké Indii a Číně používán pro své léčivé účinky. Mnoho tradičních čínských léčivých přípravků, které jsou dodnes používány, obsahují vysoké koncentrace arsenu.

Používání arsenu v různých léčivech pokračovalo i v 19. století. Používal se pro léčbu téměř všech onemocnění včetně revmatismu, malárie, diabetes, spály, záškrtu, chřipky, astmatu, syfilis, senné rýmy, zánětu průdušek, zápalu plic, kožních onemocnění, leukémie a jiných druhů rakoviny, vztekliny, tuberkulózy a srdečních onemocnění (Henke a Atwood 2009).

Ve 20. století se arsenu využívá pro výrobu polovodičů, přípravků pro ochranu dřeva a při výrobě pesticidů. V současné době se však od využití arsenu v zemědělství ustupuje a jeho hlavní využití je při výrobě polovodičů. Léky obsahující arsen byly také z velké části nahrazeny látkami méně toxickými. Nicméně sloučeniny arsenu nejsou jen škodlivé, ale využívají se k léčbě některých onemocnění. Například As_2O_3 se využívá k léčbě pacientů s akutní promyelocytární leukémií (Henke a Atwood 2009).

Po celá staletí si zemědělci všímali, že některé sloučeniny arsenu jsou účinné v hubení škůdců a nežádoucích rostlin. V roce 1600 čínská encyklopedie medicíny poznamenala, že nspecifikované sloučeniny arsenu hubí hmyz, který napadá rýži. Rozšířené používání pesticidů obsahujících arsen započalo v 19. století. V roce 1906 se arseničnan vápenatý stal dominantním pesticidem pro ochranu bavlněných plodin, až do vývoje DDT v roce 1940 (Henke a Atwood 2009).

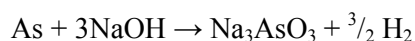
V Evropě byl arsen používán jako tekutina k balzamování asi od roku 650 n. l. až do začátku 12. století. Užívání arsenu pro balzamování mohlo vést k významnému znečištění podzemních vod a půd na některých hřbitovech (Henke a Atwood 2009).

2. ARSEN

Arsen (As) je polokovový toxický prvek. Spolu s antimonem, bismutem, dusíkem a fosforem tvoří V. B skupinu periodické tabulky. Vyskytuje se ve třech alotropických modifikacích: žlutá, černá a šedá. Ve sloučeninách je stálý v oxidačních stavech -III, 0, III, V. Arsen vytváří širokou škálu sloučenin, které jsou v přírodě všudypřítomné (Greenwood a Earnshaw 1993).

Elementární arsen je na suchém vzduchu stálý, ale ve vlhku dostává jeho povrch v důsledku oxidace bronzově matný odstín. Při delší expozici se na něm vytváří černý povlak. Při zahřívání na vzduchu sublimuje a oxiduje na jedovatý As_4O_6 . Při teplotách nad 250 až 300 °C je reakce provázená fluorescencí. S kovy může tvořit arsenidy. Špatně reaguje s vodou, s roztoky hydroxidů a s neoxidujícími kyselinami. Zředěnou kyselinou dusičnou se však oxiduje na kyselinu trihydrogenarsenitou, horkou koncentrovanou kyselinou dusičnou na kyselinu trihydrogenarseničnou. Horká koncentrovaná H_2SO_4 jej oxiduje na As_4O_6 . Reakcí s roztaveným NaOH se uvolňuje H_2 (Rovnice 1) (Greenwood a Earnshaw 1993).

Rovnice 1: Reakce arsenu s roztaveným hydroxidem sodným (Greenwood a Earnshaw 1993)



Elektronová konfigurace As v základním stavu obsahuje 3 nepárové elektrony p (ns^2np^3). Projevuje se zde výrazná elektronová afinita k získání jednoho elektronu. Po přijetí dalších dvou elektronů je nutno překonat značný coulombický odpor a tvorba As (-III) je tedy silně endotermická. V souladu s tímto neexistují žádné iontové sloučeniny, které by obsahovaly arsenidový anion. Sloučeniny jako např. Na_3As jsou buď intermetalické sloučeniny, nebo slitiny. I přes metaloidní charakter volného prvku je ionizační energie a elektronegativita podobná jako u fosforu a As snadno vytváří s většinou kovů silné kovalentní vazby (Greenwood a Earnshaw 1993).

Tabulka 1: Atomové a fyzikální vlastnosti As (α As) (Greenwood a Earnshaw 1993)

Atomové číslo	33
Atomová hmotnost [g/mol]	74,9216
Elektronegativita	2
Elektronová konfigurace	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^3$
Teplota tání [°C]	816
Teplota varu [°C]	615
Hustota při 25 °C [g/cm^3]	5,778

Arsen se v životním prostředí vyskytuje v kombinaci s jinými prvky, jako je kyslík a síra. V kombinaci s těmito prvky se označuje jako anorganický. Arsen v kombinaci s uhlíkem a vodíkem je organický.

2. 1. Toxikologie arsenu

Sloučeniny arsenu jsou vysoce jedovaté, akutně i chronicky. Některé jsou prokázanými mutageny, karcinogeny a teratogeny. Za netoxický bývá považován kovový arsen, který je však v organismu přeměněn na toxické sloučeniny. Anorganické sloučeniny As jsou mnohem více toxické než sloučeniny organické. Anorganické a organické As (III) formy mají tendenci být pro člověka více toxické než As (V) formy. Mezi nejedovatější sloučeniny patří oxid arsenitý As_2O_3 (arsenik), chlorid arsenitý $AsCl_3$ a arsenovodík AsH_3 . Z organických sloučenin je nejvýznamnější bojový lewisit (www.biotox.cz).

2. 1. 1. Akutní otrava

V dnešní době jsou akutní otravy spíše vzácné, nicméně předmětem intenzivního zájmu jsou pozdní účinky expozice arsenu, zejména jeho účinky karcinogenní. Akutní otrava arsenem závisí od cesty expozice a dávky. Toxicky začíná arsen působit v dávkách 30 - 50 mg, nejnižší letální dávky se udávají okolo 60 - 80 mg pro dospělého člověka (Křištofová 2005).

2. 1. 2. Chronická otrava

Chronická otrava má velmi pestrý obraz. Jsou to projevy podráždění až zápalu kůže. Typické je hyperkeratické zhrubnutí kůže na dlaních a chodidlech. Pro otravu arsenem je příznačné tmavé bronzové zabarvení kůže (melanoza). Asi v jedné třetině případů se chronická otrava projevuje zažívacími potížemi. Při otravách arsenem jsou důležité nervové příznaky-bolesti hlavy, kloubů, snížená citlivost na některých místech těla a palčivé bolesti v končetinách. Často se vyskytuje stres, může nastat úpadek duševních schopností (Křištofová 2005). Hodnoty dávek arsenu způsobující chronická onemocnění nejsou dostatečně známy. Ze zjištění negativního vlivu koncentrací arsen nižších než 50 $\mu\text{g/l}$ na lidský organismus ve vodách Bangladéše a Západního Bengálska vyplývá, že tyto hodnoty budou v porovnání s dávkami potřebnými pro akutní otravu velmi nízké.

2. 1. 3. Vylučování

Vznik akutní i chronické otravy arsenem je možný po inhalační, perorální a parenterální expozici. Kůži se arsen nevstřebává. Z těla se vylučuje, v závislosti na formě výskytu a velikosti expozice, různou rychlostí zejména močí. Toxické sloučeniny se vází rychleji a pevněji a jsou vylučovány pomaleji než méně toxické sloučeniny arsenu (Křištofová 2005).

2. 2. Produkce arsenu

Kovový arsen se v průmyslovém měřítku získává tavením FeAs_2 nebo FeAsS bez přístupu vzduchu při 650 až 700°C a kondenzací par sublimujícího prvku. Zbývající arsen se získává ze sulfidických rud jejich pražením na vzduchu, a to zachycováním sublimujícího As_2O_3 v systému kouřovodů. Oxid pak může být buď redukován při 700 až 800 °C dřevěným uhlím na elementární arsen nebo může být použit přímo v chemické výrobě. Protože se tyto technologie provozují ve velkém měřítku, představoval a v některých oblastech stále představuje létavý prach největší průmyslový zdroj arsenu (Greenwood a Earnshaw 1993).

2. 3. Současné využití arsenu

Elementární arsen se používá především ve slitinách olova a v menším rozsahu ve slitinách mědi. Přídavek malého množství arsenu zlepšuje vlastnosti slitiny Pb-Sb používané v akumulátorech, zvyšuje tvrdost a zlepšuje kulatost olověných broků při jejich výrobě. Mezi intermetalickými fázemi As s Al, Ga a In jsou polovodiče typu $A^{\text{III}} B^{\text{V}}$, z nichž jsou zvláště významné GaAs a InAs. Ty se používají při výrobě diod emitujících světlo (LED), tunelových diod, infračervených zářičů, okének laserů a zařízení pro sledování Hallova jevu. Sloučeniny arsenu dosud našly široké uplatnění v některých oblastech v zemědělství. Z arsenitanu sodného se připravují lázně pro dezinfekci ovcí a hovězího dobytka a používá se také v boji proti vodním plevelům. Kyselina trihydrogenarseničná (H_3AsO_4) slouží jako vysoušecí prostředek při defoliaci bavlníkových lusků před sklizní a ke konzervaci dřeva. V lékařství se od použití arsenu upouští, protože téměř všechny látky obsahující arsen jsou jedovaté. Oxid arsenitý se používá k odbarvování lahvového skla (Greenwood a Earnshaw 1993).

2. 4. Výskyt arsenu

Arsen není v zemské kůře příliš rozšířen, i když tvoří hlavní složku mnoha minerálů. Jeho průměrný obsah v zemské kůře je kolem 2 ppm, což je 51. místo ve výskytu prvků v horninách zemské kůry. Podobně jako všechny prvky podskupin B je arsen chalkofilní, to znamená, že se vyskytuje spíše ve sloučeninách s chalkogenými prvky S, Se a Te a téměř se nevyskytuje jako křemičitan. Minerály arsenu jsou rozšířeny po celém světě v různých geologických prostředích. V malém množství byl arsen nalezen také v ryzím stavu (Greenwood a Earnshaw 1993). Arsen je v přírodě běžnou složkou více než 300 primárních a sekundárních minerálů (Drahota a Fillipi 2009). Nejhojnějším primárním minerálem je arsenopyrit (FeAsS). Dalšími sulfidickými minerály jsou auripigment (As₂S₃), realgar (AsS), kobaltin (CoAsS) či enargit Cu₃AsS₄. Arsen může být také příměsí některých sulfidických minerálů, ve kterých netvoří hlavní komponentu v krystalové mřížce. Především se váže na pyrit (FeS₂) (Bissen a Frimmel 2003; O'Day 2006).

Arsenopyrit je v zemské kůře stabilní, nachází-li se pod hladinou podzemní vody. Octne-li se v zóně nenasyčené vodou, dochází k jeho oxidaci a tím i k uvolňování prvků. Z nich vznikají sekundární minerály. Nejčastěji jsou to arseničnany. Jejich vznik a stabilita závisí na geochemickém prostředí lokality, ne jejich chemickém složení a krystalové struktuře (nejčastější sekundární minerál arsenu je arseničnan železa, skorodit). Při oxidaci může na povrchu arsenopyritu také vzniknout oxyhydroxid železa vázající arsen na svůj povrch (Pertold 1998). Část složek uvolněných z arsenopyritu a dalších minerálů obsahujících arsen se však dostává do podzemních a povrchových vod (Pertold 1998).

Obsahy arsenu se v sedimentárních horninách nejčastěji pohybují v rozmezí 1,8 - 13 mg/kg ve vyvěřelých horninách v rozmezí 1,3 - 3 mg/kg. V půdách se průměrná koncentrace arsenu uvádí okolo 5 - 6 mg/kg a obvyklé rozmezí hodnot je 1 - 40 mg/kg (Vaughan a kol. 2006).

Uhlí je sedimentární metamorfovaná hornina, která obsahuje nejméně 50 hm. % a 70 obj. % hořlavých organických materiálů, které jsou často cennými zdroji energie. Na rozdíl od mnoha jiných sedimentárních a metamorfovaných hornin uhlí často obsahuje značné množství pyritu a dalších sulfidických minerálů. Koncentrace arsenu v uhlí jsou velmi variabilní a pohybují se v rozmezí od 0,001 g/kg do 30 g/kg. Vysoké koncentrace arsenu byly dokumentovány zejména z méně kvalitního hnědého uhlí a lignitu. V některých těchto typech uhlí dosahují koncentrace arsenu až 35 g/kg (Henke 2009). Nejvyšší koncentrace arsenu v hnědém uhlí v České republice dosahovaly až 3245 mg/kg As (Nriagu 2007).

Uhelná ložiska představují v současné době v ČR nejpodstatnější složku našeho nerostného bohatství. Hnědé uhlí představuje rozhodující energetický zdroj ČR, z něhož je zajišťováno cca 60% výroby elektrické energie. Na našem území máme dvě uhelné společnosti těžící v Severočeské hnědouhelné pánvi-Mostecká uhelná společnost, a.s. Most a Severočeské doly, a.s. Chomutov. V Sokolovské pánvi těží Sokolovská uhelná, a.s. Vřesová (viz. Obrázek č. 1). Lignit je těžen v jednom hlubinném dolem na Hodonínsku.



Obrázek č. 1: Ložiska hnědé uhlí (geologie.vsb.cz)

2. 5. Specie arsenu ve vodách

Arsen vytváří pestrou řadu anorganických i organických sloučenin. K nejběžnějším sloučeninám ve vodném prostředí patří kyselina arseničná (H_3AsO_4) a její anionty H_2AsO_4^- (pK 2,20), HAsO_4^{2-} (pK 6,97) a AsO_4^{3-} (pK 11,53). Tyto specie jsou termodynamicky stálé v oxidačním prostředí (Cullen a Reimer 1989).

V redukčním vodném prostředí převládá trojmocný arsen jako kyselina arsenitá (H_3AsO_3), která při $\text{pH} > 9$ disociuje na H_2AsO_3^- (pK 9,23), HAsO_3^{2-} (pK 12,13) a AsO_3^{3-} (pK 13,40) (Bissen a Frimmel 2003).

Arsenovodík (arsan AsH_3) je za normálních podmínek plyn česnekového zápachu, který vzniká v extrémně redukčních anaerobních podmínkách (Bissen a Frimmel 2003). Arsan je pokládán za nejtoxičtější sloučeninu arsenu (Bissen a Frimmel 2003).

Prostřednictvím mikrobiálních procesů dochází ke vzniku organických sloučenin arsenu, a to nahrazením vodíku nebo hydroxylové skupiny anorganických sloučenin. Z arsanu tak vzniká monomethylarsan (CH_3AsH_2), dimethylarsan ($(\text{CH}_3)_2\text{AsH}$) a trimethylarsan ($(\text{CH}_3)_3\text{As}$). K organickým kyselinám s pětímocným arsenem patří např. kyselina monomethylarsonová ($\text{CHAsO}(\text{OH})_2$) a dimethylarsinová ($(\text{CH}_3)_2\text{AsO}(\text{OH})$). K těmto procesům dochází zejména v anaerobních podmínkách (Cullen a Reimer 1989; Bissen a Frimmel 2003).

2. 6. Transformace

Chemické sloučeniny, obsahující arsen, mohou podstoupit řadu proměn. Většina z nich je způsobena změnou pH a redoxního potenciálu. V přírodních podmínkách se anorganický arsen transformuje biochemickými reakcemi na organické formy za vzniku různých methylderivátů, např. kyseliny dimethylarsinové, kyseliny methylarsonové, dimethylarsanu a trimethylarsanu. Vznik těchto derivátů může např. v přírodních vodách ovlivňovat distribuci arsenu mezi kapalnou fází a sedimenty a nebo častěji mezi kapalnou a plynou fází (Prousek 2001).

Vzhledem k rozdílným oxidačně-redukčním podmínkám dochází ve vodách hlubších nádrží a jezer často k vertikální stratifikaci As (III) a As (V). Na distribuci těchto specií arsenu se může v létě do značné míry podílet i biologická redukce fytoplanktonem v epilimniu, ve kterém pak převažuje As (III). Kromě toho se As (III) může oxidovat nejen pomocí rozpuštěného kyslíku, ale také působením oxidů manganu a dalších oxidantů. Redukce As (V) v bezkyslíkatém hypolimniu probíhá jen zvolna, avšak je urychlována přítomností sulfidů a Fe (II). Byl prokázán vznik methylderivátů, kyseliny dimethylarsinové a methylarsonové (Pitter 1999).

Vysoké koncentrace arsenu jsou typické rovněž pro oxidační podmínky s vysokou hodnotou pH (> 8). V těchto podmínkách převládá As ve formě arseničnanů a koncentrace mají pozitivní korelaci s obsahy např. vanadičnanů, chromátů, borátů a dalších prvků vytvářejících oxoanionty (Hrkal 2011). Oxidace As (III) na As (V) probíhá chemickou nebo i biochemickou cestou, avšak rychlost oxidace kyslíkem rozpuštěným ve vodě je velmi pomalá. Stejně je tomu i redukce v anoxických podmínkách. Proto dosažení rovnovážného stavu trvá ve stojatých vodách poměrně dlouho a přítomnost As (III) lze proto obvykle prokázat i v oxických podmínkách epilimnia. Přítomnost As (V) naopak i v anoxických podmínkách hypolimnia. V závislosti na složení vody se doba oxidace, nebo redukce, pohybuje

v desítkách dní. Ve skutečnosti k dosažení rovnovážného stavu mezi distribucí As (III) a As (V) v přírodních vodách takřka nedochází, neboť rychlost oxidace a redukce obou forem arsenu je téměř vždy významně ovlivněna mikrobiologickou činností. Oxidace rozpuštěným kyslíkem lze katalyzovat sloučeninami mědi. Oxidace As (III), při úpravě vody chlorací, je velmi rychlá. V případě použití chloraminů se však zpomaluje. Redukovat As (V) na As (III) lze poměrně snadno přidavkem síranu železnatého nebo přidavkem sulfidů, což je jednou z příčin redukce As (V) v hypolimniu nádrží a jezer (Pitter 1999).

Vertikální stratifikaci As v eutrofizovaných jezerech a nádržích v období letní stagnace vypadá následovně (Pitter 1999):

- Epilimnion (oxidické podmínky): postupná oxidace na As (V); vznik methylderivátů (především kyseliny dimethylarsinové a methylarsonové) biologickou činností fytoplanktonu; adsorpce na hydratované oxidy Mn a Fe,
- Hypolimnion (anoxické podmínky): postupná redukce na As (III); desorpce z hydratovaných oxidů Fe a Mn; uvolňování As při rozkladu biomasy,
- Sedimenty (anaerobní podmínky): další redukce na As (III); srážení As na málo rozpustné sulfidy; koprecipitace s FeS; vznik organických methylderivátů vlivem mikrobiální činnosti a jejich přechod zpět do hypolimnia.

2. 7. Legislativa As ve vodách

Maximální přípustné koncentrace As v pitné vodě byly legislativou mnoha zemí (např. Evropské unie) stanovené na 10 µg/l. Světová zdravotnická organizace (WHO) snížila tuto hodnotu koncentrace z 50 µg/l v roce 1993 (Smedley a Kinniburgh 2002).

Hlavním cílem Světové zdravotnické organizace je kvalita pitné vody a ochrana veřejného zdraví. Pokyny WHO jsou základním pilířem pro vývoj národních norem, které mají za úkol zajistit bezpečnou úroveň koncentrace arsenu v pitné vodě. Doporučené hodnoty WHO jsou nezávazné. V mnoha zemích byla přijata jako standard koncentrace 10 µg/l. Některé státy se však stále drží dřívějších doporučení WHO a koncentraci 50 µg/l považují za národní normu nebo jako dočasný cíl. V USA je prozatím maximální limit arsenu v pitné vodě 50 µg/l. US EPA (Environmental Protection Agency) navrhla v roce 2000 nový standard pro arsen v pitné vodě, a to v limitní koncentraci 5 µg/l (www.who.int).

Tabulka č. 2: V současné době uznávané národní normy pro arsen v pitné vodě (www.who.int)

Standard	Země
Nižší než 10 µg/l	Australie 7 µg/l (1996)
10 µg/l	EU (1998), Japonsko (1993), Mongolsko (1998), Namíbie a Sýrie (1994)
Nižší než 50 µg/l, ale vyšší než 10 µg/l	Kanada 25 µg/l (1999)
50 µg/l	Bahrain, Bangladéš, Bolívie (1997), Čína, Egypt (1995), Indie, Indonésie (1990), Filipíny (1978), Vietnam (1989), Zimbabwe, Saudská Arábie

() rok, kdy byl standard založen

Koncentrace arsenu v pitné vodě v Bangladéši je stanovena Světovou zdravotnickou organizací (WHO) na 50 µg/l. Voda ze studní, umístěných ve městě Dhaka, má koncentraci arsenu většinou nižší než 50 µg/l (oxidické vody). Voda z vrtů kolem řeky Gangy, kde rozpuštěný kyslík chybí, dosahuje koncentrace arsenu až kolem 330 µg/l (Nickson a kol. 2000). Hustě zalidněná oblast Bangladéše, Západního Bengálska a dalších zemí jihovýchodní Asie představuje nejvíce ohrožená území ve spojení s anomálními koncentracemi arsenu ve zdrojích pitné vody. Příkladem země Evropské Unie s vysokou koncentrací arsenu, v plošně rozsáhlém zdroji podzemní vody, je Maďarsko. Je zde konzumována voda kontaminovaná arsenem, jehož koncentrace je v rozmezí 10-30 µg/l. Snížení koncentrace arsenu v pitné vodě v těchto zemích, bude v dohledné budoucnosti velmi obtížné bez rozvoje vhodné a ekonomicky nenáročné technologie úpravy vody (www.who.int).

Obsah arsenu v pitné vodě je v České republice upravován vyhláškou Ministerstva zdravotnictví 252/2004 Sb., která stanovuje pro arsen, v souladu s doporučením WHO a směrnicí rady č. 98/83/ES, limitní hodnotu 10 µg/l.

Hospodaření s vodou reguluje zákon č. 138/1973 Sb. „*O vodách a hospodaření v pásmech hygienické ochrany vodních zdrojů*“. K hospodaření zemědělských organizací v ochranných pásmech vodních zdrojů byly vydány instrukce Ministerstvem zemědělství a výživy (MZVŽ – ČSR) „*O základních hygienických zásadách pro stanovení, vymezení a využívání ochranných pásem vodních zdrojů určených k hromadnému zásobování pitnou vodou a užitkovou vodou a pro zřizování vodních nádrží*“ (Zákon č. 114/1992 Sb.). Hodnocení jakosti povrchových vod je každoročně prováděno podle normy ČSN 75 7221 „*Klasifikace jakosti povrchových vod*“.

3. ZDROJE ARSENU

Arsen se do přírodních vod dostává různými způsoby z několika zdrojů. Mohou to být jeho přírodní zdroje, kdy dochází za pomoci zvětrávání, biologické aktivity, vulkanické činnosti a dalších procesů k jeho uvolňování a vstupu do přírodních vod. Jakýkoli vstup As ovlivněný činností člověka lze označit jako antropogenní. Přírodní zdroje obvykle způsobují plošně rozsáhlé kontaminace povrchových a zejména podzemních vod, zatímco lokální antropogenní zdroje znečištění mají za následek i lokální kontaminaci podzemních a povrchových vod.

3. 1. Přírodní zdroje

Mezi hlavní přírodní zdroje arsenu v životním prostředí patří:

- Zvětrávání podložních hornin,
- Vulkanická činnost,
- Polévatý prach přírodního původu,
- Těkavé sloučeniny arsenu mořského původu; vodní tříšť,
- Těkavé sloučeniny suchozemského původu,
- Biogenní tuhé částice a lesní požáry.

K nejčastějším minerálům As patří arsenopyrit, realgar a auripigment. Tyto minerály vznikaly za extrémních teplotně-tlakových podmínek. Zvětrávání a eroze těchto minerálů jsou hlavním zdrojem arsenu v životním prostředí. Minerály mohou být oxidovány a arsen či jeho sloučeniny mohou být uvolňovány do spodních a povrchových vod, což může vést k poměrně rozsáhlým kontaminacím. Na chemický rozklad sulfidických minerálů v přírodě společně působí zejména atmosférický kyslík a voda. V arsenopyritu, který tomuto rozkladu podléhá poměrně rychle, nakonec postupně zoxidují všechny jeho chemické složky. Sulfidická síra oxiduje na síranový anion. Uvolněné železnaté ionty se postupně oxidují na železité. Ty však zůstávají ve vzniklém extrémně kyselém prostředí v roztoku. Arsen je za těchto podmínek přítomen v roztoku ve formě nedisociované kyseliny arsenité. Tato kyselina se za přístupu vzduchu pozvolna dále oxiduje na ionty kyseliny arseničné. Teprve později dochází k postupné neutralizaci odtékajících roztoků. Ta má za následek hydrolyzu do té doby rozpuštěných iontů trojmocného železa, při které se z vody začíná vylučovat rezavý (oxy)hydroxid železitý. Díky jeho specifickým vlastnostem a velkému povrchu je na sraženině, vznikající na této fázi, většina arsenu sorpčně a spolusrážením zachycována. Nutno říci, že jednotlivé popsání děje probíhají různou rychlostí a některé z nich jsou ve skutečnosti velmi pomalé (Smedley a Kinniburgh 2002).

Arsen vstupuje do atmosféry zejména prostřednictvím větrné eroze, vulkanické činnosti a vodní tříště (Smedley a Kinniburgh 2002). Atmosférický arsen je vázán především na jemné částice, které mohou být transportovány na relativně velkou vzdálenost. Arsen je obvykle obsažen v částicích menších než 10 µm. Během atmosférického transportu, projdou sloučeniny arsenu přes katalyzační chemické procesy, během kterých se transformují na více stabilní formy v daném prostředí. Specie arsenu mohou být vymyty mokrou depozicí (déšť, sníh) v závislosti na pH srážek a meteorologických podmínkách (intenzita srážek, směr a intenzita převládajícího větru, teplota a vlhkost). Větší nerozpustné částice arsenu jsou součástí suché atmosférické depozice, která obvykle reprezentuje přibližně 10 - 20% z celkové atmosférické depozice (Doušová a kol. 2007).

3. 2. Antropogenní zdroje

Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje arsenu patří zejména:

- Spalování fosilních paliv,
- Používání pesticidů,
- Prostředky na konzervaci dřeva,
- Metalurgický průmysl,
- Těžba a zpracování rud.

Arsen se dostává do ovzduší zejména v prachových částicích uvolňovaných při spalování fosilních paliv. Dalšími zdroji jsou sklářský průmysl (aditiva do skla) a ostatní průmyslová odvětví. Spalováním hnědého uhlí se arsen dostává do ovzduší ve formě aerosolu. Do jisté míry je zdrojem arsenu v životním prostředí i spalování biomasy s obsahem arsenu a kouření tabáku. Atmosférickou depozicí se arsen dostává do ostatních složek životního prostředí (Vojtěšek a kol. 2009).

Anorganický arsen a fosfor mají podobné chemické vlastnosti. Stopové množství arsenu se často vyskytuje ve fosfátových minerálech, které se používají při výrobě hnojiv. Arsen z pesticidů a herbicidů se může hromadit v zemědělských půdách díky jejich dlouhodobému užívání (Henke a Atwood 2009). Oblasti kde byly tyto látky používány, jsou často kontaminované arsenem i v podzemních a povrchových vodách (Smedley a Kinniburgh 2002).

Antropogenním zdrojem arsenu ve vodách jsou velmi často odpadní vody z metalurgie polymetalických kovů, povrchové úpravy kovů, kožedělného a textilního průmyslu. Významné množství arsenu v odpadních vodách může pocházet ze zbytků pesticidů, fosforečnanových detergentů nebo z průmyslových odpadních vod. Arsen je obsažen v některých důlních vodách a v odpadních

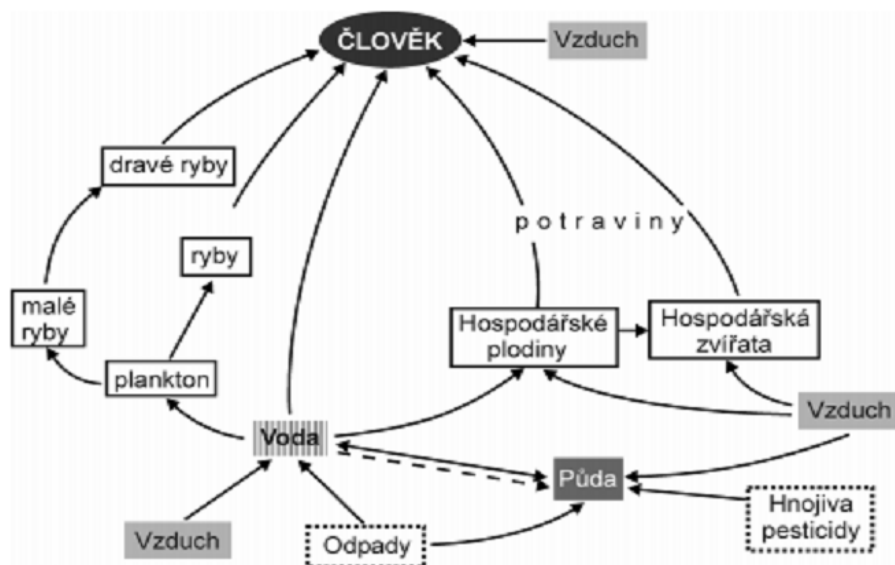
vodách z prádelen. Hlušiny z těžby kovů obsahují významná množství arsenu, který může být vyluhován do okolního prostředí (Smedley a Kinniburgh 2002).

Arsen mohou obsahovat i některé výrobky denní potřeby a spotřeby: barviva, mýdla, léky, pitná voda, potraviny (např. mořské produkty, maso...), výrobky z kůže (Greenwood a Earnshaw 1993).

Tabulka č. 3: Zdroje těžkých kovů v prostředí (Synáčková 1996)

Výroba	Výskyt sloučenin prvků
Těžba a zpracování rud	Fe, Zn, Hg, As , Se, Mn, Cu
Hutní průmysl	Al, Cr, Mo, Ni, Pb, V
Těžba uhlí	Fe, Al, Mn, Ni, Cu, Zn
Strojírenství, povrchová úprava kovů	Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Fe, Al
Chemický průmysl	Fe, Al, , Mo, Zn, Pb, Cu, Hg
Barvy, laky, pigmenty	Hg, Cr, Pb, Zn, Ti, Al, Ba, Sr, Mn, As , Se
Buničina, papír	Ti, Zn, Al, Ba, Sr, Cr, Se, Cu, Hg
Zpracování kůží	Cr, Al, Fe
Textilní průmysl	Cu, Zn, Cr, Pb, Fe
Polygrafický průmysl	Zn, Cr, Ni, Cd, Cu, Pb
Elektrotechnika	Ag, Se, Ge, Mn, Ni, Pb, Cu, Hg
Spalování uhlí	As , Ti, Al, Ge, Se, Hg, Be, Zn, Mo, Ni, Pb, Sn
Spalování topných olejů	V, Ni, Zn, Cu
Pesticidy	Hg, As , Cu, Zn, Ba
Průmyslová hnojiva	Cd, Mn, As
Automobilová doprava	Pb
Koroze potrubí	Fe, Pb, Cu, Ni, Zn, Cr

Možné vstupy toxických látek, včetně arsenu, a jejich koloběh v životním prostředí je zobrazen na obrázku č. 2.



Obrázek č. 2: Zdroje toxických látek pro lidský organismus (Havránková a kol. 2007)

4. VODA V PŘÍRODNÍM PROSTŘEDÍ

Jednou z hlavních a nezastupitelných složek v životním prostředí je hydrosféra. Voda je, vedle energie slunečního záření, pro život na planetě zcela nezastupitelná. Z biologického hlediska je nepostradatelná pro tvorbu biomasy. Voda je na Zemi v neustálém pohybu a to ve všech skupenstvích.

Vodním zdrojem rozumíme povrchové nebo podzemní vody využívané nebo v budoucnu využitelné člověkem. Jejich čerpání je možné buď přirozeným způsobem z přírodních rezervoárů, nebo s pomocí vybudovaných technických zařízení sloužících k akumulaci a odběru (např. studny, nádrže). V důsledku mnohostranného antropogenního využití vody je tato základní složka životního prostředí narušována, tj. znečišťována.

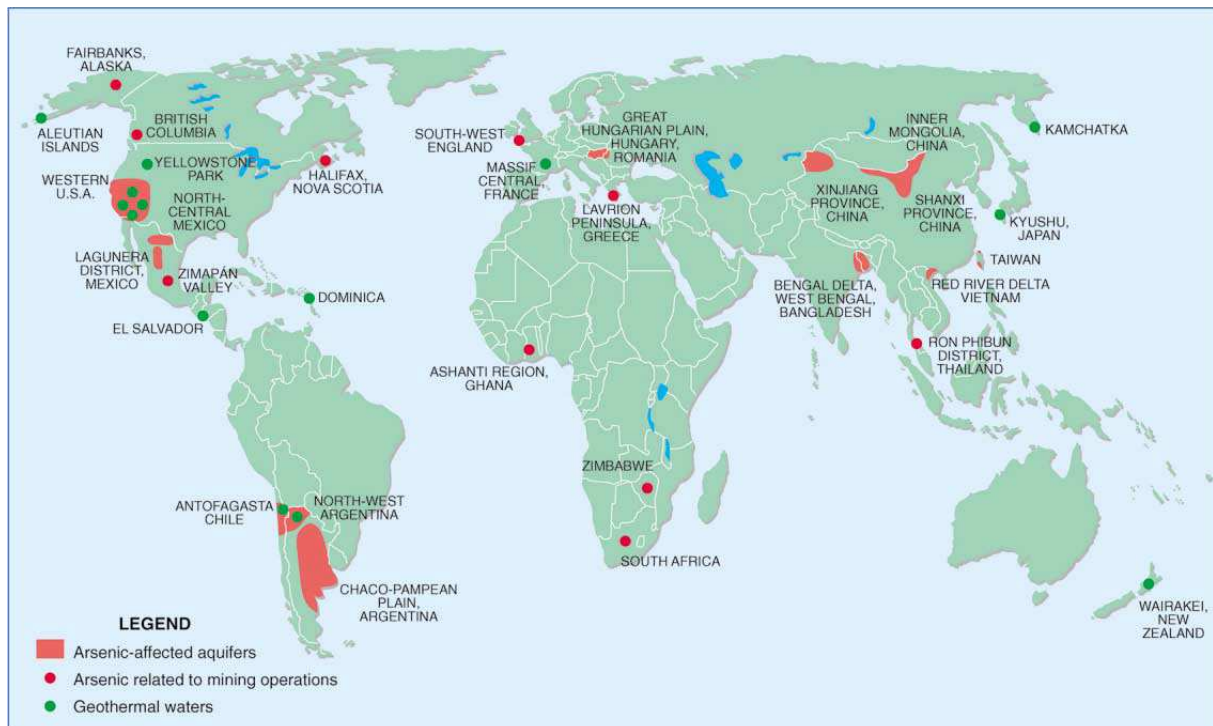
V přírodních vodách jsou toxické prvky přítomny v různých formách. Jednak v rozpuštěné fázi, jednak vázané v suspendovaných tuhých částicích. Mezi oběma fázemi se ustavuje rovnováha závislá na chemických vlastnostech média (zejména na pH, koncentraci aniontů, rozpuštěných plynů a dalších látek). Tyto procesy často vedou u kontaminovaných vod k přechodu iontů těžkých kovů a polokovů do tuhých částic postupnou precipitací a adsorpcí, takže o úhrnném a dlouhodobém zatížení dané části hydrosféry vypovídá spíše koncentrace prvků v sedimentech. Nicméně i přechodně zvýšený obsah toxických stopových prvků v důsledku jednorázového znečištění, může vést k poškození či úhynu vodních organismů (Koplík a kol. 1997).

4. 1. Distribuce arsenu v přírodních vodách

V přírodě je arsen obsažen v malém množství a je běžnou součástí podzemních i povrchových vod. Koncentrace se pohybují v jednotkách až desítkách $\mu\text{g/l}$. Koncentrace arsenu v přirozeném pozadí podzemních vod je cca $5 \mu\text{g/l}$ (Pitter 1999).

V mořské vodě se koncentrace arsenu pohybují od $0,09 \mu\text{g/l}$ do $24 \mu\text{g/l}$ (průměrná hodnota je $1,5 \mu\text{g/l}$) a ve sladkých vodách mezi $0,15 \mu\text{g/l}$ a $0,45 \mu\text{g/l}$ (Bissen a Frimmel 2003).

V literatuře je uváděna oblast termálních pramenů Vaitapu (Reporea, Nový Zéland), kde byla zaznamenána endemická otrava mlékem krav napájených z minerálních pramenů v této oblasti (Bencko a kol. 1995). (viz. obrázek č. 3)



Obrázek č. 3 : Místa výskytu geotermálních vod na světě (Smedley a Kinniburgh 2002)

Ve většině oblastí je koncentrace arsenu v podzemních vodách nižší než 10 $\mu\text{g/l}$. Existují však i oblasti s extrémně vysokými koncentracemi As v podzemních vodách. V přírodních podmínkách se hodnoty koncentrací pohybují cca od 0,5 do 5000 $\mu\text{g/l}$. Podzemní vody s vysokými koncentracemi kontaminace arsenem nalezneme například v Argentině, Bangladéši, Chile, Číně, Indii, Mexiku, Rumunsku, Taiwanu, Vietnamu a na mnoha místech USA (viz. obrázek č. 3). Vyšší koncentrace arsenu nalezneme častěji ve vodách podzemních než v povrchových. Zvýšené koncentrace se připisují spolupůsobením geofyzikálních, geochemických a biologických procesů (Smedley a Kinniburgh 2002).

K nejčastější otravě arsenem dochází v Bangladéši. V současné době zde přibližně 57 milionů lidí pije vodu, která přesahuje limity koncentrace arsenu pro pitnou vodu. Lidé v této oblasti přijímají arsen jak v pitné vodě, tak z potravy kterou v kontaminované vodě vaří, používají ji k zavlažování půdy a dalším potřebám spojených s užíváním vody (Charlet a Polya 2006).

5. ARSEN V PŘÍRODNÍCH VODÁCH ČR

5. 1. Hydrogeologie

Geologie České republiky je pestrá. Více než 2/3 země jsou tvořeny různými krystalickými komplexy. Na stavbě Českého masivu se podílejí především horniny prekambriického a paleozoického stáří. Významným hydrogeologickým prvkem v Českém masivu je Česká křídová tabule, která je složena zejména z pískovců, vápenitých pískovců a slínovců. Tyto horniny jsou na rozdíl od krystalických komplexů dobře propustné a z velké části zvodnělé. Křídovými pískovci protéká podzemní voda poměrně rychle. V hlubších vrstvách stagnuje. Ve svrchní zóně vznikají vody chemickou interakcí mezi infiltrovanou atmosférickou vodou a horninou. Ve spodní zóně má část vod nebo alespoň jejich mineralizace původ fosilní (České středohoří, Doupovské hory, čedičové horniny v křídové tabuli) (Vencelides a kol. 2010).

Povrchové a podzemní litogenní vody obsahují stopová množství rozpuštěných kovů. Jejich obvyklé a maximální koncentrace jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4: Obvyklé a maximální koncentrace stopových kovů v litogenních vodách (Pačes, Tomáš 2011)

	Litogenní vody		
	Obvyklé koncentrace v neutrálních vodách µg/l		Maximální zjištěné koncentrace µg/l
	Oxidační zóna	Hlubinná zóna	
Cu	2–8	1–5	1000
Zn	5–50	2–20	2500
Pb	1–8	0,5–4	250
Au	0,02–0,1		5
Ag	0,1–0,6	0,05–0,5	50
Mo	1–5	0,1–2	8000
W	0,1–0,5		200
Hg	0,5–3		20
Cd	0,1–0,5	0,05–0,5	260
As	1–5	0,1–2	100
Sb	1–10	0,5–5	1300
Ni	0,8–5	0,5–2	200
Co	0,5–3	0,2–10	68
Cr	5–10	0,1–5	600
Mn	10–50	20–400	15000
V	0,5–2	0,5–1,5	90
U	0,5–5	0,3–3	500
Ge	0,3–0,8		30

5. 2. Povrchová voda

Povrchové vody tvoří vody povrchově odtékající nebo zadržované v přirozených nebo umělých nádržích. Problém čistoty povrchových vod je velmi složitý. Stav vod podmiňuje skutečnost, že povrchové vody jsou současně vodním zdrojem i recipientem, tj. vodním útvarem, který přijímá vodu z určitého povodí nebo vodu odpadní (Synáčková 1996).

Povrchové vody se podle jakosti zařazují do 5 tříd (podle normy ČSN 75 7221):

- I. Třída – velmi čistá voda,
- II. Třída – čistá voda,
- III. Třída – znečištěná voda,
- IV. Třída – silně znečištěná voda,
- V. třída – velmi silně znečištěná voda.

Tyto třídy charakterizují různé obsahy arsenu. Tyto obsahy jsou znázorněny v tabulce č. 5. Z této tabulky vyplývá, že anomální koncentrace arsenu, jak jsem si ji definovala v úvodu, odpovídají třídě IV (silně znečištěná voda) a V (velmi silně znečištěná voda).

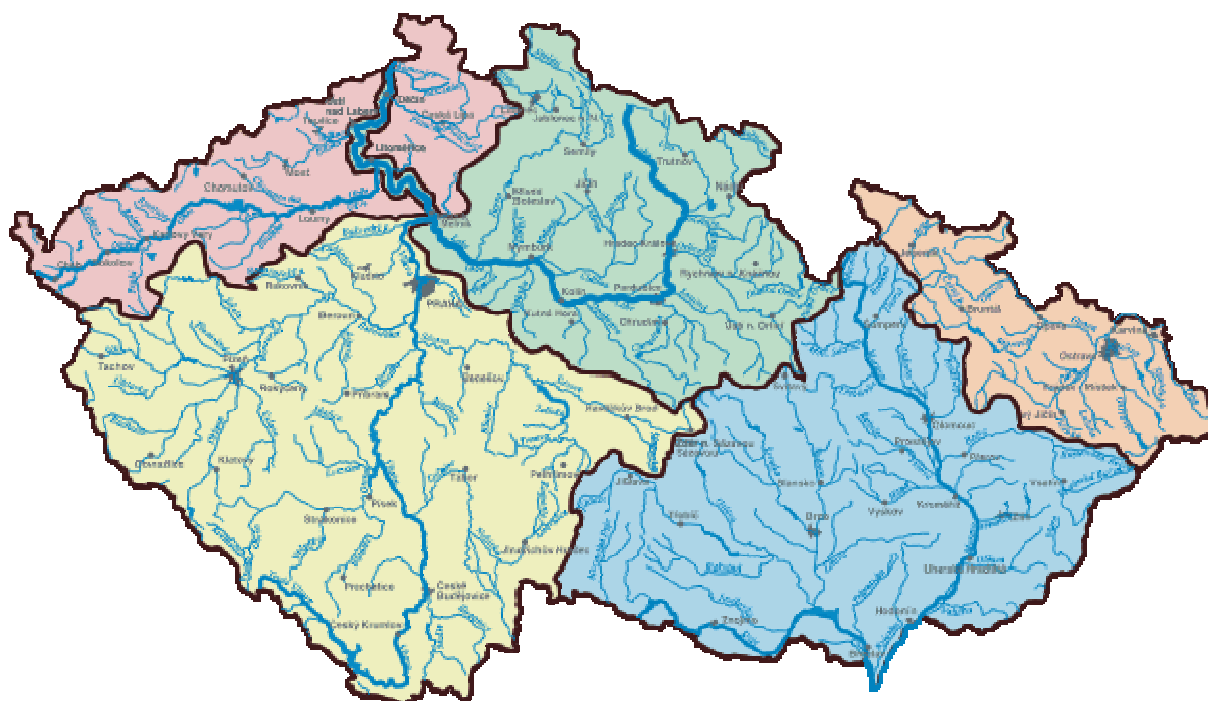
Tabulka č. 5: Třídy jakosti vody a jejich mezní hodnoty arsenu (Synáčková 1996)

	Arsen
Symbol	As
Jednotka	µg/l
I. Třída	<10
II. Třída	<20
III. Třída	<50
IV. Třída	<100
V. třída	>100

Problematika jakosti vod je zkoumána a koncepce jejího řešení je postupně rozvíjena již od 50. let 20. stol. Kvalita povrchové vody je od šedesátých let pravidelně monitorována v ustálené síti kontrolních profilů a její stav je periodicky vyhodnocován. Kritický stav čistoty vody v některých oblastech není tedy způsoben dlouhodobou neznalostí stavu, ale spíše podceňováním skutečného významu a společenského dosahu.

5. 2. 1. Koncentrace arsenu v povrchových vodách ČR

V tabulkách č. 6-13 jsou uvedeny nejvyšší hodnoty koncentrací arsenu v povrchových vodách, které byly naměřeny během let 2007-2011. Jediná relevantní data o distribuci arsenu ve vodách celé ČR pochází z databáze Českého hydrometeorologického ústavu. Ostatní práce sledují distribuci arsenu jen v lokálních územích. V každém roce bylo analyzováno 10 - 15 vzorků povrchové vody. Tabulky jsou rozděleny podle povodí v České republice. Obrázek č. 4 ilustruje jednotlivá povodí v rámci ČR. U jednotlivých povodí jsou uvedeny hlavní antropogenní znečišťovatelé (průmyslové podniky), které produkují značné množství imisí arsenu. Uvedené hodnoty imisí jsou z roku 2010.



Obrázek č. 4: Povodí v ČR (Ministerstvo zemědělství ČR)

A) Povodí Berounky

Berounka vzniká v Plzni spojením čtyř řek, které odvodňují plzeňskou kotlinu-Mže, Radbuza, Úhlava a Úslava. Tyto řeky pramení v pohořích Český les a Šumava. Hlavními přítoky jsou Třemešná, Klabava, Litavka, Klíčava a Loděnice. Berounka protéká plzeňskou kotlinou a následně přírodním parkem Horní Berounka. Tok pokračuje přes Beroun a ústí do řeky Vltavy.

Povodí Berounky se rozkládá ve středočeské oblasti Českého masívu. Oblast je tvořena sedimentárními nebo slabě metamorfovanými horninami (jílové břidlice, slepence, jílovce, droby). Nejstarší barrandienskými horninami jsou jílovce, prachovce a slepence, které se nacházejí v oblasti Brd, brdských Hřebenů a ve Skryjsko-týřovickém kambriu (mezi Rokycany a Křivoklátem).

Tabulka č. 6: Koncentrace arsenu v povodí Berounky

Profil	Tok	Koncentrace arsenu $\mu\text{g/l}^*$	Vodní útvar
		2007-2011	
0,3 km V od Olešné	Olešná	7,4	Lišanský potok po ústí do toku Rakovnický potok
Beroun	Litavka	15	Litavka po ústí do toku Berounka
Bohutín	Litavka	4,2	Litavka po soutok s tokem Chumava
	Božkovský potok	8,3	Úslava po ústí do toku Berounka
Brod	Příbramský potok	10	Litavka po soutok s tokem Chumava
Chaloupky	Točnický potok	6,6	Točnický potok po soutok s tokem Měcholupský potok
Domažlise směr Kdyně	Záhořanský potok	10	Záhořanský potok po ústí do toku Zubřina
Libomyšl	Litavka	27	Litavka po soutok s tokem Chumava
Tojice	Viska	14	Myslívký potok po ústí do toku Úslava
Trhové Dušníky	Příbramský potok	16	Litavka po soutok s tokem Chumava
Trhové Dušníky	Litavka	43	Litavka po soutok s tokem Chumava
Chotěšov	Dnešický potok	15	Radbuza po vzdutí nádrže České údolí
Točnick	Točnický potok	43	Točnický potok po ústí do toku Úhlava
Čenkov	Litavka	33	Litavka po soutok s tokem Chumava

* Nejvyšší koncentrace arsenu v povrchových vodách během let 2007-2011

Z hodnot koncentrace arsenu v povrchových vodách tohoto povodí vyplývá, že kvalita vod spadá do třídy velmi čistá voda a čistá voda. Koncentrace arsenu jsou téměř vždy nižší než 20 $\mu\text{g/l}$. V několika případech byla nejvyšší zaznamenaná koncentrace arsenu vyšší a spadala do třídy znečištěná voda. Zvýšené koncentrace arsenu ve vodách evidentně nepochází z přírodních zdrojů. Znečištění je způsobeno průmyslovými zdroji, zejména podniky zaměřující se na zpracování kovů. Z databáze o hlavních znečišťovatelných ovzduší v povodí Berounky (www.chmi.cz) vyplývá, že hlavním producentem arsenu jsou Kovohutě Příbram nástupnická a.s. (0,000101 t/rok), Alpin Generation (CZ) s.r.o. - Elektrárna Kladno (0,002972 t/rok), Saint - Gobain Pam CZ s.r.o. (0,000290 t/rok), Sklárna Heřmanova Huť a.s. (0,000120 t/rok), Plzeňská energetika a.s. - Teplárna ELÚ III (0,001342 t/rok), T.O.P. EKO spol. s.r.o. (0,000172 t/rok), HASIT Šumavské vápence a omítkárny a.s. (0,000063 t/rok) (www.chmi.cz).

B) Povodí Ohře

Ohře pramení v Bavorsku pod horou Schneeberg v přírodní rezervaci Smrčiny. Do Čech vstupuje u Pomezí nad Ohří na Chebsku, kde byla vytvořena vodní nádrž Skalka. Pod Skalkou Ohře protéká částí Chebu a poté pokračuje do Kyšperka nad Ohří, Karlových Varů až na hranici Doupovských hor. Následně přes Kyselku kolem Pernštejna do Klášterce nad Ohří a poté pokračuje na Kadaň. Tam je přehrazena a vytváří druhou přehradu Nechanice. Protéká Českým Středohořím, městy Žatec, Louny, Libochovice až do Litoměřic, kde ústí do Labe.

Povodí se nachází v Saxothuringiku (oblast sasko-duryňská). Převážná část jednotky leží v Německu. Do České republiky zasahuje jen v prostoru Chebska, Krušných hor, nejsevernější části Českého lesa a malé části Slavkovského lesa. Horninové podloží tvoří slabě metamorfované (fylity, kvarcity) i silně metamorfované horniny (svory, pararuly), vesměs paleozoického stáří. V oblasti se nachází velké množství rudních ložisek (např. rudní revír Jáchymov).

Tabulka č. 7: Koncentrace arsenu v povodí řeky Ohře

Profil	Tok	Koncentrace arsenu $\mu\text{g/l}^*$	Vodní útvar
		2007-2011	
Blatno-nádrž	Podvinecký potok	2,8	Blšanka po soutok s tokem Očihovecký potok
Březenská Chomutov	Podkrušnohorský přivaděč	3	Ploučnice po ústí do toku Labe
Chlumec	Ždírnický potok	3,2	Ždírnický potok po soutok s tokem Zalužanský p.
Chánov	Bílina	15,3	Bílina po soutok s tokem Bouřlivec
Dvory	Chodovský potok	78,1	Chodovský potok po ústí do toku Ohře
Hostomice	Bouřlivec	8,1	Bouřlivec po ústí do toku Bílina
Karlovy Vary	Teplá	5,4	Ohře po soutok s tokem Bystřice
Kozlíky	Teplický potok	52,3	Bílina po soutok s tokem Ždírnický potok
Krásný jez	Havraní potok	21,6	Teplá po ústí do toku Ohře
Kyselka	Bílina	12,1	Bílina po soutok s tokem Bouřlivec
Linec	Mlýnecký potok	3,8	Blšanka po soutok s tokem Očihovecký potok
Loket	Stoka	13,8	Ohře po soutok s tokem Teplá

* Nejvyšší koncentrace arsenu v povrchových vodách během let 2007-2011

Koncentrace arsenu v povrchových vodách povodí Ohře nejsou nijak vysoké. Kvalita povrchových vod spadá díky nízkým koncentracím, které jsou nižší než $20 \mu\text{g/l}$, do třídy velmi čistá voda a čistá voda. Havraní potok svou koncentrací arsenu $21,6 \mu\text{g/l}$ v jednom místě překračoval mezní hodnotu čisté vody a dle jakosti analyzovaného vzorku se řadí se do znečištěných vod. Chodovský potok s koncentrací arsenu v povrchové vodě $78,1 \mu\text{g/l}$ a Teplický potok s koncentrací $52,3 \mu\text{g/l}$ se řadí do

třídy silně znečištěná voda (< 100 µg/l) (www.eagri.cz). Vyšší koncentrace arsenu ve vodách mohou pocházet jednak z přírodních zdrojů (uhelné pánve) a jednak mohou být způsobené antropogenní činností. Vysoké znečištění těžkými kovy, zejména arsenem bylo monitorováno v plaveninách na řece Bílině v Ústí nad Labem (až 448 mg/kg). Rizikové znečištění arsenem až 457 mg/kg vykazovaly také plaveniny na Ohři (www.voda.chmi.cz). Z databáze Českého hydrometeorologického ústavu o znečišťovateli ovzduší vyplývá, že hlavními producenty jsou ČEZ a.s. - Elektrárna Tisová (0,053738 t/rok), Manufacturing CZ a.s. - závod Nové Sedlo (0,045636 t/rok), Sokolovská uhelná a.s. (0,098594 t/rok), ACTHERM spol. s.r.o. (0,010888 t/rok), Nematik CZ s.r.o. (0,004500 t/rok), UNITED ENERGY a.s. (0,055531 t/rok), AGC Flat Glass Czech a.s. (0,034485 t/rok), Lafarge Cement a.s. (0,024000 t/rok), Lovochemie a.s. Lovosice (0,019000 t/rok) (www.chmi.cz).

C) Povodí Labe

Labe pramení v Krkonoších na severu Čech. Labe protéká Krkonošským podhůřím do Jaroměře a dále pak přes Hradec Králové, Pardubice, Kolín, Poděbrady, Mělník a Litoměřice. Následně protéká Českým Středohořím přes město Ústí nad Labem a Děčín. Dále pak teče do Německa a ústí do Severního moře.

Povodí Labe se nachází v části Českého masívu, Lugiku, kde pramení. Povodí Labe protéká Českou křídovou tabulí. Lugikum se skládá ze silně metamorfovaných hornin (pararuly a ortoruly), místy je tvořeno svory a fylity.

Tabulka č. 8: Koncentrace arsenu v povodí Labe

Profil	Tok	Koncentrace arsenu $\mu\text{g/l}^*$	Vodní útvar
		2007-2011	
0,2 km SZ od obce Horní Lužany	Studénka	6	Úlibický potok po ústí do toku Cidlina
0,3 km Z od Neškaredic	Křenovka	11	Klejnárka po ústí do toku Labe
0,4 km J od obce Zákřaví	Janovský potok	3	Metuje po ústí do toku Labe
0,4 km V od obce Holice	Ředický potok	7	Ředický potok po ústí do toku Labe
0,5 km SZ od obce Čištěves	LP č. 5 Bystřice	9	Bytřice po soutok s tokem Bašnický potok
0,5 km Rváčov-Hlinsko	Vítanec	105	Chrudimka po soutok s tokem Slubice
1,5 km V od obce Zelenecká Lhota	Bukovina	5	Hasinský potok po ústí do toku Mrlina
Běloves	Metuje	15	Metuje po ústí do toku Labe
JZ okraj obce Slepotic	Kolajka	10	Loučná po ústí do toku Labe
Nové Zámky	Mrlina	7	Mrlina po soutok s tokem Štítarský potok
Nymburk	Labe	8	Labe po soutok s tokem Jizera
Písty	Výrovka	10	Výrovka po ústí do toku Labe
Starostím	Stěnava	9	Stěnava po státní hranici
Starý Kolín	Klejnarka	26	Klejnarka po ústí do toku Labe
Vyšehořovice	Výmola	10	Výmola po ústí do toku Labe
Z okraj obce Libuň	Libuňka	13	Libuňka po ústí do toku Jizera
před ústím do nádrže	Vrchlice	18	Vrchlice po vzduť nádrže Vrchlice

* Nejvyšší koncentrace arsenu v povrchových vodách během let 2007-2011

Koncentrace arsenu v povrchových vodách povodí Labe nepřesahují 20 $\mu\text{g/l}$ a řadí se podle jakosti do velmi čisté a čisté vody. Vyjma je Vítanec a Klejnarka. Vítanec se svou nejvyšší koncentrací arsenu ve vodě 105 $\mu\text{g/l}$ může náležet do jakostní V. třídy, což znamená velmi silně znečištěnou vodu. Znečištění vody je pravděpodobně zapříčiněno antropogenní činností. Koncentrace arsenu ve vodě Klejnarky je nižší (26 $\mu\text{g/l}$) než ve Vítanci a řadí se do třídy znečištěná voda. Sedimenty Klejnárky jsou charakteristické vysokým obsahem arsenu 122 mg/kg (Vodohospodářská bilance 2010), který má za následek i zvýšené koncentrace arsenu ve vodě. Kontaminace sedimentů arsenem je způsobena odtokem silně kontaminovaných důlních vod v lokalitě Kaňk u Kutné Hory a historickou důlní aktivitou v této oblasti. Průmyslové podniky produkující nejvýraznější imise arsenu v povodí Labe jsou následující: Preciosa a.s. - závod 6 - provoz Prysk (0,000179 t/rok), Termizo a.s. - spalovna komunálních odpadů (0,001694 t/rok), Lucas Varity s.r.o. Jablonec nad Nisou (0,001400 t/rok), PAS Jablonec a.s. (0,009543 t/rok), Ronal CR s.r.o. (0,000900 t/rok), ČEZ a.s. - Elektrárna Poříčí (0,093833 t/rok), KRPA PAPER a.s. (0,003066 t/rok), KA Contracting ČR s.r.o. - Teplárna Náchod (0,012432 t/rok), Cukrovary a lihovary TTD a.s. České Meziříčí (0,002883 t/rok), Elektrárna Opatovice a.s. (0,747148 t/rok), ČKD Kutná Hora a.s. (0,047000 t/rok) (www.chmi.cz).

D) Povodí Vltavy

Pramen nejdelší české řeky Vltavy se nachází v pohraničním pásmu Šumavy. Vltava zde pramení jako Černý potok. Poté teče jako Teplá Vltava severně k Mrtvému luhu, kde se spojuje s druhým hlavním pramenným tokem Studenou Vltavou a tím vzniká řeka Vltava. Mezi největší přítoky patří Lužnice, Otava, Sázava, Berounka.

Povodí se nachází v Moldanubiku, nejstarší jednotce Českého masivu. Základními horninami moldanubika jsou pararuly, které zcela převažují, a granulity, amfibolity, serpentinity, ortoruly.

1) Povodí dolní Vltavy

Tabulka č. 9: Koncentrace arsenu v povodí dolní Vltavy

Profil	Tok	Koncentrace arsenu $\mu\text{g/l}^*$	Vodní útvar
1km Z od Plchova	Bakovský potok	13	Bakovský potok po soutok s tokem Zlonický potok
Zlatý potok-Kamenná	Zlatý potok	6,7	Šlapanka po ústí do toku Sázava
Mezi Kocábou a Osnicí u silnice	Botič	11	Botič po ústí do toku Vltava
Při S okraji Jesenice	Jesenický potok	4,1	Botič po ústí do toku Vltava
Za silničním mostem v Bakově	Bakovský potok	4,3	Bakovský potok po soutok s tokem Zlonický potok
Štěchovice	Kocába	14	Kocába po ústí do toku Vltava

* Nejvyšší koncentrace arsenu v povrchových vodách během let 2007-2011

Koncentrace arsenu v povrchových vodách v povodí dolní Vltavy nepřesahuje hodnotu 20 $\mu\text{g/l}$. Tyto vody spadají do jakostní třídy velmi čistá a čistá voda. Hlavními znečišťovateli ovzduší v tomto povodí podle Českého hydrometeorologického ústavu jsou Kavalierglass a.s. Sázava (0,001272 t/rok), Sellier & Bellot a.s. (0,000021 t/rok), ČEZ a.s. Elektrárna Mělník (0,282702 t/rok), Energotrans, a.s.- Elektrárna Mělník (0,112212), SPOLANA a.s. (0,001000 t/rok), Synthos Kralupy, a.s. (0,002633 t/rok), Synthos Innovation s.r.o. - Kralupy nad Vltavou (0,000600 t/rok), Teplárna Malešice (0,026761 t/rok), Teplárna Michle (0,00015 t/rok), Sita CZ a.s. - spalovna Motol (0,000301 t/rok), Pražské služby a.s. závod 14 - zpracování odpadu Malešice (0,0041 t/rok) (www.chmi.cz).

2) Povodí horní Vltavy

Tabulka č. 10: Koncentrace arsenu v povodí horní Vltavy

Profil	Tok	Koncentrace arsenu $\mu\text{g/l}^*$	Vodní útvar
Košínský potok-Košín	Košínský potok	13	Košínský potok po ústí do toku Lužnice
Ostrovec	Lomnice	16	Lomnice po soutok s tokem Skalice
Smutná-Bechyně nad	Smutná	20	Smutná po ústí do toku Lužnice
Varvařov	Skalice	10	Skalice po ústí do toku Lomnice
Soběslav-Veselí N. Lužnicí	Dírenský potok	6,7	Dírenský potok po ústí do toku Lužnice
U obce Lučkovice	Kostratecký potok	6,6	Kostratecký potok po ústí do toku Lomnice
Obec Stará Dobev	Brložský potok	7,1	Brložský potok po ústí do toku Otava
Obec Katovice	Novosedelský potok	10	Otava po soutok s tokem Volyňka
Obec Květov	Hrejkovický potok	48	Hrejkovický potok po vzdutí nádrže Orlík
Pod objektem sádek v Zářechí u Horažďovic	Mlýnský potok	39	Mlýnský potok po ústí do toku náhon z Otavy
Pod obcí Dvorec	Dubský potok	16	Dubský potok po ústí do toku Blanice
Za obcí Mačice	Mačický potok	13	Novosedelský potok po ústí do toku Otava

* Nejvyšší koncentrace arsenu v povrchových vodách během let 2007-2011

Koncentrace arsenu v povrchových vodách v povodí horní Vltavy nepřesahují hodnotu 20 $\mu\text{g/l}$ a spadají tedy do jakostní třídy velmi čisté a čisté vody. To se ale netýká Hrejkovického a Mlýnského potoka. Hrejkovický potok s koncentrací arsenu ve vodě až 48 $\mu\text{g/l}$ se společně s Mlýnským potokem, jehož koncentrace arsenu je až 39 $\mu\text{g/l}$, může řadit mezi znečištěné vody. Z databáze Českého hydrometeorologického ústavu o znečišťovateli ovzduší vyplývá, že hlavním producentem je Teplárna České Budějovice a.s. (0,008049 t/rok), RUMPOLD s.r.o. - Spalovna Strakonice (0,000130 t/rok), Teplárna Strakonice a.s. (0,006717 t/rok), AES Bohemia spol. s.r.o. (0,017000 t/rok), Teplárna Tábor a.s. (0,025707 t/rok) (www.chmi.cz).

E) Povodí Dyje

Moravská Dyje pramení nedaleko obce Panenská Rozsídka, pár kilometrů od Třebště na Jihlavsku v Českomoravské vrchovině. Dyje má několik hlavních přítoků, z nichž nejvýznamnější jsou řeky Svratka a Jihlava. V horní části byla na Dyji vybudována přehradní nádrž Vranov. Dyje protéká Dyjsko-svrateckým úvalem, kde se stéká s řekami Svratka a Jihlava. Dnes je v místě soutoku řek nádrž Nové Mlýny. Pod Novými Mlýny Dyje protéká městem Břeclav a pak se vlévá do řeky Moravy.

Ve Vídeňské pánvi se usadil sled třetihorních hornin. Součástí neogénu Vídeňské pánve je i kvartérní sedimentární výplň Dolnomoravského úvalu.

Tabulka č. 11: Koncentrace arsenu v povodí řeky Dyje

Profil	Tok	Koncentrace arsenu $\mu\text{g/l}^*$	Vodní útvar
		2007-2011	
Hubenov-odtok	Maršovský potok	5,91	Jihlava po soutok s tokem Jihlávka
Podivín	Trkmanka	4,8	Trkmanka po ústí do toku Dyje
	Spálený potok	4,94	Spálený potok po ústí do toku Trkmanka
Šakvice	Olbramovický potok	7,6	Olbramovický potok po ústí do toku Mlýnský náhon
	Štinkovka	5,48	Dyje po hráz nádrže Nové Mlýny III.-dolní
	Beranovský potok	6,92	Jihlava po soutok s tokem Brtnice
	Olešná	4,74	Rokytná po ústí do toku Jihlava
	Rouchovanka	6,84	Rouchovanka po soutok s tokem Račický potok
	Markovka	7,99	Jihlava po vzduť nádrže Dalešice
	Prušánka	5,75	Kyjovka po ústí do toku Dyje
	Tvaroženský potok	7,56	Roketnice po ústí do toku Říčka
	Nedveka	12,8	Nedveka po ústí do toku Jevišovka
	Polomina	8,08	Polomina po ústí Oslava

* Nejvyšší koncentrace arsenu v povrchových vodách během let 2007-2011

Koncentrace arsenu v povrchových vodách povodí Dyje jsou v porovnání s povodím Berounky, Ohře, Labe, Moravy, dolní a horní Vltavy velmi nízké. Jediným tokem v tomto povodí, jehož koncentrace arsenu ve vodě překročily hodnotu 10 $\mu\text{g/l}$, je Nedveka, která spadá do třídy čistá voda. Ostatní toky spadají s ohledem na obsah As do jakostní třídy velmi čistá voda. Z databáze o hlavních znečišťovatelných ovzduší (www.chmi.cz) vyplývá, že producentem arsenu jsou zejména DSB EURO s.r.o. (0,000577 t/rok), Slévárny Moravia a.s. (0,000921 t/rok), Feramo metallum International s.r.o. Brno (0,000579 t/rok), REMET spol. s.r.o. (0,002300 t/rok), Spalovna a komunální odpady Brno a.s. (0,000281 t/rok), CARMEUSE Czech Republic s.r.o. (0,000600 t/rok), Českomoravský cement a.s. (0,001300 t/rok), ČEZ a.s. - Elektrárna Hodonín (0,005494 t/rok), Vetropack Moravia Glass a.s. Kyjov (0,019885 t/rok), Fosfa a.s. (0,001000 t/rok) (www.chmi.cz).

F) Povodí Moravy

Řeka Morava pramení pod Kralickým Sněžníkem a protéká přes Mohelnickou brázdou nejprve Hornomoravským a poté Dolnomoravským úvalem. Prvním větším sídlem ležícím přímo na řece Moravě, je Litovel. Níže po toku leží na řece největší moravské město Olomouc. Nedaleko Troubek u Přerova se do Moravy vlévá její největší přítok, řeka Bečva. V místě, kde řeka Morava opouští území naší republiky, se stéká s řekou Dyjí. Hydrologicky náleží povodí Moravy k úmoří Černého moře.

Z hlediska geologie zasahuje povodí řeky Moravy do obou základních geologických jednotek na území České republiky, do Českého masivu a Západních Karpat. Pramen řeky Moravy a její horní tok zasahují do lužické oblasti, přesněji do orlicko-sněžnického krystalinika a poté do krystalinika zábřežského. Orlicko-sněžnický krystalinikum je tvořeno metamorfovanými horninami. Převažují zde různé typy pararul, ortorul a migmatitů s menšími vložkami amfibolitů, granulitů a eklogitů. Zábřežský krystalinikum tvoří metamorfované horniny (metadroby, svory, pararuly a amfibolity). Řeka Morava pokračuje v toku moravsko-slezskou oblastí, kde protéká kulmem Zábřežské vrchoviny, který tvoří střídající se sled drob, břidlic, prachovců a místy také slepenců. V oblasti Západních Karpat řeka protéká Hornomoravským a Dolnomoravským úvalem vyplněným neogenními sedimenty převážně mořského původu - vápnité jíly, písky a místy šterky.

Tabulka č. 12: Koncentrace arsenu v povodí řeky Moravy

Profil	Tok	Koncentrace arsenu $\mu\text{g/l}^*$	Vodní útvar
		2007-2011	
Bezměrov	Haná	3	po ústí do toku Morava
Blatec	Morava	2,8	po soutoku s tokem Bečva
Kunovice	Olšava	2,3	po ústí do toku Morava
Lanžhot	Morava	1,53	po státní hranici
Loštice	Třebůvka	2,2	po ústí do toku Morava
Nedakonice	Morava	2,5	po soutok s tokem Radějovka
Otrokovice	Dřevnice	2,6	po ústí do toku Morava
Polkovice	Valová	3,1	po ústí do toku Morava
Pňovice	Oskava	1,7	po ústí do toku Morava
Raškov	Morava	2,97	po soutok s tokem Desná
Rájec	Moravská Sázava	2	po ústí do toku Morava
Spytihněv	Morava	1,04	po soutoku s tokem Olšava
Sudkov	Desná	1,8	po ústí do toku Morava
Tovačov	Morava	1,14	po soutok s tokem Bečva
Tovačov	Blata	2,98	po ústí do toku Morava
Černovír	Morava	2,1	po soutok s tokem Bečva
Ústí do Moravy	Široký potok	121	Morava po soutok s tokem Dřevnice
Třebářov	Třebářovský potok	10,7	Moravská Sázava po ústí do toku Morava

* Nejvyšší koncentrace arsenu v povrchových vodách během let 2007-2011

Z nejvyšších zjištěných hodnot koncentrace arsenu v povrchových vodách v tomto povodí vyplývá, že kvalita vod spadá do třídy velmi čistá voda. Koncentrace arsenu ve vodě jsou téměř vždy nižší než 10 µg/l. V případě Třebářovského potoka koncentrace arsenu ve vodě mírně přesahuje hodnotu 10 µg/l a spadá v tomto případě do třídy čistá voda. Anomální koncentraci arsenu ve vodě 121 µg/l má Široký potok a spadá do třídy velmi silně znečištěné vody. Na znečištění vody v tomto potoce má pravděpodobně vliv antropogenní činnost. Na výskytu arsenu v povrchových vodách se podílejí přírodní i antropogenní zdroje znečištění. Antropogenní znečištění řeky Moravy je vázáno na přítoky Dřevnici a Olšavu. V okolí těchto toků je rozvinutý průmysl. Značné zdroje znečištění představují Zlín, Otrokovice a Uherský Brod. Také atmosférické vody znečištěné exhalacemi mohou být významným zdrojem arsenu v povrchových vodách. Z databáze o znečišťovatelných ovzduší v povodí Moravy (www.chmi.cz) vyplývá, že producentem jsou Slezský Kámen - slévárna a.s. (0,000040 t/rok), Siemens Elektromotory s.r.o. - závod Mohelnice (0,000020 t/rok), Slévárna ANAH Prostějov s.r.o. (0,000398 t/rok), Cement Hranice a.s. (0,004223 t/rok), Metso Minerále a.s. (0,000270 t/rok), DEZA a.s. - energetika (0,009839 t/rok), PROMET FOUNDRY a.s. (0,000283 t/rok), Alpiq Zlín s.r.o. - Teplárna Zlín (0,000709 t/rok) (www.chmi.cz). Přírodním zdrojem arsenu v povrchových vodách může být uvolněný arsen při zvětvávání sulfidických rud, které se nacházejí v oblasti Kralického Sněžníku a zejména v oblasti Jeseníků, odkud řeka Morava odvádí veškerou vodu.

G) Povodí Odry

Odra pramení v Nízkém Jeseníku odkud dále pokračuje přes Moravskou bránu, kde protéká městem Odry. Mezi největší přítoky odry patří Opava, Ostravice a Olše. Povodí Odry se nachází v Českém masivu v moravskoslezské oblasti. Oblast je tvořena silně přeměněnými horninami, pararulami a ortorulami.

Tabulka č. 13: Koncentrace arsenu v povodí řeky Odry

Profil	Tok	Koncentrace arsenu $\mu\text{g/l}$ *	Vodní útvar
		2007-2011	
ústí	Porubka	2,5	Porubka po ústí do toku Odry
Bartošovice	Bartošovický potok	2,2	Sedlnice po ústí do toku Odry
Neplachovice	Herlička	3,5	Heraltický potok po ústí do toku Opava
Opava-Jaktař	Jaktarka	3,4	Velká po ústí do toku Opava
Ostrava	Ostravice	1	Ostravice po ústí do toku Odry
Ropice	Olše	1,2	Olše po soutok s tokem Ropičanka
Třebovice	Opava	1,5	Opava po ústí do toku Odry
Nad Stepánkou	Opusta	3	Opusta po ústí do toku Opava
Nad Bohumínskou stružkou	Bohumínská stružka	4	Odry po státní hranici
	Jamník	1,5	Bílovka po ústí do toku Odry
	Čížina	4,3	Čížina po ústí do toku Opava

* Nejvyšší koncentrace arsenu v povrchových vodách během let 2007-2011

Z hodnot nejvyšší zjištěné koncentrace arsenu v povrchových vodách tohoto povodí vyplývá, že kvalita vod spadá do třídy velmi čistá voda. Koncentrace arsenu ve vodě jsou nižší než 10 $\mu\text{g/l}$. Z databáze o znečišťovatelných ovzduší (www.chmi.cz) vyplývá, že na koncentraci arsenu ve vodě se podílí ArcelorMittal Frýdek Místek a.s. - Teplárna (0,002769 t/rok), ArcelorMittal Frýdek Místek a.s. - Technologie (0,000045 t/rok), Beskyd spol. s.r.o. (0,000046 t/rok), Biocel Paskov a.s. (0,001007 t/rok), Dálka Česká republika - Teplárna a.s. Frýdek Místek (0,000074 t/rok), Energetika Třinec a.s. (0,006631 t/rok), GIFF a.s. - slévárna (0,000300 t/rok), Třinecké Železářny a.s. (0,009300 t/rok), ČEZ a.s. - elektrárna Dětmorovice (0,004330 t/rok), ŽDB GROUP a.s. - závod Viadrus (0,000397 t/rok), ArcelorMittal a.s. Ostrava - Vysoké pece (0,022000 t/rok), ArcelorMittal a.s. Ostrava - ocelárna (0,006128 t/rok), ArcelorMittal a.s. Ostrava - Energetika (0,268868 t/rok), Dálka Česká republika a.s. - Elektrárna Třebovice (0,001340 t/rok), SPOVO a.s. - spalovna průmyslových odpadů (0,002046 t/rok), Moravskoslezské cukrovary a.s. Opava (0,005000 t/rok), SKS FOUNDRY a.s. - slévárna šedé litiny SKS Krnov (0,000071 t/rok) (www.chmi.cz).

5. 3. Podzemní voda

Podzemní vodou se rozumí voda přirozeně se vyskytující v horninovém prostředí. Jde tedy o vodu v zemských dutinách a zvodnělých zemských vrstvách. Proudění podzemních vod v podloží je určeno propustností geologických vrstev.

5. 3. 1. Koncentrace arsenu v podzemních vodách ČR

Tabulky č. 14-26 jsou rozděleny podle krajů v České republice. Uvedené hodnoty jsou nejvyšší hodnoty naměřené během let 2007-2011. Koncentrace arsenu v tabulkách nejsou nijak vysoké. Koncentrace se pohybují od < 1 do 76 µg/l. Jediná relevantní data o distribuci arsenu v podzemních vodách celé České republiky pochází z databáze Českého hydrometeorologického ústavu. Všechny vzorky uvedené v tabulkách byly odebírány z vrtů. V každém roce monitoringu (2007-2011) bylo analyzováno 5 - 10 vzorků vody.

Tabulka č. 14: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Plzeňského kraje (www.hydro.chmi.cz)

Objekt	Vodní útvar	Koncentrace As µg/l *
Janovice nad Úhlavou	Kvartér Úhlavy	6,9
Nýrsko	Kvartér Úhlavy	4,7
Čečovice u Bukovce	Krystalinikum a proterozoikum v povodí Úhlavy a dolního toku Radbuzy	3,9
	Kvarter Radbuzy	1,2
	Krystalinikum povodí horní Vltavy a Úhlavy	1,7
Mladotice	Žihelská pánev	<1

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Koncentrace arsenu v podzemních vodách Plzeňského kraje jsou velmi nízké. Koncentrace arsenu se pohybuje od < 1 do 6,9 µg/l. Přítomnost arsenu v podzemních vodách je pravděpodobně geologického původu. V Plzeňském kraji se nachází ložiska zlata (Kašperské Hory, Újezd u Kasajovic, Vacíkov) (www.geofond.cz). Plzeňský kraj lze charakterizovat jako zemědělsko-průmyslový.

Tabulka č. 15: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Jihočeského kraje (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As μg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Chotýčany	Krystalinikum v povodí Střední Vltavy	4,4
Dynín	Třeboňská pánev-jihní část	8,5
Hamr	Třeboňská pánev-jihní část	23,7
Kestřany	Kvartér Otavy a Blanice	13
Majdalena	Třeboňská pánev-jihní část	4,4
Nakolice	Třeboňská pánev-jihní část	14,3
Strakonice	Kvartér Otavy a Blanice	12
Veselí nad Lužnicí	Kvartér Lužnice	3,8
Štěkeň	Kvartér Otavy a Blanice	25,9
České Budějovice	Budějovická pánev	19
	Kvartér Lužnice	8,1
	Kvartér Otavy a Blanice	22,4

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Z hodnot koncentrace arsenu v podzemních vodách Jihočeského kraje lze soudit, že koncentrace arsenu jsou pravděpodobně přírodního původu. Nejvyšší koncentrace arsenu v podzemních vodách v tomto kraji dosahuje 25,9 μg/l. V oblasti Jihočeského kraje se vyskytují ložiska zlata (Sepekov, Voltýřov, Voltýřov-rozsyp) a ložiska lignitu (Jihočeská pánev) (www.geofond.cz).

Tabulka č. 16: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Středočeského kraje (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As μg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Chaběřice	Krystalinikum v povodí Střední Vltavy	3,9
Dobřeň	Křída Liběchovky a Pšovky	9,8
Dvorce	Kvartér Labe po Jizeru	6,4
Kostelec nad Labem	Kvartér Labe po Vltavu	5,4
Labuť	Kvartér Labe po Kolín	6,2
Libice nad cidlinou	Kvartér Labe po Nymburk	6,27
Neratovice	Kvartér Labe po Vltavu	6,2
Nová Ves	Kvartér Labe po Nymburk	76
Písková Lhota	Kvartér Labe po Nymburk	6
Veltrusy	Kvartér Labe po Vltavu	6,5
Vrbová Lhota	Kvartér Labe po Nymburk	19
	Kladenská pánev	6,5

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Koncentrace arsenu v podzemních vodách Středočeského kraje jsou nízké, vzhledem ke stanovené anomální hodnotě arsenu ve vodě 50 μg/l. Pouze vzorek odebraný z vrtu v Nové Vsi u Kolína překročil hodnotu arsenu 50 μg/l. Hodnota arsenu v tomto vrtu je 76 μg/l. Vysoká koncentrace arsenu

může být způsobena přítomností rudní mineralizace nebo antropogenní činností. Zlatonosným ložiskem ve Středočeském kraji je Mokrsko, Roudný a Jílové u Prahy. Kromě toho je zde několik polymetalických ložisek (např. Kutná Hora). I přes značné množství rudních ložisek se zvýšenými obsahy arsenu jsou koncentrace arsenu v podzemních vodách nízké. Vysvětlením je, že vzorky z databáze Českého hydrometeorologického ústavu byly odebrány z vrtů mimo dosah kontaminačního mraku v podzemní vodě spojeným s výše zmiňovanými ložisky.

Tabulka č. 17: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Karlovarského kraje (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As µg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Hartoušov	Chebská pánev	20
	Kvartér a neogén odravské části Chebské pánve	6,4
	Krystalinikum Smrčín a západní části Krušných hor	50

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Ve vzorku odebraném v krystaliniku Smrčín a západní části Krušných hor dosahuje koncentrace arsenu v podzemní vodě 50 µg/l. Další vyšší koncentrace arsenu v podzemní vodě, konkrétně 20 µg/l, byla naměřena v Chebské pánvi. Množství arsenu v podzemní vodě Karlovarského kraje může být ovlivněno ložiskem mědi (ložisko Tisová u Kraslic) a hnědého uhlí (www.geofond.cz). Uhelne sloje Sokolovské pánve obsahují 333 mg/kg arsenu (Pertold 1998).

Tabulka č. 18: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Ústeckého kraje (www.hydro.chmi.cz)

Objekt	Vodní útvar	Koncentrace As µg/l *
		2007-2011
Brusov	Bazální křídový kolektor v benešovské synklinále	10,2
Brusov	Křída Dolního Labe po Děčín	7,1
Brzánky	Křída Obrtky a Úštěckého potok	6,5
Býčkovice	Bazální křídový kolektor v benešovské synklinále	7
Janská	Křída Dolní Kamenice po Křinice	18,4
Jetřichovice	Křída Dolní Kamenice po Křinice	32,1
Jetřichovice u Děčína	Křída Dolní Kamenice po Křinice	12,3
Stroupeč	Mostecká pánev	29
Tetčiněves	Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe	23,2
Těchlovice	Bazální křídový kolektor v benešovské synklinále	7,8
Velký Hubenov	Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe	11,2
Vilsnice	Křída Dolního Labe po Děčín	25,3
Vědomice	Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe	11
Čeradice u Žatce	Mostecká pánev	19
Ústí nad Labem	Křída Dolního Labe po Děčín	15,9
	Křída Dolní Kamenice po Křinice	11,6
Chabařovice	Křída Dolního Labe po Děčín	40,4
Litvínov	Krystalinikum Krušných hor od Chomutovky po Moldavu	24

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Vysoká koncentrace arsenu v podzemních vodách Ústeckého kraje byla zjištěna v Chabařovicích, kde koncentrace arsenu dosahuje hodnoty 40,4 µg/l a v Jetřichovicích s koncentrací arsenu 32,1 µg/l. V Českém masivu je velkým rezervoárem arsenu hnědé uhlí. Uhelné sloje v Severočeské pánvi obsahují arsen. Průměrná hodnota arsenu je 40 mg/kg (Pertold 1998).

Tabulka č. 19: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Libereckého kraje (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As µg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Bílý Kostel nad Nisou	Kvartér Liberecké kotliny	7,7
Doksy	Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe	4,9
Hlavice	Jizerská křída	4,9
Jestřebí u České Lípy	Křída Horní Ploučnice	11
Loučná	Kvartér a miocen Žitavské pánve	24,4
Machnín	Krystalinikum Jizerských hor v povodí Lužické Nisy	18,8
Raspenava	Krystalinikum Jizerských hor v povodí Lužické Nisy	33,1
Sosnová	Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe	8,4
Stará Lípa	Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe	13,5
Tachov u Doks	Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe	31,3
Višňová	Kvartér Frýdlantského výběžku	8,8
Višňová u Frýdlantu	Kvartér Frýdlantského výběžku	15
Česká Lípa	Křída Horní Ploučnice	16,4

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Koncentrace arsenu v podzemních vodách Libereckého kraje dosahuje nejvyšší hodnoty 33,1 µg/l a to v Raspenavě. V Libereckém kraji se nacházejí ložiska hnědého uhlí v Žitavské pánvi a ložisko olova (Harrachov), která mohou být zdrojem arsenu v podzemních vodách (www.geofond.cz).

Tabulka č. 20: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Královehradeckého kraje (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As µg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Bělá u Pecky	Podkrkonožský permokarbon	14
Bílá Třemešná	Královedvorská synklinála	13,9
Chvalkovice	Podorlická křída v povodí Úpy a Metuje	26
Kuks	Královedvorská synklinála	52
Trčkov	Krystalinikum Orlických hor	12,6
	Dolnoslezská pánev-západní část	13

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Nejvyšší hodnota koncentrace arsenu v podzemních vodách Královehradeckého kraje dosáhla hodnoty 52 µg/l. Významné zásoby podzemních vod jsou kromě horských a podhorských oblastí vázány na hlubší křídové struktury. Poměrně významné zásoby podzemních vod jsou však také vázány na kvartérní sedimenty. Na mnoha místech Královehradeckého kraje došlo k lokálním kontaminacím podzemních vod (www.kr-kralovehradsky.cz). Lze předpokládat, že vyšší koncentrace 26 µg/l (Chválkovice) a 52 µg/l jsou způsobeny antropogenní činností.

Tabulka č. 21: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Pardubického kraje (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As µg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Hrušová	Vysokomýtská synklinála	7,4
Kladruby nad Labem	Kvartér Labe po Týnec	7,36
Lanškroun	Děčínský Sněžník	7,11
	Poorlický perm	27,1
	Krystalinikum Orlických hor	9

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Koncentrace arsenu v podzemních vodách Pardubického kraje nedosahují vysokých hodnot. Nejvyšší hodnota dosahuje hodnoty 27,1 µg/l. Koncentrace arsenu v podzemních vodách je pravděpodobně geologického původu. V Pardubickém kraji se nachází ložiska stříbra (Křižanovice, Litoměřice) a mědi (Staré Ransko) (www.geofond.cz).

Tabulka č. 22: Koncentrace arsenu v podzemních vodách na Vysočině (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As µg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Havlíčkův Brod	Krystalinikum v povodí Sázavy	1,6
Jaroměřice nad Rokytnou	Krystalinikum v povodí Jihlavy	3,9
Jihlava	Krystalinikum v povodí Jihlavy	3,6

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Koncentrace arsenu v podzemních vodách Vysočiny jsou velmi nízké. Kraj je převážně zemědělský. Průmysl je zastoupen zejména ve větších sídlech a to odvětvím strojírenským a kovodělným, textilním, dřevozpracujícím a potravinářským. V oblasti Pelhřimova se nachází pozůstatky těžby stříbra, zinku, mědi a olova. Z tamních lokalit lze jmenovat oblast Černova, Branišova, Výskytné, Zachotína a Těšenov (www.cenia.cz). Nízká koncentrace arsenu v podzemních vodách je pravděpodobně geologického původu, menší podíl může mít i zemědělský průmysl.

Tabulka č. 23: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Jihomoravského kraje (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As μg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Pustiměř	Vyškovská brána	9,7
Židlochovice	Kvartér Svratky	10,2
	Kuřimská kotlina	4
	Kvartér Dyje	4,92
	Dolnomoravský úval-j jižní část	10,2

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Koncentrace arsenu v podzemních vodách Jihomoravského kraje dosahují maximální hodnoty 10 μg/l. Koncentrace arsenu v podzemních vodách je geologického původu. V Jihomoravském kraji se nachází ložisko lignitu (Vídeňská pánev). Tento kraj je především zaměřen na zemědělství. Zemědělství může přispívat ke kontaminaci vod arsenem.

Tabulka č. 24: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Olomouckého kraje (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As μg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Olomouc	Pliopleistocen Hornomoravského úvalu	4,88
Rozvadovice	Hornomoravský úval	25,7
Čechy pod Košířem	Kulm Dražanské vrchoviny	41,7
	Bečevská brána	13,2
	Mladečský kras	6,98
	Pliopleistocen Hornomoravského úvalu	10,7
	Kvartér Valové, Romze a Hané	6,13

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Vyšší hodnota koncentrace arsenu v podzemních vodách Olomouckého kraje byla zjištěna ve vrtu Čechy pod Košířem. Hodnota arsenu v tomto vrtu je 41,7 μg/l. Koncentrace arsenu v tomto kraji je pravděpodobně přírodního původu. Zlatonosným ložiskem v Olomouckém kraji je Zlatý Chlum u Jeseníku (www.geofond.cz).

Tabulka č. 25: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Zlínského kraje (www.hydro.chmi.cz)

		Koncentrace As µg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Kunovice	Kvartér Dolnomoravského úvalu	7,4
Kyselovice	Pliopleistocen Hornomoravského úvalu	44,9
Lhotka nad Bečvou	Kvartér Horní Bečvy	<1
Napajedla	Kvartér Dolnomoravského úvalu	13

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Koncentrace arsenu v podzemních vodách Zlínského kraje nedosahují vysokých hodnot. Jediná vyšší hodnota arsenu v podzemní vodě 44,9 µg/l pochází z vrtu u města Kyselovice. Zlínský kraj je kromě významné produkce šterkopísků poměrně chudý na nerostné suroviny a podílí se na těžbě surovin v České republice nejmenším dílem.

Tabulka č. 26: Koncentrace arsenu v podzemních vodách Moravskoslezského kraje (www.hydro.chmi.cz)

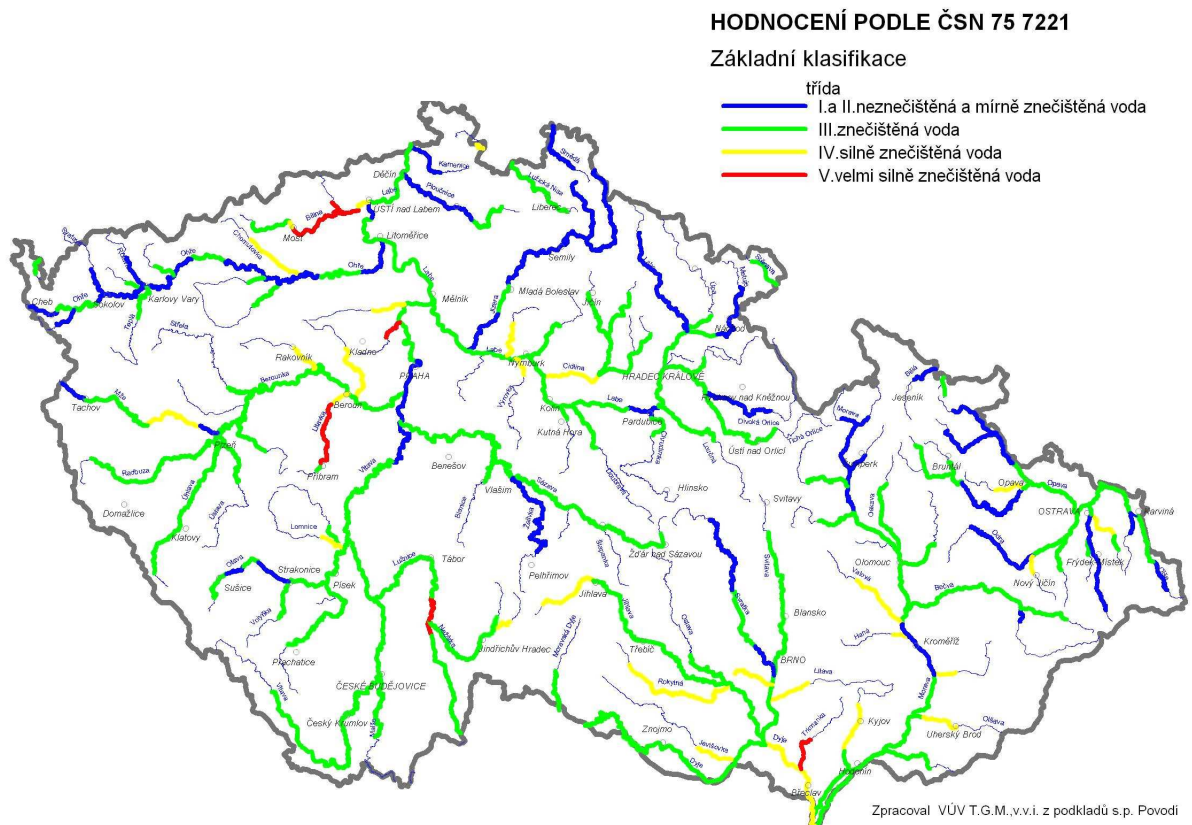
		Koncentrace As µg/l *
Objekt	Vodní útvar	2007-2011
Bernartice nad Odrou	Kvartér Odry	18,5
Bohumín (Kopytov)	Ostravská pánev-ostravská část	6,1
Petřvaldík	Kvartér Odry	7,9
Vražné u Oder	Oderská brána	17,3
	Flyš v povodí Ostravice	6,2

* V tabulce jsou uvedeny nejvyšší koncentrace v rozmezí let 2007-2011

Koncentrace arsenu v podzemních vodách Moravskoslezského kraje jsou pravděpodobně přírodního původu. V oblasti Moravskoslezského kraje se nachází velké množství ložisek rud, které jsou zdrojem arsenu v podzemních vodách. Ložisko zlata (Suchá Rudná-střed, Zlaté Hory-západ) a ložisko Ag-Pb (Horní Benešov, Horní Město, Oskava, Zlaté Hory) (www.geofond.cz).

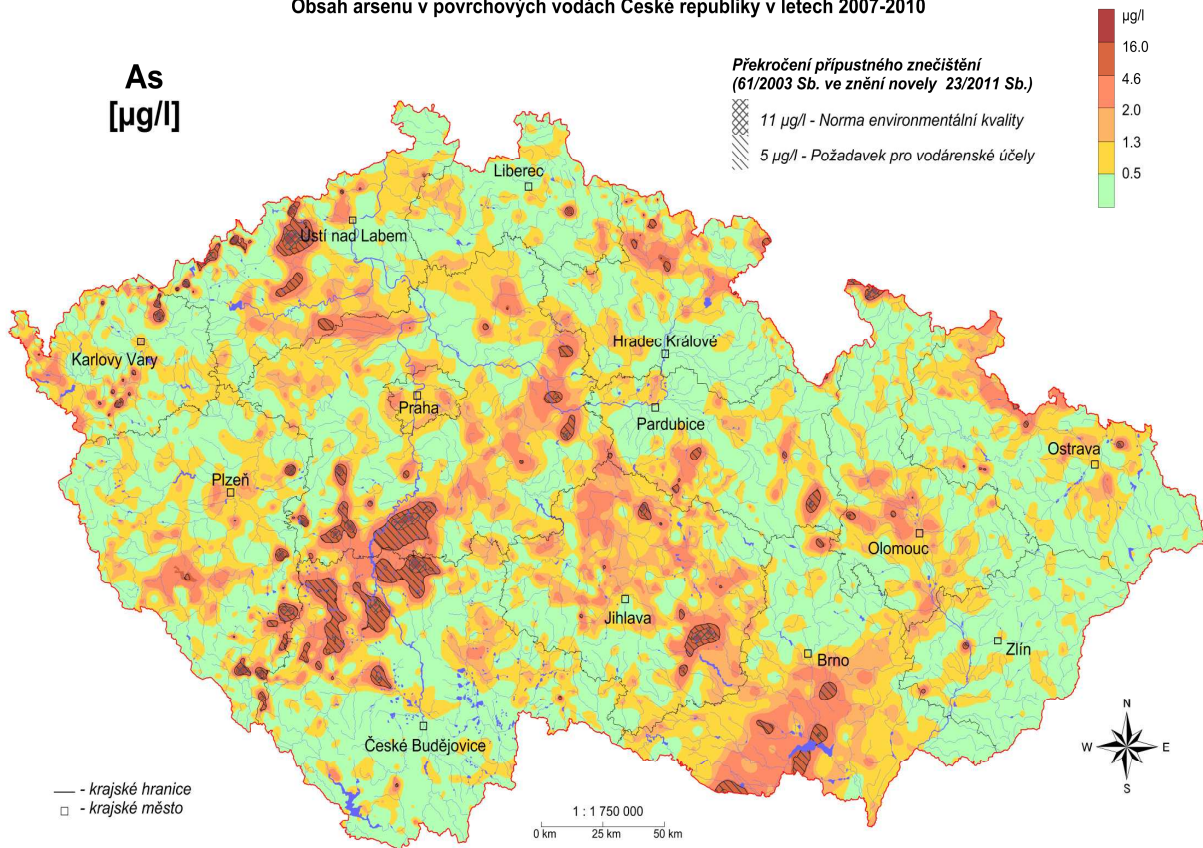
5. 4. Anomální a zvýšené výskyty As

Jak bylo uvedeno v úvodu, anomální koncentrace arsenu jsem si zvolila jako hodnoty vyšší než 50 µg/l. Ze zhodnocení koncentrace As v přírodních povrchových i podzemních vodách vyplývá, že anomální a zvýšené koncentrace As byly nalezeny zejména v povrchových vodách. V blízkosti míst se zvýšenými a anomálními koncentracemi As byly vždy lokalizovány zdroje znečištění, které jsou vždy antropogenního původu (viz. obrázek č. 5 a 6).



Obrázek č. 5: Jakost vody v tocích České republiky 2008-2009 (ČHMÚ)

Obsah arsenu v povrchových vodách České republiky v letech 2007-2010



Obrázek č. 6: Obsah arsenu v povrchových vodách České republiky v letech 2007-2010 (Majer a kol. 2012)

Vysoké koncentrace arsenu v povrchových vodách byly nalezeny v řece Litavka, Točnický potok, Teplický potok, Chodovský potok, Vítanec, Klejnárka, Hrejkovický potok, Mlýnský potok, Široký potok (Obrázek č. 6).

Litavka a Točnický potok náleží systému povodí Berounky. Hodnota arsenu v Litavce byla stanovena až na 43 µg/l. Znečištění je způsobeno průmyslovými zdroji, kterými jsou zejména podniky zaměřující se na zpracování kovů. Jedná se o Kovohutě Příbram v horní části toku, Strojírny Čenkov na středním toku a Královská železárna na dolním toku Litavky. Nejvyšší zjištěná hodnota koncentrace arsenu v Točnickém potoce byla stanovena na 43 µg/l. Točnický potok se nachází u města Klatovy a ústí do řeky Úhlavy. Jeho znečištění je způsobeno také antropogenní činností.

Chodovský a Teplický potok náleží do systému povodí Ohře. Nejvyšší zjištěná koncentrace arsenu v Chodovském potoce byla 78,1 µg/l. Chodovský potok se nachází v Sokolovské pánvi mezi městy

Sokolov a Karlovy Vary. Znečištění je pravděpodobně způsobeno zejména těžbou hnědého uhlí. Nejvyšší koncentrace arsenu v Teplickém potoce byla stanovena na 52,3 µg/l. Ten se nachází mezi městy Teplice a Ústí nad Labem v Severočeské pánvi. Vysoká koncentrace je zde pravděpodobně způsobená zejména těžbou hnědého uhlí a chemickým průmyslem.

Vítanec a Klejnárka náleží do systému povodí Labe. Nejvyšší zjištěná koncentrace arsenu v toku Vítanec byla 105 µg/l. Koncentrace arsenu v Klejnárce byla stanovena na 26 µg/l. Vyšší koncentrace arsenu v Klejnárce obsahovaly také sedimenty. Do Klejnárky se vlévá vodoteč Brslenska, která je kontaminovaná důlní vodou. Znečištění tohoto vodního toku bylo tedy způsobeno přímým vypouštěním důlních vod z lokality Kaňk u Kutné Hory, ale také pravděpodobně historickou důlní činností v této oblasti.

Hrejkovický a Mlýnský potok náleží do systému povodí horní Vltavy. Nejvyšší zjištěná koncentrace arsenu v Hrejkovickém potoce byla 48 µg/l. Hrejkovický potok se nachází v obci Květov. Koncentrace arsenu v Mlýnském potoce byla až 39 µg/l. Mlýnský potok se nachází v Horažďovicích. Znečištění povrchových vod je způsobeno pravděpodobně antropogenní činností.

Široký potok náleží do systému povodí Moravy. Nejvyšší zjištěná koncentrace arsenu byla 121 µg/l. Znečištění je pravděpodobně způsobeno antropogenní činností.

Další oblasti s vysokou koncentrací As ve vodách, které byly dokumentovány v dostupné literatuře, jsou spojeny s ložisky nerostných surovin a to zejména s ložisky zlata a polymetalických rud.

Anomální koncentrace arsenu se vyskytují na ložisku Mokrsko, Kaňk u Kutné Hory, Roudný, Kašperské Hory (Filippi a kol. 2004; Drahot a Filippi 2009).

Lokalita Mokrsko je součástí důlního revíru Psí hory. Rudní ložisko Mokrsko patří v současnosti mezi nejbohatší ložiska zlata v Evropě. Zlatonosná hydrotermální mineralizace je přítomna na styku svrchnoproterozoických vulkanitů a vulkanosedimentárních hornin jílovského pásma s granitoidy středočeského plutonu. Detailním geochemickým průzkumem ložiska Čelina-Mokrsko byly odhaleny zóny zlatonosného zrudnění a také vysoké koncentrace arsenu v rozmezí 500 - 600 mg/kg ve vulkanosedimentárních horninách a koncentrace okolo 5000 mg/kg v granodioritu (Janatka a Morávek 1990). Kromě zlata je v této oblasti zájmovým prvkem arsen a to především z hlediska zájmu o životní prostředí. Zdrojem arsenu je arsenopyrit, který se vyskytuje v asociaci se zlatonosnou mineralizací. Zvýšené koncentrace arsenu v půdě, a jeho mobilita během zvětrávacích procesů způsobují potenciální environmentální nebezpečí v podobě kontaminace podzemních vod loužením arsenu ze saprolitu a půdy. V oblasti okolo ložiska Mokrsko dosahuje arsen vysokých koncentrací v podloží, půdě, podzemní vodě, povrchové vodě a v biomase (Drahot 2008). Mokrskem protéká Mokrský potok,

který odvodňuje ložisko Mokrsko-západ. Vysoké koncentrace arsenu byly zaznamenány v podzemní (< 1140 µg/l) i povrchové (< 450 µg/l) vodě, což je pro srovnání 114 - 45 krát více, než je limit pro pitnou vodu. Koncentrace arsenu ve vodoteči se snižuje ze 449 µg/l na 32 µg/l po proudu od západu Mokrska po soutok s potokem Čelina (Drahota a kol. 2009). Kontaminace arsenu v povrchových a podzemních vodách v oblasti ložiska Mokrsko představuje přírodní zdroj arsenu, který byl mobilizován do vod přirozeným procesem, zvětráváním arsenopyritu. Ložisko dosud nebylo těženo.

Dalším místem v České republice s anomálním výskytem arsenu je bývalá hornická obec Kaňk, kde jsou dodnes dobře patrné pozůstatky po dolování. Kaňk se nachází severně od města Kutná Hora, na severozápadním svahu stejnojmenného kopce, který lemuje okraj Kutnohorské plošiny. Podle charakteru převládající rudní výplně byla rudní pásma označována jako stříbrná nebo kyzová (Holub a kol. 1982). Kyzová pásma jsou mohutnější, s většími zásobami rud, ale s nižšími obsahy Ag a nacházejí se v severní části revíru. Kyzová pásma jsou na rozdíl od stříbrných, charakteristická hojným výskytem arsenopyritu (Malec 1997). Oblast Kutné Hory a zejména jeho severního okolí je považována za oblast významně kontaminovanou toxickými prvky, především arsenem a v menší míře kadmíem, mědí a zinkem. Podzemní vody jsou významně kontaminovány arsenem. Přibližně jedna třetina analyzovaných vzorků překračovala limitní hodnotu koncentrace arsenu pro pitnou vodu (Sáňka a kol. 2003). Nejvyšší kontaminace podzemní vody arsenem byla zaznamenána v důlních vodách Turkaňského pásma, kde koncentrace arsenu překračovala 100 mg/l (Ettler a kol. 2010). Po vystoupení hladiny podzemní vody na úroveň odvodňovací štol, začala takto kontaminovaná voda samovolně odtékat do vodoteče Brslenka, která se vlévá do Klejnárky.

Na lokalitách Roudný a Kašperské hory byla provedena analýza vzorků půdy a důlních odpadů s cílem zjistit distribuci arsenu a dalších prvků v těchto vzorcích a identifikovat mineralogickou vazbu arsenu (Filippi a kol. 2004). Tyto oblasti spojuje výskyt mezotermálních ložisek zlata, které se liší rozsahem důlní činnosti. V Kašperských horách byla těžba ukončena přibližně před 500 lety, na ložisku Roudný před 70 lety (Filippi a kol. 2004).

Ložisko Roudný leží v severní části blanické brázdy. Rudní těleso má tvar žilníku s přechodem do zrudnění v silimanit-biotitické pararuly. Místy je zlatonosné zrudnění lokalizováno v ortorulách a pegmatitech. Z rudních minerálů je, kromě zlata, přítomen hlavně arsenopyrit a pyrit (bývá silně zlatonosný a bohatý arsenem). Na ložisku Roudný se už od roku 1956 netěží. Pod odkalištěm Danica se chachází hluboká kopaná studna. Koncentrace arsenu v odebraných nefiltrovaných vzorcích je 17 µg/l a ve filtrovaných vzorcích pak 4,5 µg/l (Nešetřil 2002). Vysoké koncentrace arsenu byly zjištěny jen ve vodě odtékající ze štol Barbora. Nejvyšší koncentrace dosahovaly 170 µg/l (Nešetřil 2002).

Kašperské hory se nacházejí na rozhraní moldanubika. Zlatonosná mineralizace je vázána na křemenné žíly a prokřemenělé polohy v biotitických plagioklasových pararulách. V Kašperských horách se obsah arsenu v křemenných žilách pohybuje kolem 300 mg/kg.

Pokud se v České republice nachází arsen ve zdrojích pitných vod ve zvýšené koncentraci, jedná se ve většině případů o geologický původ. Minerální vody v Karlových Varech obsahují průměrně asi 150 µg/l arsenu. V minerální vodě IDA byly nalezeny koncentrace arsenu kolem 740 µg/l. Také pramen Glauber III ve Františkových Lázních má obsah arsenu asi 800 µg/l (Zýka 1982).

6. ZÁVĚR

Tato práce se zabývá distribucí arsenu v povrchových i podzemních vodách ČR výskytem jeho zvýšených a anomálních koncentrací ($> 50 \mu\text{g/l}$) a odhalením hlavních zdrojů kontaminace. Uvedené hodnoty arsenu v povrchových a podzemních vodách pocházejí z jednoho zdroje, z databáze Českého hydrometeorologického ústavu. Tato databáze se ukázala pro účely této práce jako nejvhodnější, neboť zahrnuje odběrová místa z celého území České republiky. Na druhou stranu si jsem vědoma velké nejistoty při diskusi výsledků, neboť relativně malé množství odběrových míst v této databázi nemůže dostatečně popsat distribuci arsenu v přírodních vodách ČR.

Zvýšené obsahy arsenu v přírodních vodách České republiky jsou zejména v oblastech, kde se vyskytují rudná ložiska obsahující vzácné a polymetalické kovy a v oblastech těžby nekvalitních sirnatých druhů uhlí.

Na základě zjištěných hodnot výskytu arsenu lze konstatovat, že i nejvyšší koncentrace arsenu z monitoringu ve většině případů odpovídaly úrovni přirozených hodnot nebo mírně zvýšeného výskytu v přírodních vodách České republiky. Potenciálního rizika dosáhla úroveň výskytu arsenu v povrchových vodách pouze lokálně v místech s jeho přirozeným výskytem jako je oblast Mokrsko, oblast okolo obce Kaňk, oblast sokolovské pánve. V posledních dvou příkladech však byla distribuce arsenu do přírodních vod významně urychlena lidskou činností. Ta má za následek také lokální znečištění vodotečí v blízkosti významných zdrojů arsenu, jako jsou hutě (např. Litavka na Příbramsku) aj. V podzemních vodách je výskyt arsenu ve velmi nízkých koncentracích, zvýšené hodnoty se vyskytují ve studních v okolí obce Kaňk a Mokrsko, kde mnohonásobně překračují limity pro pitnou vodu.

Závěrem lze tedy konstatovat, že kvalita povrchových a podzemních vod v České republice s ohledem na koncentrace arsenu je v porovnání se světem (např. Bangladéš) i Evropou (Maďarsko) na velmi dobré úrovni.

Výskytu arsenu v přírodních vodách České republiky musí být i nadále věnována dostatečná pozornost vzhledem ke skutečnosti, že arsen je toxický, má karcinogenní účinky a jeho přítomnost a kumulace ve vodním prostředí může představovat do budoucna, z hlediska negativních účinků na vodní ekosystém a zdraví člověka, potenciální riziko.

7. LITERATURA

Bencko V., Cikrt M., Lener J., 1995, Těžké kovy v životním a pracovním prostředí člověka, Grada Publishing: 282

Bissen M., Frimmel F. H., 2003, Arsenik-a review. Part I: Occurrence, Toxicity, Speciation, Mobility. *Acta hydrochimica hydrobiologia* 31, 9-18

Cullen W. R., Reimer J. K., 1989, Arsenic speciation in the environment. *Chemical Review* 89, 713-764

Doušová B., Erbanová L., Novák M., 2007, Arsenic in atmospheric deposition at the Czech-Polish border: Two sampling campaigns 20 years apart. *Science of the Total Environment* 387, 185-193

Drahota P., 2008, Geochemical model of arsenic at the Mokrsko gold deposit, Disertační práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných surovin, PřF UK, Praha, str. 10

Drahota P., Filippi M., 2009, Secondary arsenic minerals in the environment: A review. *Environment International* 35, 1243-1255

Drahota P., Rohovec J., Filippi M., Mihaljevič M., Rychnovský P., Červený V., Pertold Z., 2009, Mineralogical and geochemical controls of arsenic speciation and mobility under different redox conditions in soil, sediment and water at the Mokrsko-West gold deposit, Czech Republic. *Science of the Total Environment* 407, 3372-3384

Ettler V., Sejkora J., Drahota P., Litochleb J., Pauliš P., Zeman J., Novák M., Pašava J., 2010, Příbram and Kutná Hora mining districts-from historical mining to recent environmental impact, *Acta Mineralogica – Petrographica* 7, 1-22

Filippi M., Goliáš V., Pertold Z., 2004. Arsenic in contaminated soil and anthropogenic deposit at the Mokrsko, Roudný, and Kašperské hory gold deposits, Bohemian Massif (CZ). *Environmental Geology* 45, 716-730

Greenwood N. N., Earnshaw A., 1993, *Chemie prvků*, Sv. 2. Prof. Ing. František Jursík, CSc. a kolektiv, Informatorium, Praha, str. 789-821

Havránková V., Spáčil R., Manhart J., Lautner J., 2007, Informační pomůcka k problematice nebezpečných odpadů. MŽP, Odbor odpadů. Dostupný z [www: www.env.cz/C1257458002F0DC7/cz/informacni_pomucka/\\$FILE/oodpInformacni_pomucka_k_problematice_NO-20070821.pdf](http://www.env.cz/C1257458002F0DC7/cz/informacni_pomucka/$FILE/oodpInformacni_pomucka_k_problematice_NO-20070821.pdf)

Henke Kevin R., 2009, Arsenic in Natural Environments. In: Henke K. R. (ed.) Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment, str. 70-198

Henke Kevin R. and Atwood David A., 2009, Arsenic in Human History and Modern Societies. In: Henke K. R. (ed.) Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment., str. 277-296

Hiller E., 2003, Adsorption of arsenates on soils: kinetic and equilibrium studies, Journal of Hydrology and Hydromechanics 51, 288-297

Holub M., Hoffman V., Mikuš M., Trdlička Z. 1982, Polymetalická mineralizace kutnohorského revíru. In: Sborník geologických věd – ložisková geologie, mineralogie, 23, Praha 1982, str. 69-123

Hrkal Z., 2011, Antropogenní tlaky na stav půd, vodní zdroje a vodní ekosystémy v české části mezinárodního povodí Labe, 9-82

Charlet L., Polya D. A., 2006, Arsenic hazard in shallow reducing groundwaters in southern Asia. Elements 2, 91-96

Janatka J., Morávek P., 1990, Geochemical exploration in the Jílové Belt: case history of the Celina deposit, Bohemian Massif, Czechoslovakia. Journal of Geochemical Exploration 37, 367-384

Koplík R., Čurdová E., Mestek O., 1997, Speciace stopových prvků ve vodách, půdách, sedimentech a biologických materiálech. Chemické listy 91, 38-47

Koutek J., 1967, Geologie kutnohorského rudního obvodu. In: Sborník Oblastního muzea v Kutné Hoře, řada B, 8-9, Kutná Hora 1967, str. 5-80,

Křištofová D., 2005, Kovy a životní prostředí: Enviromentálně nebezpečné složky elektroodpadu. 1. vyd. Ostrava, VŠB-Technická Univerzita Ostrava, str. 66

Kumpiene J., Ragnvaldsson D., Lovgren L., Tesfalidet S., Gustavsson B., Lattstrom A., Leffler P., Nautice Ch., 2009, Impact of water saturation level on arsenic and metal mobility in the Fe – amended soil. *Chemosphere* 74, 206-215

Majer V., Hruška J., Zoulková V., Holečková P., Myška O., 2012, Atlas chemismu povrchových vod České republiky, Stav v letech 1984-1996 a 2007-2010, Česká geologická služba, Praha

Malec J., Pauliš P., 1997, Kutnohorský rudní revír a projevy zaniklé důlní a hutní činnosti na jeho území. *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze*, 4-5, 84-105

Nešetřil K., 2002, Hydrogeologie zlatodolu Roudný. Diplomová práce, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky PřF UK, Praha

Nickson R. T., McArthur J. M., Ravenscroft P., Burgess W. G., Ahmed K. M., 2000, Mechanism of arsenic release to groundwater Bangladesh and West Bengal. *Applied Geochemistry* 15, 403-413

Nriagu J. O., 2007, Arsenic in soil and groundwater: an overview. In: Bhattacharya P., Mukherjee A. B., Bundschuh J., Zevenhoven R., Loeppert R. H. (ed.) *Trace Metals and other Contaminants in the Environment* 9, 3-60

O'Day P. A., 2006, Chemistry and Mineralogy of arsenic. *Elements* 2, 77-82

Pačes T., 2011, Úvod do hydrogeochemie, str. 50-52

Pertold Z., 1998, Arsen v životním prostředí. *Vesmír* 77, 323-326

Pitter P., 1999, *Hydrochemie*, 3. přeprac. vyd. Praha, VŠCHT, str. 568

Prousek J., 2001, Rizikové vlastnosti látek, 1.vyd. Bratislava, 247

Sáňka M., Čupr P., Kadlubiec R., Malec J., Skybová M., Škarek M., 2003, Riziková analýza a monitorování složek životního prostředí v Kutné Hoře a okolí.- Centrum pro životní prostředí a hodnocení krajiny EKOTOXA, s.r.o. a TOCOEN, s.r.o. Opava., 129

Smedley P. L., Kinniburgh D. G., 2002, A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* 17, 517-568

Synáčková Marcela, 1996, Čistota vod, ČVUT, str. 8-109

Vaughan D. J., Calas G., Lioyd R. J., Charlet L., Morin G., Hopenhayn C., O'Day P., Polya D. A., Oremland S. R., 2006, Arsenic. Elements 2, 65-100

Vencelides Z., Hrkal Z., Prchalová H., 2010, Determination of the natural background content of metals in ground waters of the Czech Republic. Applied Geochemistry 25, 755-762

Vojtěšek M., Mikuška P., Večeřa Z., 2009, Výskyt, zdroje a stanovení kovů v ovzduší. Chemické listy 103, 136–144

Zýka V., 1982, Geochemie pitných vod ČSR. Slovník geologických věd 18, UUG Praha, str. 286

Internetové zdroje:

www.vesmir.cz/clanek/kolobeh-arzenu-v-prirodnim-prostredi (10. 1. 2012)

http://www.biotox.cz/toxikon/anorgan/ja_5a.php (3. 2. 2012)

http://hydro.chmi.cz/isarrow/objects.php?ukol_p=1&nadmh_sign=%3E&tscongrp_pzv=3109236&tsc on_pzv=305874&matrice_pzv=2000868184&rok_od_pzv=2007&rok_do_pzv=2012&objekty_chemdata_pzv=1&seq=345834&ordrstr=NM&agenda=PZV&limit_clsf=&matrice_clsf=&tscon_clsf=&rok_od_clsf=&rok_do_clsf=&val_sign_clsf=&val_clsf=&agg_clsf=&startpos=0&recnum=50
(25. 2. 2012)

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/arsenicun5.pdf (8. 4. 2012)

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/plants/index_CZ.html (10. 5. 2012)

www.geologie.vsb.cz/loziska/loziska/historie.html (3. 5. 2012)

http://www.kr-kralovehradecky.cz/file/rozvoj/analyticka_cast_strategie_rozvoje.pdf
(12. 5. 2012)

http://eagri.cz/public/web/file/6493/modra_zprava_2007.pdf (13. 5. 2012), (Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2007, str. 15 - 23)

<http://voda.chmi.cz/hr04/kap3.html> (13.5.2012) (Hydrologická ročenka České republiky, 2004)

www.pla.cz/planet/public/dokumenty/VH_bilance/2009/VHB_Jakost_POV_2009.pdf (14.5.2012)
(Vodohospodářská bilance za rok 2009, 2010, Zpráva o hodnocení jakosti povrchových vod pro území ve správě Povodí Labe, státní podnik, Hradec Králové, str. 77)

[http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/CENMSFSOZXII/\\$FILE/Vysocina-web.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFSOZXII/$FILE/Vysocina-web.pdf)
(14. 5. 2012)

<http://www.geofond.cz/cz/o-nas/dokumenty/rocenka-surovinove-zdroje-cr-nerostne-suroviny>
(14. 5. 2012) (Ročenka 2011, Surovinové zdroje České republiky)