

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**  
Katedra chemie  
Obor: Kvalita zpracování zemědělských produktů

**Optimalizace stanovení  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$   
v minerálních vodách**

Diplomová práce

**Vedoucí práce: doc. Ing. Alena Hejtmánková, CSc.**  
**Autor práce: Jarmila Volešáková**

**Praha 2009**

## Prohlášení

Tato diplomová práce byla vypracovávána na Katedře chemie Fakulty potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze pod vedením školitelky doc. Ing. Aleny Hejtmánkové, CSc.

Já, Jarmila Volešáková, prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem veškerou použitou literaturu řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné využití výsledků, získaných v této práci, mimo Českou zemědělskou univerzitu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

V Praze dne .....

.....

podpis

Na tomto místě bych chtěla poděkovat své školitelce doc. Ing. Aleně Hejtmánkové, CSc., Ing. Matyáši Orsákovi, Ph.D. a Ing. Antonínovi Nikodemovi za odborné vedení, všestrannou pomoc a trpělivost při vypracovávání této diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat Ing. Vladimírovi Pivcovi, CSc. za psychickou podporu a Bc. Ondřejovi Pytelovi za překlad.

V neposlední řadě děkuji všem svým blízkým za podporu a pomoc, které se mi při studiu dostalo.

## AUTORSKÝ REFERÁT

Název „minerální vody“ je běžně přiřazován přírodním vodám s vyšším nebo alespoň výjimečným obsahem rozpuštěných látek, vodám proplyněným, vodám s vyšší teplotou či vyšší radioaktivitou než je v okolních vodách běžné. Jejich využívání je jedním z nejstarších způsobů léčby lidských nemocí. Výskyt těchto tzv. kyselek je v českém masivu vázán na významná poruchová pásma vzniklá v reakci na vrásnění alpsko-karpatské soustavy. Známy je tzv. západočeský trojúhelník s lázeňskými místy Františkovy lázně, Mariánské lázně a Karlovy Vary (termální prameny zde dosahují až 73,4 °C). Světově známým se stal „vodní doktor“, prostý slezský sedlák Vincenz Priessnitz (1799 – 1851), který propagoval v oblasti Jeseníků návrat k přírodě a z něj odvozené léčebné metody.

Některé prameny minerálních vod mohou mít léčivé účinky. Působí na trávicí ústrojí, játra, slinivku, ledviny a močové cesty i na ostatní tkáně. Na léčivé účinky má vliv nejen složení minerálních vod, ale i jejich teplota, množství předepsaného pramene a rozdělení pitných dávek během dne.

Arsen je jedem kumulativního charakteru a je tedy třeba jeho přísun do lidského organismu minimalizovat.

Arsen je často přítomen v různých množstvích v minerálních pramenech. Je vysoce jedovatý a dlouhodobé požívání vod s malými koncentracemi As způsobuje chronická onemocnění. Jeho toxicita závisí na oxidačním stupni. Sloučeniny  $\text{As}^{\text{III}}$  jsou asi pětikrát až dvacetkrát toxičtější než sloučeniny  $\text{As}^{\text{V}}$ . Arsen patří mezi inhibitory biochemických oxidací. Byly prokázány i jeho karcinogenní účinky. Z těchto důvodů je třeba vyvinout vhodnou a snadnou metodu, kterou by bylo možné stanovit nejen celkový obsah As, ale i jeho specie. Obsah arsenu není výrobci na etiketách uváděn.

Cílem této diplomové práce byla optimalizace stanovení  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$  v minerálních vodách s využitím coulometrických a voltametrických metod.

V této práci byla pro stanovení arsenu použita technika průtokové rozpouštěcí coulometrické analýzy a diferenční pulsní katodické rozpouštěcí voltametrie v kombinaci se zlatou elektrodou.

Obsah arsenu v minerálních vodách se pohyboval v rozsahu od 0,39 do 136,55  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Nejvyšší celkový obsah As byl stanoven v bývalé minerální vodě Ida.

Coulometrické stanovení ukázalo, že se  $\text{As}^{\text{III}}$  v běžných minerálních vodách dostupných v obchodní síti nevyskytuje. Vyšší obsah  $\text{As}^{\text{V}}$  byl nalezen pouze v minerálních vodách Bílinská kyselka ( $34,45 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) a Vincentka ( $25,05 \mu\text{g.l}^{-1}$ ). Vysoký obsah arsenu byl prokázán v bývalé minerální vodě Ida, kde se koncentrace pohybovala v rozmezí od 94,43 do 136,55  $\mu\text{g.l}^{-1}$  podle typu vzorku. Zde byl arsen přítomen pouze v méně toxické formě  $\text{As}^{\text{V}}$ . V těchto minerálních vodách bylo překročeno nejvyšší povolené množství dané vyhláškou ( $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ ).

Podle Pittera (1999) karlovarské prameny obsahují až  $150 \mu\text{g.l}^{-1}$  a minerální voda Ida obsahuje až  $740 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Tyto vysoké obsahy As potvrzeny nebyly.

Ke kontrole správnosti výsledků byl použit jako interní referenční materiál vzorek studniční vody z oblasti Sedlčanska, ve kterém Hygienickou laboratoří v Příbrami byl stanoven obsah celkového arsenu  $13,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Metodou průtokové rozpouštěcí coulometrické analýzy byla zjištěna hodnota  $14,85 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

Závěrem lze konstatovat, že metodu průtokové rozpouštěcí coulometrické analýzy je možné použít ke stanovení stopového množství arsenu v minerálních vodách.

Klíčová slova: minerální vody, coulometrie, voltametrie,  $\text{As}^{\text{III}}$ , celkový As

## SUMMARY

The name mineral water is usually used for natural spring waters with higher, or at least extraordinary content of solvates, waters with gas content, waters with temperature or radioactivity higher than usually in the area. The use of these waters is one of the oldest therapies used for human illness. These acidulous waters are in the Czech massive usually found in connection with important perturbation zones, which appeared in reaction to the folding of Alpine-Carpathian system. Well-known is the west bohemian triangle, with spa cities Františkovy Lázně, Mariánské Lázně and Karlovy Vary – the thermal springs can reach temperatures as high as 73,4 °C. The “water doctor”, Silesian settler Vincenz Priessnitz, became world-famous for his work in the Jeseníky area, where he promoted natural healing methods.

Some mineral water springs can have curative effects. They affect the intestine, liver, spleen, kidneys, urinary system and other tissues. The curative effect is based not only on the content of the mineral water, but on the temperature, the prescribed dosage and their correct allocation during the course of the day.

Arsenic has a cumulative character; therefore its income into the human body needs to be minimized. In varying amounts, it's often found in mineral springs. Its high toxicity and long-term use of waters with even low concentration of it can cause chronic disorders. The toxicity depends on its oxidation state. The compounds of  $\text{As}^{\text{III}}$  are five to twenty times as toxic as the compounds of  $\text{As}^{\text{V}}$ . Arsenic has been proven carcinogenic. Therefore, the creation of an easy and acceptable method to determine the amount of arsenic and its state is needed. Normally, its content isn't included on the bottle labels.

The aim of this thesis was the optimization of determination process of  $\text{As}^{\text{III}}$  and  $\text{As}^{\text{V}}$  in mineral waters using coulometric and voltametric methods.

In this thesis was used the flow-through stripping coulometric analysis and differential pulse cathodic stripping voltametric analysis in combination with golden electrode for the determination of arsenic.

The arsenic content ranged between 0,39 and 136,55  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . The highest amount of arsenic was found in mineral water Ida

The coulometric determination has shown that  $\text{As}^{\text{III}}$  isn't present in the common mineral waters. Elevated content of  $\text{As}^{\text{V}}$  has been found only in Bílinská kyselka ( $34,45 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) and Vincentka ( $25,05 \mu\text{g.l}^{-1}$ ). High amount of arsenic was found in mineral water Ida (ranging between  $94,43$  and  $136,55 \mu\text{g.l}^{-1}$ , amount varies with the type of specimen). The only form present was the less toxic  $\text{As}^{\text{V}}$ . In these waters, the highest arsenic content allowed ( $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) was exceeded.

According to Pitter (1996), the Carlsbad springs contain as much as  $150 \mu\text{g.l}^{-1}$  and Ida contains  $740 \mu\text{g.l}^{-1}$  of arsenic. However, this wasn't proven.

Well water from the Sedlčany area, which contains  $13,8 \mu\text{g.l}^{-1}$  of arsenic, as measured by Hygienic Laboratory in Příbram, was used as a control sample. Our measurements using the flow-through stripping coulometric analysis showed arsenic content of  $14,85 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

It can be said, that flow-through stripping coulometric analysis is a suitable method of determining the trace amount of arsenic in mineral waters.

Key words: mineral waters, coulometry, voltametry,  $\text{As}^{\text{III}}$ , total As

# Obsah

---

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1. Cíl práce</b> .....	<b>10</b>
<b>2. ARSEN</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1. Fyzikálně-chemické vlastnosti arsenu</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2. Výskyt a použití arsenu</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3. Výskyt arsenu v potravinách</b> .....	<b>13</b>
<b>2.4. Toxické účinky arsenu</b> .....	<b>14</b>
2.5.1. Oxid arsenitý – sesazený král mezi anorganickými jedy .....	14
2.5.2. Anorganické sloučeniny arsenu .....	15
2.5.3. Organické sloučeniny arsenu .....	16
2.5.4. Sloučeniny arsenu jako léčivo .....	16
<b>2.5. Monitoring dietární expozice člověka v ČR v letech 1994-2007</b> .....	<b>17</b>
<b>2.6. Technologie úpravy pitné vody k odstranění arsenu</b> .....	<b>18</b>
<b>2.7. Metody stanovení arsenu</b> .....	<b>19</b>
<b>3. MINERÁLNÍ VODY</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1. Druhy vod</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2. Minerální vody</b> .....	<b>24</b>
3.2.1. Arsenové minerální vody.....	25
3.2.2. Balená přírodní minerální voda .....	25
3.2.3. Optimální hodnoty minerálních látek .....	26
<b>3.3. Jak a proč se jímají minerální vody</b> .....	<b>27</b>
<b>3.4. Hygienické požadavky na obsah arsenu v pitné vodě v ČR</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5. Požadavky na jakost minerálních vod</b> .....	<b>28</b>
3.5.1. Druhy balených vod.....	28
3.5.2. Obecné požadavky na balené vody .....	29
3.5.3. Způsoby úpravy balených vod.....	29
3.5.4. Požadavky na označování balených přírodních minerálních vod .....	30
3.5.5. Požadavky na jakost balených přírodních minerálních vod .....	32
<b>3.6. Jakost pitné vody z veřejných vodovodů</b> .....	<b>34</b>
<b>3.7. Spotřeba minerálních vod v ČR v letech 1963-2007</b> .....	<b>34</b>
<b>3.8. Přehled českých a moravských lázní s produkcí minerálních vod</b> ...	<b>37</b>



<b>4. MATERIÁL A METODY .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1. Analyzované minerální vody .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2. Složení analyzovaných minerálních vod .....</b>	<b>42</b>
<b>4.3. Použité chemikálie .....</b>	<b>43</b>
<b>4.4. Coulometrie .....</b>	<b>44</b>
4.4.1. Coulometrické stanovení arsenu v minerálních vodách .....	45
4.4.2. Přístrojové vybavení .....	45
4.4.3. Pracovní postup .....	45
<b>4.5. Voltametrie .....</b>	<b>46</b>
4.5.1. Voltametrické stanovení arsenu .....	48
4.5.2. Přístrojové vybavení .....	48
4.5.3. Pracovní postup .....	50
4.5.4. Redukce As <sup>V</sup> na As <sup>III</sup> .....	49
<b>4.6. Stanovení pH .....</b>	<b>51</b>
<b>5. VÝSLEDKY .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1. Coulometrické stanovení arsenu .....</b>	<b>52</b>
5.1.1. Stabilita standardních roztoků As <sup>III</sup> .....	52
5.1.2. Stanovení celkového arsenu v minerálních vodách .....	52
5.1.3. Stanovení As <sup>III</sup> v minerálních vodách .....	55
<b>5.2. Voltametrické stanovení As<sup>III</sup> na zlaté elektrodě .....</b>	<b>57</b>
<b>5.3. Stanovení pH minerálních vod .....</b>	<b>61</b>
<b>6. DISKUZE .....</b>	<b>62</b>
<b>7. ZÁVĚRA A DOPORUČENÍ .....</b>	<b>65</b>
<b>8. SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>66</b>
<b>9. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>71</b>
<b>10. PŘÍLOHY .....</b>	<b>72</b>
10.1. Zařízení k voltmetrickému stanovení As .....	72
10.2. Zařízení k coulometrickému stanovení As .....	72
10.3. Chemické složení ldy .....	73
10.4. Výsledky AAS .....	73
10.5. Jímací zařízení minerálních vod .....	74

# 1. Úvod

---

## 1.1. Cíl práce

Název „minerální vody“ je běžně přiřazován přírodním vodám s vyšším nebo alespoň výjimečným obsahem rozpuštěných látek, vodám proplyněným, vodám s vyšší teplotou či vyšší radioaktivitou než je v okolních vodách běžné.

Některé prameny minerálních vod mohou mít léčivé účinky. Působí na trávicí ústrojí, játra, slinivku, ledviny a močové cesty i na ostatní tkáně. Na léčivé účinky má vliv nejen složení minerálních vod, ale i jejich teplota, množství předepsaného pramene a rozdělení pitných dávek během dne.

V minerálních vodách se však mohou objevit nejen „prospěšné“ minerální látky, ale i látky zdraví škodlivé jako jsou např. toxické prvky. Hlavními představiteli toxických prvků jsou kadmium, rtuť, olovo a arsen. Relativní nebezpečnost a toxicita závisí na celkové koncentraci kovu v prostředí a hlavně na formě kovu (specii) a její biodostupnosti. Toxické kovy se vážou na  $-SH$ ,  $-COOH$  a  $-NH_2$  skupiny biomolekul (např. bílkovin), mění jejich strukturu, funkci a působí tak např. jako enzymatické „jedy“. Arsen je polokov a jako takový není toxický, v organismu je ale metabolizován na toxické látky.

Arsen patří mezi nervové jedy kumulativního charakteru a je tedy třeba jeho přísun do lidského organismu minimalizovat. Z těchto důvodů je třeba vyvinout vhodnou a snadnou metodu, kterou by bylo možné stanovit nejen celkový obsah As, ale i jeho specii.

Cílem této diplomové práce byla optimalizace stanovení  $As^{III}$  a  $As^V$  v minerálních vodách s využitím coulometrických a voltametrických metod a porovnání s výsledky získanými dřívějším měřením metodou AAS:

## 2. Arsen

---

### 2.1. Fyzikálně-chemické vlastnosti arsenu

Arsen je polokov známý od starověku. Vyskytuje se ve třech alotropických modifikacích – středně šedý kov  $\alpha$ -modifikace romboedrická, černý prášek  $\beta$ -modifikace amorfní a žlutý krystalický  $\gamma$ -modifikace ortorhombická (Vohlídal et al. 1999).

**C.A.S. Registry Number:** 7440-38-2

**Symbol prvku:** As

**Protonové číslo:** 33

**Atomová hmotnost:** 74,92 g.mol<sup>-1</sup>

**Bod tání:** 817 °C

**Bod vzplanutí:** 613 °C

**Hustota:** 5,73 g.cm<sup>-3</sup>

Arsen je na suchém vzduchu stálý, ve vlhkém prostředí se jeho povrch v důsledku oxidace mění a při delší expozici se na něm vytváří černý povlak. Při zahřívání na vzduchu sublimuje a oxiduje se na jedovatý As<sub>4</sub>O<sub>6</sub> česnekového zápachu. Při teplotách nad 250 až 300 °C je reakce provázena fluorescencí. Arsen zapálený v kyslíku hoří oslnivým plamenem za tvorby As<sub>4</sub>O<sub>6</sub>. Špatně reaguje s vodou, roztoky hydroxidů a neoxidujícími kyselinami. Zředěnou kyselinou dusičnou se oxiduje na kyselinu trihydrogenarsenitou, horkou koncentrovanou kyselinou dusičnou na kyselinu trihydrogenarseničnou (Greenwood, 1993).

Arsen má značnou schopnost kumulovat se v říčních sedimentech. Je vysoce jedovatý a dlouhodobé požívání vod s malými koncentracemi As způsobuje chronická onemocnění. Jeho toxicita závisí na oxidačním stupni. Sloučeniny As<sup>III</sup> jsou asi pětikrát až dvacetkrát toxičtější než sloučeniny As<sup>V</sup>. Arsen patří mezi inhibitory biochemických oxidací. Byly prokázány i jeho karcinogenní účinky. Arsen patří mezi nervové jedy kumulativního charakteru (kumuluje se např. ve vlasech) (Pitter, 1999).

## 2.2. Výskyt a použití arsenu

V přírodě se As vyskytuje převážně ve formě rud, (Vohlídal et al. 1999) – arsenopyrit  $\text{FeAsS}$ , auripigment  $\text{As}_2\text{S}_3$  (Greenwood, 1993), enargit  $\text{As}_2\text{S}_5 \cdot 3\text{Cu}_2\text{S}$ , loellengit  $\text{FeAs}_2$ , reagliar  $\text{As}_4\text{S}_4$ , nikelin  $\text{NiAs}$  (Vohlídal et al. 1999), a je součástí hornin a půd, jejichž zvětráváním se dostává do podzemních a povrchových vod (Pitter, 1999). V zemské kůře je obsah arsenu  $1,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Velíšek, 2002). As netvoří těkavé sloučeniny, do ovzduší se dostává spalováním fosilních paliv, v nedávné minulosti také aplikací herbicidů a insekticidů. Je obsažen ve výluzích z elektrárenských popílků. Je obsažen v odpadních vodách z praní prádla, protože ve velké míře doprovází fosfor (Pitter, 1999). Dalším zdrojem arsenu je vulkanická činnost a zvětrávání hornin (Velíšek, 2002).

Ve vodách se arsen vyskytuje v oxidačním stupni III a V. Nejstabilnější formou ve vodě je forma  $\text{As}^{\text{V}}$  v prostředí neutrálním a alkalickém. Protože je arsen v přírodě v malých množstvích velmi rozšířen, je běžnou součástí podzemních i povrchových vod. Jedná se o koncentrace jednotek až desítek  $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ . Za přirozené pozadí v podzemních vodách se považuje koncentrace asi  $5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ . Minerální vody karlovarských pramenů obsahují průměrně asi  $150 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  arsenu. V minerální vodě IDA (Běloves) byly nalezeny koncentrace kolem  $740 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ . V mořské vodě se koncentrace arsenu pohybuje obvykle v rozmezí asi od  $1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  do  $9 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  (Pitter, 1999).

Kontaminované půdy obsahují až  $550 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , kde se arsen vyskytuje převážně ve formě arsenitanů a arseničnanů železa a hliníku, které jsou málo rozpustné, zvláště v kyselejších půdách (Pavlíková, 2008). Jsou silně sorbovány hydratovanými oxidy Fe, Al, hydroxidy, půdním humusem, jílovými minerály i kationty těžkých kovů. V suchém klimatu jsou sloučeniny arsenu prakticky nepohyblivé. Pokud As není sorbován, dochází k biologické methylaci. Methylovaný As se může volatilizací uvolňovat do atmosféry.

Detoxikace půd obsahujících arsen je možná síranem železnatým, vápencem, vysokými (melioračními) dávkami fosforu.

Za normální obsah As v rostlinách je považován  $0,01-1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Ze zemědělských plodin jsou na účinky arsenu nejcitlivější luskoviny. Arsen je chemicky podobný fosforu a účastní se řady buněčných reakcí, např. obsazuje místa ve fosfátových skupinách DNA místo fosforu. V rostlinách se arsen váže na síru, která je součástí fytochelatinů. Nejvyšší koncentrace As

v listech a stoncích jsou v místech uložených anthokyanových pigmentů. Fytotoxicita As se v rostlinách projevuje plazmolýzou pletiv kořenů a žloutnutím listů vedoucím až k nekróze špiček a okrajů listů. Prokázán byl vliv zvýšené koncentrace As na snížení absorpce některých esenciálních mikroelementů, jako jsou bor, měď, mangan a zinek (Pavlíková, 2008).

Dříve měli sloučeniny arsenu široké uplatnění v zemědělství jako herbicidy. Přes 90 % používaného As se nyní spotřebovává na výrobu přípravků na konzervaci dřeva ve formě kyseliny trihydrogenarseničné, která se také používá jako vysoušecí prostředek při defoliaci bavlníkových lusků před sklizní (IRZ, n.d.). Dříve bylo naprosto běžnou záležitostí, že handlíři dávali arsen koňům do krmení, srst se po něm leskla a koně vypadali mladší a zdravější (Myšičková, 2008). Z arsenitanu sodného se připravují lázně pro odhmyzování ovcí a hovězího dobytka a používá se též v boji proti vodním plevelům. Oxid arsenitý se dále používá k odbarvování lahvového skla (Greenwood, 1993). Arsenitany a arseničnany se používaly ve veterinární praxi k zmírnění příznaků otravy dobytka selenem (IRZ, n.d.). Dalším využitím arsenu jsou slitiny s Pb používané např. v akumulátorech nebo při výrobě broků a střeliva. Významné jsou polovodiče GaAs a InAs, které se používají při výrobě diod emitujících světlo (LED), tunelových diod, infračervených zářičů a okének laserů (Greenwood, 1993).

### **2.3. Výskyt arsenu v potravinách**

Vysoké koncentrace arsenu se vyskytují převážně v mořských rybách, mořských korýších a měkkýších. Např. krevety mohou obsahovat až  $26 \text{ mg.kg}^{-1}$  a humr dokonce  $122 \text{ mg.kg}^{-1}$ . V těchto potravinách se převážná část arsenu vyskytuje v organických sloučeninách. V rostlinách je vyšší množství arsenu obsaženo v ovsu a rýži, jedná se o desítky  $\text{mg.kg}^{-1}$ , a v některých vínech.

Přijatelná denní dávka arsenu pro dospělého člověka je asi  $0,14 \text{ mg.kg}^{-1}$  při tělesné hmotnosti 70 kg. Ve skutečnosti je denní příjem 0,017 až  $0,13 \text{ mg.kg}^{-1}$  arsenu (Velíšek, 2002).

## 2.4. Toxické účinky arsenu

Kovový arsen není jedovatý, v organismu je ale metabolizován na toxické látky, nejčastěji na oxid arsenitý (Paleček et al., 1996). Toxické účinky arsenu souvisí s jeho vlivem na aktivitu některých enzymů.

Chronická otrava se projevuje ztrátou tělesné hmotnosti, zvýšenou slinivostí a zhoršením zraku. Může se objevit ztráta paměti, zmatenost, zhoršení sluchu (Velíšek, 2002).

V lidském těle se arsen nachází ve stopách, pravděpodobně vázaný na nukleoproteiny. V organismu je transformován methylocí. Močí člověk denně vyloučí asi 0,1 – 0,5 mg As a stolicí asi 0,24 mg As (Pavlíková, 2008).

### 2.5.1. Oxid arsenitý – sesazený král mezi anorganickými jedy

Oxid arsenitý ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) je známý pod jmény arsenik, utrejch nebo otrušík, a k travičství používal od středověku. Některé z obětí – císař Otta III., bretaňský vévoda Coman II., papežové Sylvestr II. a Alexandr VI., Mistr Jan Campanus. Smrt Napoleona Bonaparta bylo urychlena sloučeninami arsenu. Mezi otrávené urozené dámy patří Jana Aragonská, Madam Francoise Athenais markýza de Montespan.

Aplikační způsoby jedu jsou velmi rozmanité – otrávené paruky, košile, rukavice, rtěnky, parfémy, líčidla, jehlice, stěvíce, hroty dýk nebo rohy knih (počítalo se s tím, že při otáčení stran si dotyční sliní prst). Arsenik známe i z české literatury, kdy Maryša nasypala Franckovi jed do kávy.

Rozbory vlasů císaře Napoleona Bonaparta také vykazovaly vysoké hodnoty arsenu. Nejpravděpodobnějším vysvětlením je, že arsenik byl obsažen v prostředku proti vypadávání vlasů, který císař používal. Do současnosti není známo, zda byl tráven úmyslně, nebo se jedná o náhodu.

Kovový arsen není příliš toxický. V organismu je však metabolizován na látky toxické – především na oxid arsenitý. Obecně platí, že sloučeniny trojmocného arsenu jsou akutně toxičtější než arsenu pětímocného. Ten však vykazuje významné účinky karcinogenní.

Akutní otrava po požití asi 0,4 g arseniku vede za prudkých bolestí hlavy k srdečnímu selhání a tudíž ke smrti už v několika hodinách. Požití nižší dávky se projevuje bolestí břicha, vodnatými a krvavými průjmy, neutišitelným zvracením a následnou závažnou dehydrací.

Dochází k poškození jater a ledvin, dostavuje se srdeční ischemie a nakonec opět srdeční selhání.

U chronických otrav jsou důležité další symptomy – ztlustění a hnědá pigmentace kůže v místě otlaků, poškození sliznic, degenerativní změny nervové soustavy a hypertenze. Dlouhodobá otrava je doprovázena brněním a mravenčením v končetinách, hubnutím a celkovou tělesnou sešlostí.

Zajímavé je, že při malých, opakovaných dávkách si lze pro sloučeniny arsenu vypěstovat značnou toleranci.

Oxid arsenitý byl donedávna klasickým jedem deratizačním a řada sloučenin byla ve své době využívána v lékařské praxi. Král anorganických jedů byl ze svého trůnu sesazen v roce 1840, kdy se našla metoda, jak ho prokázat. Do té doby byly symptomy otravy arsenikem přisuzovány jiným chorobám (Horák, 2004).

Jedním z posledních případů otravy arsenem je případ americké velvyslankyně v Římě, který se stal v 50. letech 20. století. Přiotrávila se, když pobývala v rezidenci vyzdobené ornamenty natřenými svinibrodskou zelení, která obsahuje octan a arsenitan měďnatý (Pavlíková, 2008).

### 2.5.2. Anorganické sloučeniny arsenu

Sloučeniny trojvazného arsenu jsou mnohem toxičtější než pětivazného. Patří mezi ně významné jedy s mutagenními, teratogenními a karcinogenními účinky. Zvláště citlivé na sloučeniny arsenu jsou včely, jejich hromadný úhyn může být indikátorem znečištění prostředí těmito látkami (Paleček et al., 1996).

Při akutní otravě oxidem arsenitým ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) se objevují bolesti břicha, zvracení a průjem. Kůže je vlhká, puls slabý a dýchání slabé a přerušované. Smrtelná dávka oxidu arsenitého je pro dospělého člověka 70-180 mg (Velíšek, 2002). Oxid arsenitý (arsenik, otrušík) je jed známý od středověku (Paleček et al., 1996).

Chlorid arsenitý ( $\text{AsCl}_3$ ) je dýmající kapalina, která se vstřebává i pokožkou. Byl použit jako bojová látka (Paleček et al., 1996).

Sulfid arsenitý ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) je nerozpustný, v čisté formě není prakticky toxický (Paleček et al., 1996).

Arsan ( $\text{AsH}_3$ ), který vzniká při rozkladu arsenidů kovů vodou a kyselinami a rozpouštěním kovů v kyselinách, páchne po česneku. Je vysoce toxický, vyvolává rychlou hemolýzu krve, plicní edém, selhání srdce. Akutní otravy bývají smrtelné (Paleček et al., 1996).

### 2.5.3. Organické sloučeniny arsenu

Organické sloučeniny arsenu patří mezi významné jedy a jejich toxicita je srovnatelná s jejich anorganickými sloučeninami. Některé deriváty byly využívány jako chemoterapeutika (*Salvarsan*, *Neosalvarsan*), jiné jako bojové látky (dichlorethylarsin = *Dick*, dichlor-2-chlorovinylarsin = *Lewisite*, chlor-difenylarsin = *Clark I*) nebo agrochemikálie (dinatrium-methylarsonát = *Sodar*, kyselina arsanilová = *Atoxyl*, kyselina 4-hydroxy-3-nitroarsonová = *Roxarson*). Bojové látky dráždí sliznice a pokožku s podobnými účinky jako yperit. Intoxikace se projevuje nervovými poruchami jako je např. encefalitida nebo polyneuritida a poškozením jater. U chronických otrav je časté poškození očí a pokožky.

Paleček et al. (1996) uvádí, že na organické sloučeniny arsenu je člověk citlivější než pokusná zvířata, což je v rozporu s Pavlíkovou (2008), která uvádí, že organické sloučeniny jsou toxičtější pro mikroorganismy než pro člověka. Je to dáno odlišnou citlivostí jejich enzymů vůči těmto sloučeninám.

Organické sloučeniny jsou toxické jak pro rostliny, tak pro živočichy. Po intoxikaci těmito sloučeninami je vždy nutné vyhledat lékařskou pomoc, protože akutní otravy často končí smrtí (Paleček et al., 1996).

### 2.5.4. Sloučeniny arsenu jako léčivo

Již od starověku byly nerosty obsahující arsen používány nejen traviči jako jedy, ale i jako léčiva. Lékaři a alchymisté používali jak bílý arsenik, tedy oxid arsenitý, tak i arsenik červený či žlutý, což byly různé formy sulfidu arsenu. Vzhledem k vysoké toxicitě však byly vzniklé lektvary použitelné jen lokálně, při perorálním podávání vykazovaly závažné nežádoucí účinky. Léky na bázi arseniku používal i Hippokrates, který je doporučoval k výplachům abscesů, nebo Galén, jenž je považoval za vhodné při léčbě některých kožních nemocí (Košítek, 2008).



V roce 1786 byl objeven Fowlerův roztok (1% roztok  $\text{KH}_2\text{AsO}_4$ ), který se více než 150 let předepisoval jako lék proti nejrůznějším chorobám (IRZ; Kořístek, 2008). S největší pravděpodobností byl Fowlerovým roztokem otráven Charles Darwin, který tento roztok používal dlouhodobě (Pavlíková, 2008).

Na přelomu 19. a 20. století pátral Paul Ehrlich, který je autorem termínu chemoterapie (Smíšek, 2007), po látkách toxických pro původce spavé nemoci, ale neškodných pro člověka. Zpracoval přes 900 látek. Zpětně tyto látky testoval jeho spolupracovník Sachario Hata na účinky proti původci syfilis. Jeho požadavkům vyhovoval preparát č. 606, který byl užíván pod názvem *Salvarsan*. Jedná se o derivát anilinu, napojený na dvě molekuly arsenu. První zmínky o preparátu č. 606 se objevily v roce 1910. Problémem byla nutnost injekčního podávání a relativní rychlost, jakou po otevření originální ampule vznikaly v léku toxické oxidační produkty, které vyvolávaly např. slepotu (Lefnerová, n.d.). Ve třicátých letech minulého století byl nahrazen *Neosalvarsanem* ( $\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{O}_4\text{N}_2\text{SAs}_2\text{Na}$ ) (IRZ). Oba dva léky se přestaly používat až zavedením penicilínu po druhé světové válce (Lefnerová, n.d.). *Salvarsanem* byla zahájena éra chemoterapie.

V současné době se sloučeniny arsenu používají jako lék na některé formy leukémie (IRZ; Kořístek, 2008). Jedná se o  $1\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$  roztok oxidu arsenitého *Trisenox* (SÚKL, n.d.).

## 2.5. Monitoring dietární expozice člověka v ČR v letech 1994-2007

Expozice populace arsenu je zjišťována od roku 1994. V průběhu roku 1994 byly analyzovány reprezentativní vzorky poživatin na řadu organických a anorganických „cizorodých látek“ tak, aby bylo možné odhadnout jejich příjem (expoziční dávku) populace a zhodnotit jejich význam z hlediska možných zdravotních rizik. Takové hodnocení je nezastupitelným materiálem při managementu zdravotních rizik odborníky státní správy, ale svou podstatou je zajímavé i pro širokou veřejnost, protože usnadňuje její orientaci při přechodu k aktivní ochraně svého zdraví. Je rovněž důkazem, že státu není ochrana zdraví konzumentů lhostejná. Důležitou roli hraje z hlediska politicko-ekonomického i na mezinárodní scéně (SZÚ, 1994-2007).

**Tab. 2.1.** *Monitoring dietární expozice člověka v ČR v letech 1994-2007 v PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake = Přechodný tolerovatelný týdenní příjem).*

rok	1994	1995	1996	1997	1998	1999
PTWI	> 6%	> 6%	> 6%	4 – 6 %	4 – 6 %	4 – 6 %
rok	2000	2001	2002	2003	2005	2007
PTWI	3,8 %	4,5 %	3,9 %	3,5 %	4,2 %	4,0 %

Teoretický odhad pravděpodobnosti zvýšení počtu nádorových onemocnění populace v důsledku roční expozice vybraným chemickým látkám činil v ČR v roce 2002 asi 68 případů. Nejvyšší podíl na zvýšení rizika představovaly tradičně PCB (polychlorované bifenyly) (38 případů) a As (17 případů).

Nejvýznamnějším expozičním zdrojem byla rýže a potraviny z mořských ryb. Odhadovaná expoziční dávka arsenu a jeho anorganických sloučenin nepředstavuje pravděpodobně zdravotní riziko pro populaci. Asi 2/3 množství arsenu v rýži tvoří anorganické sloučeniny, v rybách je naopak větší podíl organických sloučenin As.

## **2.6. Technologie úpravy pitné vody k odstranění arsenu**

V České republice se k odstraňování arsenu z vody používá technologie sorpce na granulovaný hydroxid oxid železitý, která je selektivní a velmi účinná, schopná snížit obsah As pod limitní hodnotu 10 µg/l. Tato technologie je v ČR aplikována asi v 10 úpravárnách vody (většinou se jedná o malé úpravní zásobující obce o desítkách či stovkách obyvatel; největší zásobuje okolo 7 tisíc obyvatel).

Více aplikací má přípravek GEH, který je vedle komunálního vodárenství distribuován i v zařízení na úpravu vody v domácnosti (zařízení Dionela FAS4 firmy Aqua Aurea s.r.o.) (Kožišek et al., 2008).

## 2.7. Metody stanovení arsenu

V literatuře je uvedeno značné množství různých postupů pro polarografické a voltametrické stanovení arsenu. Nejčastěji používanou metodou je rozpouštěcí voltametrie, katodická i anodická. Při stanovení arsenu ve vodách se nejčastěji používá voltametrie ve spojení s visící rtuťovou kapkovou elektrodou (HMDE).

Zima et al. (1993) stanovoval arsen v mořské vodě pomocí katodické rozpouštěcí voltametrie (CSV) na visící rtuťové kapkové elektrodě (HMDE) v přítomnosti pyrrolidin dithiokarbamátu (PDC).

As<sup>III</sup> tvoří stabilní komplex s PDC v kyselém prostředí. Tvorba komplexu byla využita pro kvantitativní extrakci do chloroformu při pH 0,6 – 6.

Potenciál akumulace při této metodě byl stanoven na -300 mV, přičemž scan byl zaznamenáván až od hodnoty potenciálu 0 V. Optimální podmínky tohoto stanovení byly při koncentraci PDC 0,5  $\mu\text{mol.l}^{-1}$  a pH = 0,8.

Metoda byla aplikována na stanovení As v Atlantském oceánu. Limit detekce této metody byl 3  $\text{nmol.l}^{-1}$  As.

De Carvalho et al. (2007) použil stejnou metodu v přítomnosti diethyl-dithiokarbamát sodný (SDDC). Redukce byla provedena směsí thiosíranu a thiosiřičitanu sodného a následným varem vzorku při 80 °C 45 minut. Mez detekce byla stanovena 1,05  $\mu\text{g.l}^{-1}$ .

CSV s HMDE použil ke stanovení arsenu v přírodních vodách i Ferreira a Barros (2002). Cílem této práce bylo vyvinout vhodnou metodu ke stanovení As<sup>III</sup> a celkového anorganického As v přírodních pramenitých vodách a minerálních vodách s využitím square wave katodické rozpouštěcí voltametrie (SWCSV). Jako redukční činidlo byl v této metodě použit thiosíran sodný. Mez stanovení byla stanovena 0,2 ppb pro As<sup>III</sup> a 2 ppb pro As<sup>V</sup>. Stejnou metodu pro stanovení As<sup>III</sup> použil Li a Smart (1995). mez detekce této metody byl 0,3  $\text{nmol.l}^{-1}$ , přičemž koncentrace mědi v základním elektrolytu byla 0,8  $\text{mmol.l}^{-1}$  v prostředí 2M kyseliny chlorovodíkové, čas akumulace 60s.

Stanovením As<sup>V</sup> metodou katodické rozpouštěcí voltametrie se zabýval také Grelauch a Henze (1994). Metoda je založena na redukce As<sup>V</sup> v prostředí mannitolu a chloristanu, společným srážením s mědí a další redukcí na arsan a následným voltametrickým stanovením

na HMDE. Pro čas akumulace 60 s byla určena mez detekce  $4,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Metoda může být použita pro analýzu arsenu ve standardních vodních sedimentech a vzorcích vody.

Stanovením As diferenční pulsní katodickou rozpouštěcí voltametrií se zabývala i Chýlková et al. (1999), která při stanovení používala stacionární rtuťovou kapku. Stanovení bylo prováděno v prostředí 0,75M až 3,5M kyseliny chlorovodíkové, 0,25 % hydrazinu, za přítomnosti měďnatých iontů o koncentraci  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$ . Na rozdíl od Grelaucha a Henzeho (1994) zde byla použita vyšší doba akumulace, 90 nebo 180 s. Potenciál akumulace byl -400 mV. Při vyšších koncentracích  $\text{Cu}^{\text{II}}$  a zvyšující se době akumulace se pík posouvá k negativnějším potenciálům, při analýzách malých koncentrací hrozí nebezpečí, že pík arsenu splyne s píkem rozkladu základního elektrolytu.

Dále bylo zjištěno, že ke zlepšení reprodukovatelnosti metody vede vyřazení míchání při akumulaci. V reálných vzorcích je třeba  $\text{As}^{\text{V}}$  před vlastním měřením zredukovat na  $\text{As}^{\text{III}}$ , což bylo provedeno v prostředí HCl pomocí jodidu draselného (KI) pod inertní atmosférou.

Metoda byla aplikována ke stanovení arsenu v různých typech vod, např. minerální vody, výluhy stabilizátu elektrárenského popílku a mineralizovaná moč sklářských dělníků.

CSV byla použita i ke stanovení  $\text{As}^{\text{III}}$  a celkového arsenu (Profumo et al., 2005) v přírodních vodách v ppb a sub ppb koncentracích. Stanovení je založeno na tvorbě intermetalického komplexu As-Cu během akumulačního kroku. K redukci  $\text{As}^{\text{V}}$  na  $\text{As}^{\text{III}}$  byl použit dithionan sodný.  $\text{As}^{\text{III}}$  byl dále stanovován v prostředí HBr. Oproti již dříve popsaným stanovením anorganického As toto stanovení vyžaduje kratší čas vyloučení a menší množství mědi. Současně byla získána lepší lineární odezva v závislosti na koncentraci a více reprodukovatelné píky. Mez detekce pro  $\text{As}^{\text{III}}$  byla stanovena 0,01 ppb a pro  $\text{As}^{\text{V}}$  0,02 ppb pro dobu akumulace 300 s. Metoda byla aplikována na termální, pramenitou a mořskou vodu. Přítomnost organických forem arsenu nemá vliv na stanovení arsenu anorganického.

Ke stanovení As lze kromě HMDE využít i zlatou elektrodu. Kopanica a Novotný (1998) použili ke stanovení stopových množství  $\text{As}^{\text{III}}$  v roztocích, přírodních vodách a biologických materiálech metodu anodické rozpouštěcí voltametrie (ASV) s využitím zlaté diskové elektrody.

Nejvhodnějším prostředím pro stanovení arsenu byla 1M kyselina sírová a 0,1M kyselina chlorovodíková. Přítomnost kyseliny chlorovodíkové je nezbytná, nesmí však překročit koncentraci  $0,15 \text{ mol.l}^{-1}$ . K základnímu elektrolytu byl přidáván Triton X-100, díky kterému

jsou píky více symetrické a i vyšší. Potenciál akumulace byl zvolen -0,300 V, doba akumulace byla 1-300 s.

Lineární kalibrační závislost byla získána v rozmezí koncentrací od 0,2 do 250  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Metodu je možné použít pro různé typy přírodních vod.

Kromě voltametrie lze ke stanovení  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$  využít i další analytické metody.

Princip kolorimetrické metody molybdenovou modří je založen na oxidaci  $\text{As}^{\text{III}}$  a následné spektrometrické stanovení  $\text{As}^{\text{V}}$ . To je rozdíl oproti voltametrickým metodám, kde je možné stanovit pouze  $\text{As}^{\text{III}}$ . Metodou molybdenové modří byl sledován vliv denního světla, teploty a ostatních přítomných aniontů na tvorbu komplexu. Dále bylo provedeno srovnání účinností pěti běžných oxidačních činidel. Nejúčinnějším oxidačním činidlem byl prokázán chlorid železitý ( $\text{FeCl}_3$ ), je možné použít i chlornan sodný ( $\text{NaClO}$ ) a manganistan draselný ( $\text{KMnO}_4$ ). Nevhodným oxidačním činidlem byl peroxid vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a oxid manganičitý ( $\text{MnO}_2$ ).

Optimální tvorby komplexu bylo dosaženo za 1 hodinu při teplotě 20 °C. Přítomné anionty v obvyklých koncentracích nemají vliv na rychlost tvorby komplexu.

Detekční limit této metody byl stanoven 20  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Metoda je vhodná pro stanovení arsenu ve vodách obsahujících nízké koncentrace fosforečnanů a organických látek.

Coulometricky byl arsen stanovován v arsenidu gallitém ( $\text{GaAs}$ ) (Cullen, 1992), který se používá v elektrotechnice. Cílem této práce bylo vyvinout analytickou metodu pro stanovení arsenu s dostatečnou přesností a použitelnou pro rutinní stanovení v  $\text{GaAs}$ . Toho bylo dosaženo rozpouštěním  $\text{GaAs}$  v prostředí hydroxidu sodného ( $\text{NaOH}$ ) a peroxidu vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a následnou redukcí oxidem siřičitým ( $\text{SO}_2$ ) v citrátovém pufru.

Ronkart et al. (2006) a Wang et al. (2007) provedli analýzu různých specií arsenu metodou HPLC a hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). ICP-MS je ultrastopová analytická metoda sloužící ke stanovení obsahu stopových množství jednotlivých prvků v analyzovaném vzorku. Studován byl  $\text{As}^{\text{III}}$ ,  $\text{As}^{\text{V}}$ , monomethylarseničná kyseliny ( $\text{MMAA}^{\text{V}}$ ), dimethylarsinová kyseliny ( $\text{DMAA}^{\text{V}}$ ) a arsenobetain ( $\text{AsBet}$ ).

Ronkart et al. (2006) použil iontovou chromatografii ke stanovení arsenu v různých druzích vod. Vyvinutá metoda vykazovala vysokou citlivost s detekčním limitem kolem 20  $\text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$  pro každou arsenovou specii. Často používanou mobilní fází pro stanovení arsenu

bývá hydrogenfosforečnan sodný a dihydrogenfosforečnan sodný, v tomto případě byl jako mobilní fáze použit dihydrogenfosforečnan amonný, který poskytuje stabilnější signál. HPLC analýza byla provedena gradientovou elucí s mobilní fází o složení 2,5mM a 50mM dihydrogenfosforečnanu amonného.

Hlavními druhy arsenu, které byly nalezeny v povrchových a pramenitých vodách byly  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$ .  $\text{AsBet}$  a  $\text{DMAA}^{\text{V}}$  byly nalezeny v některých povrchových vodách a v některých přírodních minerálních vodách nacházející se v sopečné oblasti. Obsah arsenu ve studovaných vzorcích překročil maximální přípustné koncentrace dané Evropskou legislativou, přičemž převládající formou byl  $\text{As}^{\text{V}}$ .

Wang et al. (2007) vyvinul metodu vhodnou i pro stanovení sloučenin selenu ve vzorcích biologického materiálu. HPLC analýza byla provedena také gradientovou elucí s mobilní fází o složení 10 a 50  $\text{mmol.l}^{-1}$  uhličitanu amonného ( $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ) ve 2% methanolu (MeOH) při pH 9. Metoda byla aplikována na stanovení koncentrací jednotlivých specií arsenu a selenu ve vzorcích moči a v rybách.

Grotti a Frache (2007) popsali přímé stanovení arsenu v mořské vodě metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem s kvadrupólovou celou (ICP-DRC-MS). Minimální detekovatelná koncentrace As byla stanovena 40  $\text{ng.l}^{-1}$ .

Technikou atomové absorpční spektrometrie (AAS) je možné stanovit jednotlivé specie As (Hagarová, 2006). Vzhledem k tomu, že  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$  mají rozdílné toxické účinky, nepostačuje stanovit pouze obsah celkového arsenu ve vzorku, ale je třeba stanovit jednotlivé specie. Jedná se především o techniku generování hydridů (HGAAS).

Metoda je založena na měření absorpce záření zdroje při průchodu oblakem atomizovaného vzorku. Tento oblak je v přístroji vytvářen pomocí plamene. Zdrojem světla je výbojka s dutou katodou. Tato výbojka je obvykle konstruována pouze pro jeden prvek a vydává intenzivní záření na charakteristické vlnové délce tohoto prvku. Generování těkavých hydridů je založeno na redukci analytu na hydrid v kapalně fázi, jeho převedení do plynné fáze a následné atomizaci hydridů.

## 3. Minerální vody

---

### 3.1. Druhy vod

Voda je nezbytná pro život. V lidském těle je přibližně 70 % vody a v rostlinách až 90 %. Voda je velmi důležitá v průmyslu, jedná se především o průmysl papírenský, kožedělný, potravinářský a textilní. V chemickém průmyslu se voda využívá jako surovina, ale i jako rozpouštědlo, ve formě páry k ohřevu a používá se jako chlazení.

Veškerá voda na zemi tvoří přibližně 60 % zemského povrchu (Hovorka, 2005).

Podle Pittera (1999) se vody rozdělují podle původu (přírodní, odpadní), výskytu (atmosférické, povrchové, podzemní) a použití (pitná, užitková, provozní, odpadní)

#### **Přírodní vody**

- Atmosférická voda – veškerá voda v ovzduší bez ohledu na skupenství.
- Podzemní voda – voda přirozeně se vyskytující v horninovém prostředí, jedná se o vodu v zemských dutinách a zvodnělých zemských vrstvách.
- Minerální voda – voda s vyšším nebo alespoň výjimečným obsahem rozpuštěných látek.
- Povrchové vody – všechny vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu.
- Mořská voda – voda všech oceánů a moří. Obsahuje cca 35 g.l<sup>-1</sup> solí a tvoří 97 % veškeré vody na zemi (Hovorka, 2005).

#### **Pitná, užitková a provozní voda**

- Pitná voda – voda zdravotně nezávadná, která ani při trvalém požívání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým nebo pozdním působením na zdraví spotřebitele a jeho potomstva a jejíž smyslově postižitelné vlastnosti nebrání jejímu požívání.
- Užitková voda – hygienicky nezávadná voda, která není určena k pití a vaření.
- Provozní voda – voda pro různé výrobní a nevýrobní účely, jejíž jakost odpovídá příslušnému způsobu použití.
- Voda v zemědělství a rybářství – voda používaná k zásobování zemědělských podniků a voda pro zavlažování, voda vhodná k přímému působení na ryby a zaručující vývin potravy pro ryby.
- Voda ve stavebnictví

## **Odpadní voda**

- Splaškové odpadní vody – vody nejvíce znečištěné močí a fekáliemi.
- Průmyslové odpadní vody – vody znečištěné podle použití v různých průmyslových odvětvích.

## **3.2. Minerální vody**

Minerální voda je přírodní podzemní voda s vysokým obsahem rozpuštěných minerálních solí (nad 1 000 mg.l<sup>-1</sup>), která je nasycena oxidem uhličitým. Vody mající teplotu nad 24 °C se označují jako termy a vody s teplotou nad 50 °C jako vřídla (Hovorka, 2005).

Pitter (1999) uvádí, že podle celkové mineralizace se rozlišují vody slabě mineralizované (1 až 5 g.l<sup>-1</sup>), středně mineralizované (5 až 15 g.l<sup>-1</sup>) a silně mineralizované (nad 15 g.l<sup>-1</sup>). Podle hlavních iontových složek se vody zařazují do tříd podle převažujícího aniontu a do tříd podle převažujícího kationtu.

1. třída: vody hydrogenuhličitanové
2. třída: vody síranové
3. třída: vody chloridové
4. třída: vody s jiným převažujícím aniontem
  1. skupina: vody sodné
  2. skupina: vody hořečnaté
  3. skupina: vody vápenaté
  4. skupina: vody s jiným převládajícím kationtem

Vody obsahující při vývěru nejméně 5 mg.l<sup>-1</sup> jodidů se nazývají jodidové, vody obsahující nejméně 10 mg.l<sup>-1</sup> se nazývají železnaté, vody obsahující nejméně 0,7 mg.l<sup>-1</sup> arsenu se nazývají arsenové. Jestliže vody obsahují ve větší koncentraci některé další biologicky nebo farmakologicky významné látky (např. fluor, měď, zinek, molybden, kobalt, lithium a další), lze je označit jako vody se zvýšeným obsahem příslušné látky (Pitter, 1999).



### 3.2.1. Arsenové minerální vody

Arsenové vody jsou minerální vody s koncentrací arsenu větší než 0,7 mg.l<sup>-1</sup>. Příkladem může být pramen Glauber III ve Františkových lázních (0,84 mg.l<sup>-1</sup>). Těsně pod uvedenou hranicí je např. minerální voda Ida (Běloves) (0,55 mg.l<sup>-1</sup>) (Pitter, 1999). V dnešní době se k pitné kúře používá pouze pramen Glauber I, II a IV (Bocková, 2008).

### 3.2.2. Balená přírodní minerální voda

Balená přírodní minerální voda je výrobek z chráněného podzemního zdroje přírodní minerální vody schváleného Ministerstvem zdravotnictví. Tuto vodu lze rovněž upravovat pouze uvedenými fyzikálními způsoby a nelze do ní přidávat jiné látky než oxid uhličitý. Zatímco dříve mohl být v ČR za zdroj přírodní minerální vody prohlášen jen takový zdroj, kde voda obsahovala nejméně 1000 mg minerálních (rozpuštěných) látek nebo 1000 mg CO<sub>2</sub> v 1 litru, dnes to v souladu s evropskými předpisy již neplatí a za (přírodní) minerální vodu může být prohlášena prakticky každá podzemní voda, která má „původní čistotu“, je stabilní a její zdroj je dobře chráněn. Bez ohledu na to, jaké množství minerálních látek obsahuje.

Protože ale na obsahu minerálních látek záleží, zda lze vodu pít denně bez omezení množství nebo jen doplňkově a občas, muselo být do srpna 2006 na etiketě společně s označením druhu minerální vody z hlediska obsahu CO<sub>2</sub> (přírodní minerální voda přirozeně sycená – obohacená – sycená – dekarbonovaná – nesycená) uvedeno rovněž hodnocení z hlediska celkové mineralizace (rozpuštěných pevných látek – RL):

**Tab. 3.1.** *Druhy minerální vody z hlediska celkové mineralizace*

druh minerální vody	obsah RL
velmi slabě mineralizovaná	do 50 mg.l <sup>-1</sup>
slabě mineralizovaná	50 – 500 mg.l <sup>-1</sup>
středně mineralizovaná	500 – 1500 mg.l <sup>-1</sup>
silně mineralizovaná	1500 – 5000 mg.l <sup>-1</sup>
velmi silně mineralizovaná	> 5000 mg.l <sup>-1</sup>

Výše uvedená klasifikace se podle vyhlášky č. 423/2001 Sb. používá pro hodnocení zdrojů přírodních minerálních vod. Na základě lobování některých výrobců minerálních vod byl tento požadavek z vyhlášky v roce 2006 vypuštěn (Vyhláškou MZ č. 404/2006 Sb.), takže v současné době se spotřebitel nemá právo dozvědět zcela základní a zásadní údaj, jaké je celkové množství minerálních látek v dané minerální vodě – a to ani přesně, ani přibližně (prostřednictvím uvedené klasifikace) (Kožišek, 2005).

### 3.2.3. Optimální hodnoty minerálních látek

Z hlediska dlouhodobého příjmu jsou Národním referenčním centrem Státního zdravotního ústavu (SZÚ) pro pitnou vodu doporučeny optimální hodnoty některých hlavních minerálních látek ve vodě takto (Kožišek, 2005):

**Tab. 3.2.** *Optimální hodnoty minerálních látek*

ukazatel	optimální obsah
RL – ukazatel celkového obsahu minerálních látek	150 – 400 mg.l <sup>-1</sup>
Ca <sup>II</sup> – vápník	40 – 70 (minimálně 30) mg.l <sup>-1</sup>
Mg <sup>II</sup> – hořčík	20 – 30 (minimálně 10) mg.l <sup>-1</sup>
Na <sup>I</sup> – sodík	5 – 25 mg.l <sup>-1</sup>
K <sup>I</sup> – draslík	1 – 5 mg.l <sup>-1</sup>
Cl <sup>-I</sup> – chloridy	< 50 mg.l <sup>-1</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>-II</sup> – sírany	< 50 mg.l <sup>-1</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-I</sup> – hydrogenuhličitan	100 – 300 mg.l <sup>-1</sup>
F <sup>-I</sup> – fluoridy	0,1 – 0,3 mg.l <sup>-1</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-I</sup> – dusičnany	< 10 mg.l <sup>-1</sup>

Dostupné údaje neumožňují zatím pro chloridy a sírany definovat jejich optimální obsah. Jejich určitá minimální koncentrace je žádoucí z chuťových důvodů, jejich horní hranice je odhadnuta vzhledem k optimu všech rozpuštěných látek.

Dolní hranice hydrogenuhličitanů je stanovena na základě senzorických vlastností vody, nikoliv na základě zdravotního účinku.

Uvedené hodnoty byly odvozeny z různých epidemiologických a experimentálních studií.

### **3.3. Jak a proč se jímají minerální vody**

Jako minerální vody jsou v celém světě označovány podzemní vody, které mají některé zvláštní chemické či fyzikálně-chemické vlastnosti. Pokud mají minerální vody, případně plyny, které je doprovázejí, výrazné balneoterapeutické účinky a jsou tedy vhodné pro léčebné využití, mohou být vyhlášeny za přírodní léčivé zdroje a jako takové využívány v lázeňství. V České republice se nachází celkem 37 lázeňských míst, z nichž 24 jako přírodní léčebný prostředek lázeňské péče využívá právě minerálních vod.

Vznik, utváření a výstup minerální vody či zřidelního plynu k zemskému povrchu jsou velmi složité přírodní procesy v systému horninové prostředí – voda - plyn. Podle způsobu jímání lze rozlišovat prameny přírodní a uměle jímané.

### **3.4. Hygienické požadavky na obsah arsenu v pitné vodě v ČR**

Otázka bezpečné koncentrace arsenu v pitné vodě začala být v odborné literatuře intenzivněji diskutována od poloviny 20. století. Prvním závazným předpisem, který v České republice definoval hygienické požadavky na jakost pitné vody, byla ČSN 56 7900 Pitná voda schválená v roce 1958 s platností od 1.7. 1959. Ta požadovala obsah arsenu maximálně 0,05 mg As/l. Další vývoj je uveden v tabulce níže. Je zajímavé, že Československo si od počátku stanovilo přísnější limitní hodnotu než uváděly tehdejší mezinárodní standardy WHO (0,2 mg.l<sup>-1</sup>), v nichž byl až v roce 1963 snížen limit na později dlouho používanou hodnotu 0,05 mg.l<sup>-1</sup> (Kožíšek et al., 2008).

**Tab. 3.3.** Hygienické požadavky na obsah arsenu v pitné vodě v ČR

Předpis	Platnost	Požadavek na obsah arsenu
ČSN 56 7900 Pitná voda	1959-1964	Maximálně 0,05 mg.l <sup>-1</sup>
ČSN 83 0611 Pitná voda	1964-1974	Maximálně 0,05 mg.l <sup>-1</sup>
ČSN 83 0611 Pitná voda	1975-1990	Maximálně 0,05 mg.l <sup>-1</sup>
ČSN 75 7111 Pitná voda	1991-2000	NMH 0,05 mg.l <sup>-1</sup>
Vyhláška MZ č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly	2001-2004	NMH 0,01 mg.l <sup>-1</sup>
Vyhláška MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů (vyhlášek č. 187/2005 Sb. a č. 293/2006 Sb.)	2004-dosud	NMH 0,01 mg.l <sup>-1</sup>

**Nejvyšší mezní hodnoty** (NMH) jsou hodnoty zdravotně závažných ukazatelů jakosti pitné vody, v důsledku jejichž překročení je vyloučeno použití vody jako pitné, neurčí-li orgán ochrany veřejného zdraví jinak.

### 3.5. Požadavky na jakost minerálních vod

Požadavky na minerální vody jsou dány vyhláškou č. 275/2004 Sb., o požadavcích na jakost a zdravotní nezávadnost balených vod a o způsobu jejich úpravy, ze dne 1. května 2004 a vyhláškou č. 404/2006 Sb., ze dne 3. srpna 2006, kterou se mění vyhláška č. 275/2004 Sb.

#### 3.5.1. Druhy balených vod

**Balená přírodní minerální voda** – výrobek z přírodní minerální vody získané ze zdroje přírodní minerální vody nebo výrobek z přírodní minerální vody získané z přírodního léčivého zdroje pokud její vlastnosti umožňují použití jako potraviny.

**Balená pramenitá voda** – výrobek z kvalitní vody z chráněného podzemního zdroje. Tato voda je vhodná k trvalému přímému požívání dětmi i dospělými.

**Balená kojenecká voda** – výrobek z kvalitní vody z chráněného podzemního zdroje, která nesmí být upravována žádným způsobem, s výjimkou ozařování UV zářením. Tato voda je vhodná pro přípravu kojenecké stravy a k trvalému přímému požívání všemi skupinami obyvatel.

**Balená pitná voda** – výrobek splňující požadavky na pitnou vodu podle zvláštního právního předpisu.

### 3.5.2. Obecné požadavky na balené vody

Balené vody musí být čiré a bezbarvé s výjimkou balené přírodní minerální vody, která může být nejvýše slabě nažloutlá nebo se slabým zákalem či sedimentem. Balené vody nesmějí obsahovat původce onemocnění nebo organismy indikující jejich možnou přítomnost a nesmějí vykazovat organoleptické závady.

Balené vody, s výjimkou balené pitné vody, nesmí obsahovat cizorodé organické látky ve zjištěném množství. Nedodržení je pokládáno za překročení limitu s NMH.

K výrobě balené pramenité vody a balené kojenecké vody může být použit pouze chráněný zdroj podzemní vody, jehož vydatnost, složení, teplota a ostatní základní vlastnosti musí být ustálené v mezích přirozeného kolísání.

Vody ze zdrojů vhodných k výrobě balených vod s výjimkou balené pitné vody lze k balení či jinému zpracování před balením přepravovat pouze potrubím, které je chrání před poškozením jejich zdravotní nezávadnosti.

### 3.5.3. Způsoby úpravy balených vod

Balenou přírodní minerální vodu lze upravovat pouze odstraněním nestabilních látek, například sloučenin železa a sloučenin síry, filtrací nebo dekantací, s případným předchozím okysličením, odstraněním sloučenin arzenu, manganu, železa, nebo síry pomocí vzduchu obohaceného ozonem, filtrací nebo dekantací, odstraněním jiných nežádoucích složek, například sloučenin beryllia, niklu, úplným nebo částečným odstraněním volného oxidu uhličitého výhradně fyzikálními metodami.

Použitím úpravy uvedené výše nebo přidáním oxidu uhličitého se nesmí změnit skladba základních složek přírodní minerální vody získané ze zdroje přírodní minerální vody nebo

z přírodního léčivého zdroje, které jí propůjčují její vlastnosti, a nesmějí vznikat škodlivé látky. Vodu nelze upravovat přidáním bakteriostatických látek nebo ji upravovat jiným způsobem, který by změnil počet kolonie tvořících jednotek. Do vody dále nelze přidávat jiné látky s výjimkou oxidu uhličitého.

#### 3.5.4. Požadavky na označování balených přírodních minerálních vod

Z hlediska obsahu oxidu uhličitého se balená přírodní minerální voda označuje jako **přírodní minerální voda přirozeně sycená**, která obsahuje nejméně 250 mg.l<sup>-1</sup> oxidu uhličitého a má po zpracování a případném dosycení plynem ze stejného zdroje obsah oxidu uhličitého stejný jako u zdroje, v rozpětí periodického přirozeného kolísání; **přírodní minerální voda obohacená**, která má po zpracování a dosycení oxidem uhličitým ze stejného zdroje obsah oxidu uhličitého vyšší než u zdroje; **přírodní minerální voda sycená**, která má po zpracování a dosycení oxidem uhličitým jiného původu, než je zdroj, z něhož voda pochází, obsah oxidu uhličitého stejný nebo vyšší než u zdroje; **přírodní minerální voda dekarbonovaná**, která má po zpracování nižší obsah oxidu uhličitého než u zdroje; **přírodní minerální voda nesycená**, která pochází ze zdroje obsahujícího oxid uhličitý v množství nejvýše 250 mg.l<sup>-1</sup>.

Na obalu určeném pro spotřebitele musí být kromě údajů stanovených zákonem uvedeno označení druhu balené přírodní minerální vody; údaj o analytickém složení udávající charakteristické složky balené přírodní minerální vody, obsah oxidu uhličitého v g.l<sup>-1</sup> s označením laboratoře; informace o provedených úpravách; při úpravě pomocí vzduchu obohaceného ozonem informace musí znít: „voda byla upravena schválenou oxidační technologií pomocí vzduchu obohaceného ozonem“ a uvede se v bezprostřední blízkosti údajů o charakteristickém složení; označení slovy „obsahuje více fluoridů než 1,5 mg.l<sup>-1</sup> - není vhodná pro pravidelnou konzumaci kojenci a dětmi do 7 let věku“, pokud přírodní minerální voda má obsah fluoridů větší než 1,5 mg.l<sup>-1</sup>, přičemž toto označení musí být provedeno jasně viditelnými písmeny a umístěno v bezprostřední blízkosti názvu výrobku zároveň s uvedením jejich skutečného obsahu v údajích o analytickém složení, udávajícím charakteristické složky balené přírodní minerální vody.

Na etiketách balených kojeneckých, pramenitých a přírodních minerálních vod musí být uveden název zdroje, ze kterého je voda čerpána, a lokalita, kde se zdroj nachází. Dále musí

být uveden údaj o charakteristickém složení a způsobu skladování: „Uchovávejte v chladu a chraňte před přímým slunečním světlem“.

V případě, že voda je distribuovaná v obalech o objemu větším než 5 l, musí být na obalu uvedeny podmínky uchovávání a doba spotřeby po otevření obalu.

Z jednoho zdroje lze vyrábět jen výrobek s jedním obchodním názvem.

Jestliže je na obalu balených vod určeném pro spotřebitele uveden název výrobku odlišný od názvu zdroje nebo místa využívání, musí být toto místo nebo název tohoto zdroje uveden v takové velikosti písma, aby výška a šířka dosahovaly alespoň 1,5násobku největšího písma použitého pro název výrobku.

Na obalu balených vod uvedených v odstavci 1 určeném pro spotřebitele a při jakémkoliv způsobu nabízení k prodeji nelze použít označení, chráněné názvy, ochranné známky, obchodní značky, vyobrazení nebo jiné značky ve formě symbolů či v jiné formě, které naznačují vlastnost, kterou tato voda nemá, zejména pokud jde o její původ, využití pro přípravu kojenecké stravy, výsledky analýz vody nebo podobné odkazy zaručující pravost, nebo mohou způsobit záměnu s jinými balenými vodami, zejména pokud jde o označení „minerálka“, „minerální voda“.

Na obalu určeném pro spotřebitele a při jakémkoliv způsobu nabízení k prodeji nelze uvádět jakékoliv údaje připisující baleným vodám vlastnosti týkající se prevence, ošetřování nebo léčby lidských nemocí.

Balenou přírodní minerální vodu a balenou pramenitou vodu lze uvádět do oběhu jako „vhodnou pro přípravu kojenecké stravy“, pouze pokud splňuje všechny ukazatele pro kojeneckou vodu. V případě, že je tato voda sycena oxidem uhličitým na hodnotu vyšší než 0,5 g.l<sup>-1</sup>, musí být na obalu pro spotřebitele uvedeno upozornění o nutnosti odstranění oxidu uhličitého varem, pokud je voda použita pro kojence.

### 3.5.5. Požadavky na jakost balených přírodních minerálních vod

**Tab. 3.4.** *Mikrobiologické požadavky*

číslo	ukazatel	jednotka	limit	typ limitu
1.	<i>Escherichia coli</i>	KTJ/250 ml	0	NMH
2.	koliformní bakterie	KTJ/250 ml	0	NMH
3.	enterokoky	KTJ/250 ml	0	NMH
4.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	KTJ/250 ml	0	NMH
5.	siřičitany redukující střevní sporulující anaerobní bakterie	KTJ/50 ml	0	NMH
6.	počet kolonií při 22°C	KTJ/ml	100	MH
7.	počet kolonií při 36°C	KTJ/ml	20	MH
8.	mikroskopický obraz - živé organismy	jedinci/ml	0	NMH



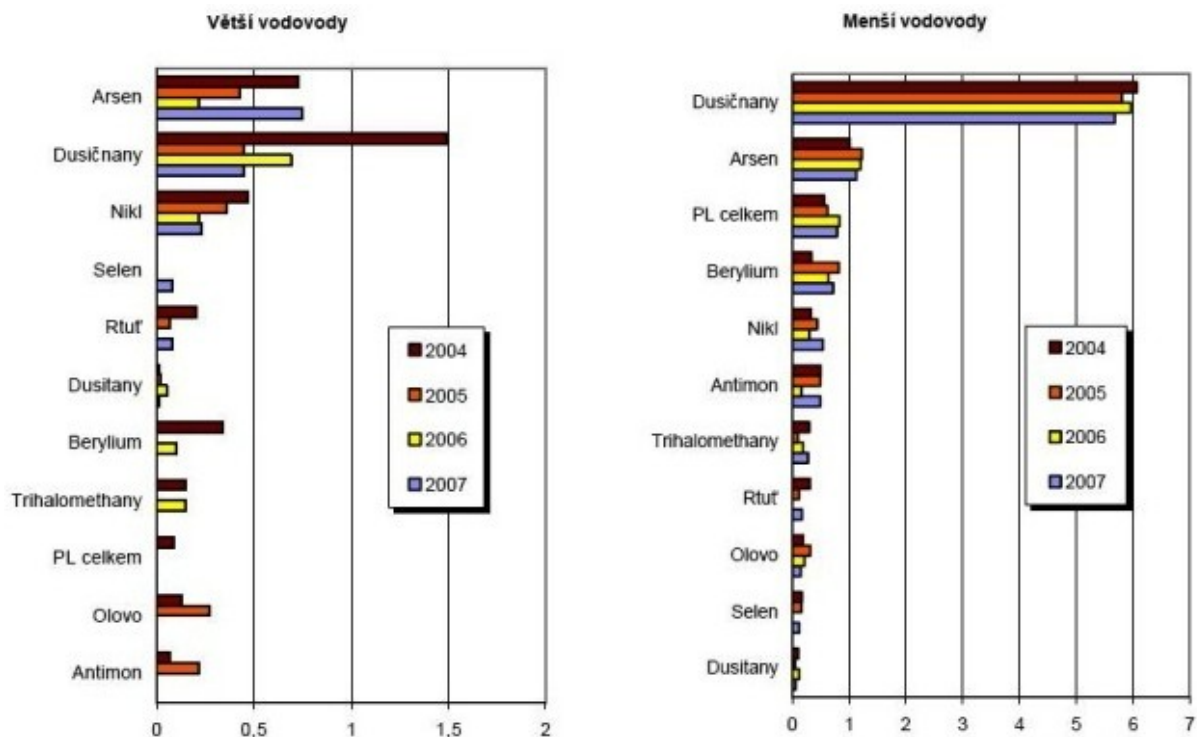
**Tab. 3.5.** *Fyzikální a chemické požadavky*

číslo	ukazatel	symbol	limit (mg.l <sup>-1</sup> )	typ limitu
9.	antimon	Sb	0,0050	NMH
10.	arsen	As	0,010	NMH
11.	baryum	Ba	1,0	NMH
12.	chrom	Cr	0,05	NMH
13.	kadmium	Cd	0,003	NMH
14.	měď	Cu	1,0	NMH
15.	nikl	Ni	0,020	NMH
16.	olovo	Pb	0,010	NMH
17.	rtuť	Hg	0,001	NMH
18.	selen	Se	0,010	NMH
19.	dusičnany	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	NMH
20.	dusitany	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1	NMH
21.	fluoridy	F <sup>-</sup>	5,0	NMH
22.	kyanidy celkové	CN <sup>-</sup>	0,070	NMH
23.	mangan	Mn	0,50	MH
24.	bromičnany	BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,003	NMH
25.	ozon	O <sub>3</sub>	0,05	NMH
26.	bromformy	CHBr <sub>3</sub>	0,001	NMH

**Nejvyšší mezní hodnoty** (NMH) jsou hodnoty zdravotně závažných ukazatelů jakosti pitné vody, v důsledku jejichž překročení je vyloučeno použití vody jako pitné, neurčí-li orgán ochrany veřejného zdraví jinak. **Mezní hodnoty** (MH) jsou hodnoty organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody, jejich přirozených součástí nebo provozních parametrů, které nejsou stanoveny z hlediska zdravotního, ale z hlediska senzoričného nebo provozně-technického. Jejich překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní riziko (Kratzer et al., 2004-2007).

### 3.6. Jakost pitné vody z veřejných vodovodů

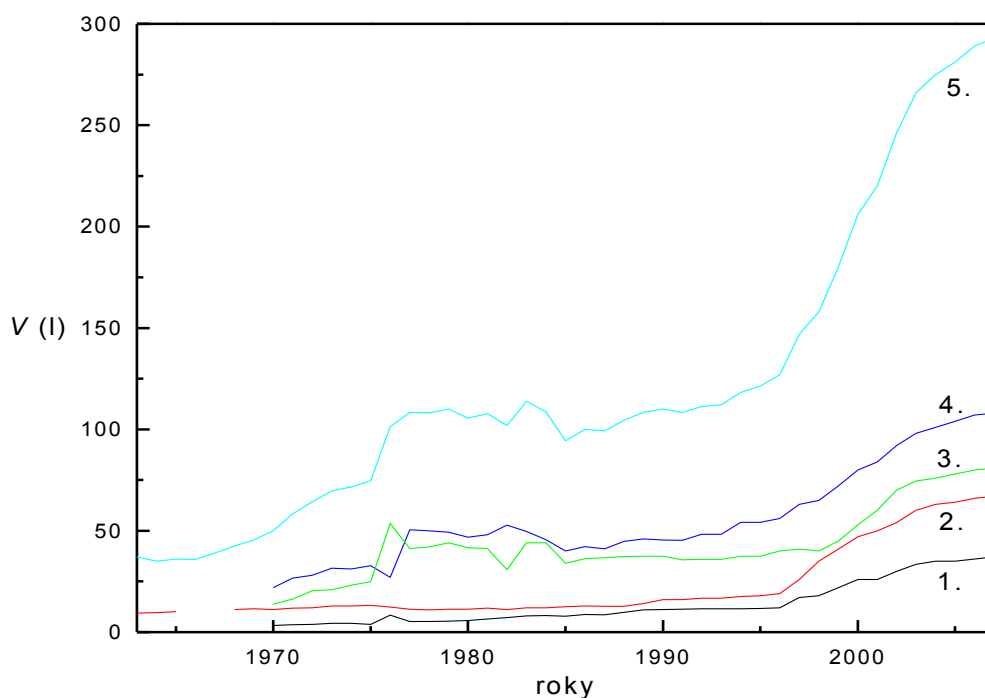
Je všeobecně známo, že voda z vodovodu je nejlevnější a nejčistší voda. I přesto někdy může dojít k překročení limitních hodnot některých ukazatelů jakosti dané vyhláškou č. 252/2004 Sb., jak ukazuje Obr. 3.1. Nejedná se však o koncentrace, které by ohrozily zdraví konzumenta.



**Obr. 3.1.** Četnost nedodržení limitní hodnoty pro vybrané chemické a fyzikální ukazatele jakosti pitné vody limitované nejvyšší mezní hodnotou pro větší (zásobující více než 5 000 obyvatel) a menší vodovody v letech 2004-2007 v procentech nedodržení limitních hodnot (Kratzer et al., 2004-2007).

### 3.7. Spotřeba minerálních vod v ČR v letech 1963-2007

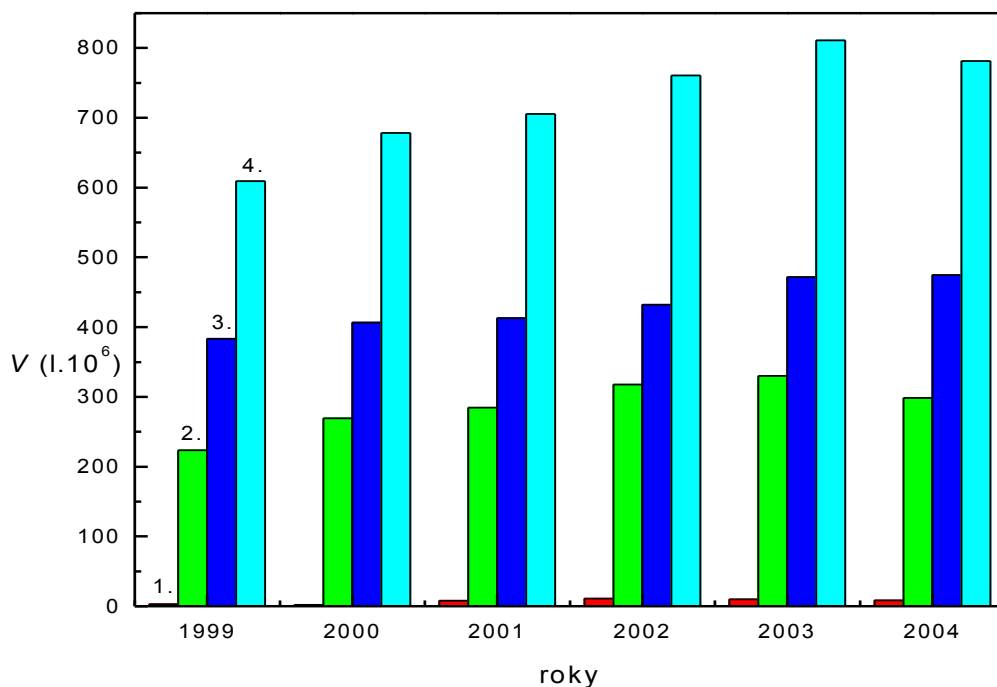
Před rokem 1989 by jen velmi malý počet lidí kupoval obyčejnou balenou vodu. V devadesátých letech se začala spotřeba balených vod zvyšovat. Od roku 1990 do roku 2004 se průměrná spotřeba nealkoholických nápojů na jednu osobu zvýšila 2,5krát. Nejvyšší růst zaznamenaly minerální a sodové vody, jejichž roční spotřeba na obyvatele ČR vzrostla více než 3krát, viz Obr. 3.2 .



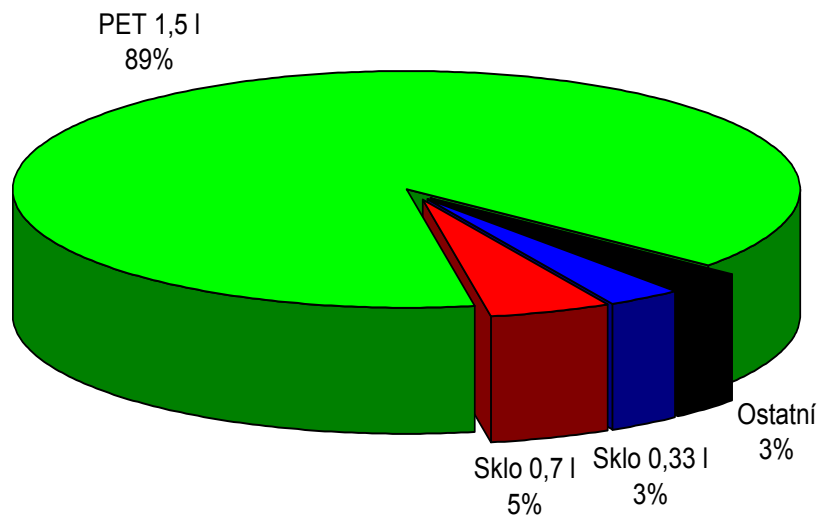
**Obr. 3.2.** Spotřeba minerálních vod a nealkoholických nápojů v letech 1963 – 2007, v litrech na osobu a rok. Sodové vody (1.), minerální vody (2.), ostatní (3.), limonády (4.), celková spotřeba (5.) (ČSÚ, 2008).

Největšími společnostmi, které působí na českém trhu jsou Karlovarské minerální vody (Mattoni, Aquila, Magnesia), Korunní, Coca-Cola (Coca-cola, Bonaqua, Kinley), HBSW (Dobrá voda), Kofola (Kofola, Rajec) a další (Anon., 2006).

Na Obr. 3.2. je znázorněna spotřeba minerálních vod a nealkoholických nápojů v litrech, která zahrnuje sodové vody, minerální vody (slazené i neslazené, s příchutí, bez příchutě), limonády (nealkoholické nápoje vyrobené z pitné nebo stolní vody, nápojových koncentrátů nebo surovin k jejich přípravě, zpravidla sycené oxidem uhličitým) a ostatní nealkoholické nápoje (osvěžující nealkoholické nápoje, ovocné i zeleninové šťávy a koncentráty, konzumní sirupy a karotely). Na dalším Obr. 3.3. je uvedeno složení vyrobených nealkoholických nápojů, tedy léčivé, přírodní a ochucené minerální vody. Ochucené minerální vody bylo vyrobeno přibližně o polovinu více než přírodních minerálních vod, což odpovídá přibližně 60 % celkové výroby, 1 % připadá na léčivé minerální vody a zbytek na přírodní minerální vody.



**Obr. 3.3.** Výroba přírodních léčivých vod (1), přírodních minerálních vod (2) a ochucených minerálních vod (3) v ČR v letech 1999-2004 v milionech litrů. Sloupec (4) udává vyrobené vody celkem (Ježková, 2005).



**Obr. 3.4.** Rozdělení minerálních vod vyrobených v roce 2004 podle druhu obalů..

### 3.8. Přehled českých a moravských lázní s produkcí minerálních vod

**Karlovy Vary** - minerální vody obsahují až  $6,4 \text{ g.l}^{-1}$  minerálních látek a  $0,4 - 1 \text{ g.l}^{-1}$  oxidu uhličitého, vydatnost všech karlovarských je pramenů přes  $30 \text{ l.s}^{-1}$ .

a) Skupina Vřídla - dosahují hloubky od 44 - 88 metrů v puklinách krušnohorské žuly (teplota  $73 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a stáří cca 40 tisíc let.

b) Malé prameny - vrty 7 - 20 metrů hluboké (teplota  $30 - 56 \text{ }^\circ\text{C}$ ): Karel IV, Dolní a Horní zámecký, Tržní, Mlýnský (expedován v lahvích), Rusalka, Kníže Václav, Libuše, Skalní, Svobody a Sadový.

Indikace: nemoci výměny látkové a zažívacího traktu.

**Mariánské Lázně** - studené kyselky (teplota okolo  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) s mineralizací  $0,1 - 11 \text{ g.l}^{-1}$ , často železnaté s obsahem oxidu uhličitého okolo  $3 \text{ g.l}^{-1}$ , vydatnost  $8 \text{ l.s}^{-1}$ . Celkem je v mariánskolázeňském údolí na 40 pramenů (např. Lesní, Křížovka, Karolina, Ambrožovy a Mariiny prameny, Ústřední, Alfred, Alexandr), lahvuje se minerální voda Ferdinandova (Excelsior) a Rudolfova pramene.

Indikace: nemoci močových cest a ledvin, poruchy výměny látkové, nemoci nervové a horních cest dýchacích, pohybové ústrojí .

**Lázně Bilina** - ryzí alkalické kyselky ( $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) s vyšším obsahem fluoru a uhličitanu sodného a celkovým obsahem rozpuštěných látek  $7,3 \text{ g.l}^{-1}$  a přes  $2,3 \text{ g.l}^{-1}$  oxidu uhličitého. Původní 4 prameny jsou využívány již od r. 1723 a v 19. století byly rozšířeny o další vrty. Expeduje se Bílinská kyselka a Zaječická hořká.

Indikace: katary horních cest dýchacích a kyselá žaludeční katary, neurastenie a bronchitida.

**Františkovy Lázně** - studené ( $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) slané alkalické kyselky, kde z 23 pramenů se lahvuje jen voda z pramene Štěpánka (Stefany).

Indikace: ženské nemoci, revma, cévní a srdeční nemoci.

**Lázně Poděbrady** - studená ( $10 - 14 \text{ }^\circ\text{C}$ ) alkalicko-zemitá kyselka s vyšším obsahem železa (celková mineralizace až  $7 \text{ g.l}^{-1}$ ) a oxidu uhličitého (do  $3,5 \text{ g.l}^{-1}$ ). Nyní se využívají pouze 4 prameny z celkových 22 vrtů, distribuuje se pod označením Poděbradka, většinou s různými příchutěmi.

Indikace: srdeční choroby, léčby trombóz a tepen.

**Teplice nad Bečvou** - teplá (22,5 °C) ryzí zemitá kyselka s mineralizací až 2,9 g.l<sup>-1</sup> (hlavně zinek, molybden, titan), obsah oxidu uhličitého cca 2 g.l<sup>-1</sup> a radioaktivita přes 1 Bq.l<sup>-1</sup>.

Indikace: srdeční a cévní onemocnění, poruchy zažívání, nemoci močových cest, nervové a pohybového aparátu.

**Lázně Luhačovice** - studené (9 – 12 °C) slané jodobromové alkalické kyselky s vyšší koncentrací jódu (až 11 mg.l<sup>-1</sup>) a vysokým obsahem sulfátů. Expeduje se jako Vincentka.

Indikace: léčba horních cest dýchacích (Doležal, 2008).

## 4. Materiál a metody

---

### 4.1. Analyzované minerální vody

**Běloveská kyselka Ida** – přírodní, stolní, prostá kyselka hydrogenuhličitanosíranovápénato-hořečnatého typu, hypotonická, studená. Čerpá se z vrtu Ida v lázních Běloves, okres Náchod.

Původně byla minerálka využívána jen pro pitné kúry přímo u pramenů. Starý pramen byl v osazené skruži, přes 2 metry hluboké, kde se hromadilo velké množství oxidu uhličitého. V roce 1881, za vedení lázní Marií Dvořákovou, byl městem povolen omezený prodej minerální vody v lahvích.

Ida byla zařazena mezi tři minerální vody v republice, určené i pro kojence. Patří do skupiny tzv. prostých kyselek, obsahujících rozpuštěné anorganické látky jako vápník, draslík, hořčík, železo, sodík, včetně volného oxidu uhličitého. Ida je podle chemických rozborů nejbohatší minerální vodou na oxid uhličitý v celé České republice. Specifickým rysem všech běloveských vod je přítomnost arsenu s malým rozptylem hodnot. Zřejmě nejstarší údaje o složení minerálních vod publikovali Štolba v roce 1898 a Petratscheck roku 1904.

Provoz stáčení minerální vody Ida byl zastaven v roce 2001, kdy se majitelé dostali do konkurzu.

Obchodní značku Ida zakoupila dne 28.5.2002 slovenská společnost INTERFOOD Ltd. Tato společnost zavedla stáčení minerální vody z jiného pramene s názvem Ida a zajistila i distribuci minerální vody do českých obchodních řetězců. Nabízená minerální voda však nemá s původní běloveskou vodou nic společného (Samek, 2004).

**Bílinská kyselka** – pramení v Českém středohoří u města Bíliny. Čerpá se z hloubky 190,8 m. Je zcela sterilní, prostá všech zárodků, v Evropě je oblíbená více než 3 století. Spojuje léčivé účinky s příjemnými vlastnostmi stolní vody. Patří mezi přírodní alkalické hydrogenuhličitanové kyselky s vysokou koncentrací minerálních látek (5 – 7 g.l<sup>-1</sup>). Z kationtů obsahuje zejména sodík, draslík, vápník, hořčík a železo, z aniontů chlorid, síran, fluorid a hydrogenuhličitan. Teplota vyvěrající vody se pohybuje mezi 17 – 20 °C. Bílinská kyselka má blahodárné účinky na onemocnění dýchacích orgánů, choroby žaludku, nemoci ledvin a močového měchýře, onemocnění jater a žlučníku a dnu (Bílinská kyselka, 2003).

**Hanácká kyselka** – jímá se ze šesti vrtů, z nichž nejhlubší měří 265 metrů, ve stejném složení jako při svém objevení. Pochází z hloubky prvohorních devonských dolomitických vápenců. Hanácká kyselka má vysoký obsah hydrogenuhličitanu a alkalických zemin jako je vápník, hořčík, dále obsahuje množství chloridů a sodných iontů (Hanácká kyselka, n.d.).

**Korunní** – vzniká několik set metrů pod povrchem v oblasti Doupovských hor, nedaleko Karlových Varů. Od roku 1878 až dodnes si Korunní zachovává svou vysokou kvalitu a patří mezi nejkvalitnější minerální vody v ČR. Na rozdíl od jiných minerálních vod vyniká Korunní zejména vyváženým složením minerálů. Minerální látky jsou v Korunní obsažené v doporučeném množství a poměru. Žádný minerál není v Korunní zastoupený v nadlimitním množství, a proto dlouhodobým a pravidelným pitím Korunní nehrozí lidskému tělu žádné zdravotní riziko (Korunní, 2007).

**Magnesia** – jedná se o karlovarskou minerální vodu. V okolí pramene, z kterého Magnesia pochází, se vyskytují horniny bohaté hořčíkem, které jsou v intenzivním kontaktu s oxidem uhličitým. Tento plyn, pozůstatek poslední vulkanické aktivity na území Čech, hraje rozhodující úlohu při formování chemického složení této vody (Magnesia, 2005).

**Mattoni** – výjimečná minerální voda z panenské přírody v okolí Karlových Varů s vyváženým obsahem minerálů a ryzí chutí. Obsahuje cenné minerální a stopové prvky, které jsou i podle zprávy Světové zdravotnické organizace (WHO, srpen 2004) nezbytné pro optimální fungování lidského organismu. Ideální přírodní minerální voda pro dodržování denního pitného režimu, a to po celý rok (Mattoni, n.d.).

**Ondrášovka** – jímána ze dvou vrtů hlubších než 100 m. Vrty se nachází v malé obci s názvem Sedm Dvorů v chráněné krajinné oblasti v podhůří Nízkého Jeseníku. Tento minerální pramen je z hlediska kapacity jedním z nejvydatnějších v České republice. Velká hloubka vrtu navíc zaručuje, že do minerálního pramene nepronikají žádné povrchové vody. Svými základními vlastnostmi se zcela podobá původní minerální vodě. Zejména z pohledu celkové mineralizace (obsahu minerálů ve vodě), která je velice nízká, umožňuje neomezenou každodenní spotřebu (Ondrášovka, 2005).

**Poděbradka** – nezaměnitelná, specifická a lahodná chuť s vyváženým složením minerálů. Zlepšuje vnímavost, bdělost, odolnost. Napomáhá lepším výkonům. Minerální voda



má jemnou perlivost a vysoký obsah hydrogenuhličitanové složky, což příznivě ovlivňuje celý zažívací trakt.

8. srpna 1905 narazil kníže Filip Hohenlohe na zřidelní pramen poděbradské minerální vody v hloubce 95,7 metrů. Dějiny novodobé Poděbradky se začaly psát v roce 1993. Od roku 1998 začala Poděbradka jako první distribuovat vodu v zelených PET lahvích (Poděbradka, 2007).

**Šaratica** – jedinečná sírano-sodno-hořečnatá minerální voda. Její léčivé účinky jsou známy již více než sto let a to nejen u nás ale i ve Francii, Rakousku či Německu. Pití této minerální vody čerpané v okolí Újezdu u Brna přirozeně pomáhá a očišťuje. Minerální voda Šaratica je vhodná pro lidi trpící především funkční obstipací, ale i jinými funkčními poruchami gastrointestinálního traktu, stavy po operacích. Těžké kovy, rtuť, olovo, antimon, uran a kobalt, jsou v minerální vodě zastoupeny v koncentracích toxikologicky i biologicky zcela nevýznamných, a neohrožují zdraví ani při dlouhodobém užívání několika litrů denně. Z tohoto důvodu je možné doporučit minerální vodu Šaratica i těhotným ženám.

Šaratica je dlouhodobě známá jako skvělý pomocník při problémech se zažíváním. V poslední době stále více lidí využívá jejích blahodárných účinků při hubnutí a přechodu na zdravý životní styl (Šaratica, 2005).

**Vincentka** - přírodní zdroj léčivé minerální uhličitě vody Vincentka vyvěrá ve zřidelní struktuře lázni Luhačovic, na severozápadním podhůří Bílých Karpat, v nadmořské výšce 256 m. Vincentka je ojedinělá přírodní léčivá minerální voda, velmi silně mineralizovaná, jódová, uhličitá minerální voda hydrogenuhličitano-chlorido-sodného typu, se zvýšeným obsahem fluoridů a kyseliny borité. Léčivá minerální voda Vincentka se svým osmotickým tlakem 634,7 kPa velmi blíží osmolaritě lidské krve, intracelulárních tekutin, tedy vnitřnímu prostředí člověka. Při pití je proto dobře snášena i ve větším množství (Vincentka, 2004).

**Zaječická hořká** - vyvěrá z pramene u obce Zaječice u Mostu v severních Čechách. Svým složením patří mezi silně mineralizované minerální vody sírano-hořečnatého typu, je studená, hypertonická, nepatrně opaleskuje, je nažloutlá, bez pachu a má svíravě hořkou chuť. Z chemického složení Zaječické hořké vody pak vyplývá i mechanismus účinků na lidský organismus. Hodí se zvláště k déle trvajícím užívání při chronické ochablosti střev, onemocnění jater a žlučníku, ke snížení otylosti, vhodná proti kornatění tepen, proti zácpě, hemeroidům a nadýmání (Zaječická Hořká voda, 2003).

## 4.2. Složení analyzovaných minerálních vod

V Tab. 4.1. je uvedeno chemické složení stanovovaných minerálních vod. Informace o složení byly získány na stránkách výrobců jednotlivých minerálních vod nebo na etiketách. Obsah arsenu v minerálních vodách není výrobcí uváděn.

**Tab. 4.1.** Složení analyzovaných minerálních vod v jednotkách mg.l<sup>-1</sup>.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
NH <sup>IV</sup>						0,007		0,03			10,57	
Ba <sup>II</sup>											8,68	
Be <sup>II</sup>			0,004								0,0022	
K <sup>I</sup>	89,33		16,67	6,31	27,2		14,4	1,68	61,40	29	133,5	696,2
Al <sup>III</sup>											0,122	
Mg <sup>II</sup>	41,9	107,1	71,4	16,73	30,6	179	22,3	20,5	67,20	861	15,28	5033
Li <sup>I</sup>	3,72			0,11							9,81	
Mn <sup>II</sup>				0,237							0,548	
Na <sup>I</sup>	1792	412,4	277,8	48,99	103	5,06	70	33,8	500,2	2117	2440	1755
Sr <sup>II</sup>											4,234	
Ca <sup>II</sup>	133,7	185,2	270	57,71	84,1	35,3	74	198	169,20	268	239,2	301
Zn <sup>II</sup>											0,0006	0,233
Fe <sup>II</sup>		2,45	3,87	0,734							3,811	
Br <sup>-I</sup>											7,03	
NO <sup>-III</sup>				2,4		0,071		0,09			0,006	
NO <sup>-II</sup>						0,007		0,007			0	
F <sup>-I</sup>	5,1	0,63	1,91	0,205	0,736			1,49	1,58	1,52	2,54	2,25
HAsO <sub>4</sub> <sup>-II</sup>				1,4							0,0048	
HPO <sub>3</sub> <sup>-II</sup>				0,07							0,043	
HCO <sub>3</sub> <sup>-I</sup>	4482	2058	1645	258,2	613	1048	498	752	1423	517	4825	859,8
Cl <sup>-I</sup>	231	144,2	185,4	8,91	10,5	3,7	11,2	8,69	447,1	78,6	1617	405,2
I <sup>-I</sup>		0,073	0,211								6,767	0,39
SO <sub>4</sub> <sup>-II</sup>	542	0,185	0,25	80,54	64,7	14	41,9	14,5	85,70	8383	8,43	22540
CO <sub>2</sub>	1991	1464	1435	2450		4500					3030	

1. Bílinská kyselka; 2. Hanácká kyselka – ze zdrojů v Brodce u Přerova; 3. Hanácká kyselka – ze zdrojů v Horní Moštěnici; 4. Běloveská kyselka Ida; 5. Korunní; 6. Magnesia; 7. Mattoni; 8. Ondrášovka; 9. Poděbradka; 10. Šaratica; 11. Vincentka; 12. Zaječická hořká.

### 4.3. Použité chemikálie

Při přípravě všech roztoků byla používána demineralizovaná voda (Millipore Milli-Q plus systém, Millipore, USA).

Minerální vody byly uchovávány za laboratorní teploty v originál PET lahvích, Vincentka ve skleněné láhvi.

Pro coulometrické stanovení arsenu v minerálních vodách byly používány zásobní roztoky  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$  o koncentraci  $1 \text{ mg.l}^{-1}$ , které byly připraveny přesným ředěním standardního roztoku  $\text{As}^{\text{III}}$  Arsenic standard solution,  $1 \text{ g.l}^{-1}$  As v 2% roztoku KOH, pro AAS (Acros Organics, Belgie), a standardního roztoku  $\text{As}^{\text{V}}$  (Analytika, Praha) o koncentraci  $1 \text{ g.l}^{-1}$ . Roztoky o koncentraci  $10, 20$  a  $50 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$  pro měření kalibrační závislosti byly připraveny přesným ředěním zásobního roztoku  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$ . Před každým měřením byly roztoky připraveny vždy čerstvé.

Další použité chemikálie:

- Manganistan draselný (p.a, Lachema ČR), ze kterého byl připraven zásobní roztok o koncentraci  $0,01 \text{ mol.l}^{-1}$
- Kyselina dusičná (65 %) (p.a., Merck, Německo)
- Certifikovaný referenční materiál základní elektrolyt R-1015 (EcaFlow, Slovensko)

Pro voltametrické stanovení arsenu byl používán zásobní roztok  $\text{As}^{\text{III}}$  o koncentraci  $1 \text{ mg.l}^{-1}$ , který byl připraven přesným ředěním standardního roztoku  $\text{As}^{\text{III}}$  v roztoku KOH o koncentraci  $1 \text{ g.l}^{-1}$ .

Další použité chemikálie:

- Kyselina sírová (98%,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , Lachema, ČR)
- Kyselina sírová (1M, Lachema, ČR)
- Kyselina chlorovodíková (36%, HCl, Lachema, ČR)
- Kyselina chlorovodíková (0,5M, Lachema, ČR).
- Triton X-100 (Merck, Německo)
- Oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Merck, Německo)
- Bromid draselný (KBr, Lachema, ČR)
- Hydrazin síran ( $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ , Lachema, ČR)
- Kyselina mravenčí (HCOOH, Merck, Německo)
- Toluén ( $\text{C}_7\text{H}_8$ , Lachema, ČR)

- Chlorid draselný (KCl, p.a., Lachema, ČR) k uchovávání referentní elektrody

Kromě standardních roztoků, které byly před každým měřením připravovány čerstvé, byly roztoky uchovávány ve skleněných baňkách při laboratorní teplotě.

#### 4.4. Coulometrie

V coulometrii dochází k úplné přeměně stanovované látky na jinou formu v rozdílném oxidačním stupni. Stanovení je založeno na měření náboje potřebného na úplný průběh oxidačně-redukční reakce. Provádí se potenciostaticky za řízeného potenciálu pracovní elektrody nebo amperostaticky za konstantního elektrolytického proudu (Klouda, 1996).

V coulometrii se měří náboj potřebný k úplné přeměně stanovované složky. Z tohoto náboje se s využitím Faradayova zákona vypočítá hmotnost složky podle rovnice (1):

$$m = (Q.M)/(z.F), \quad (1)$$

kde  $m$  je hmotnost elektrolyzované složky,  $Q$  je elektrický náboj,  $M$  molární hmotnost elektrolyzované složky,  $z$  je počet elektronů vyměňovaných při elektrodovém ději a  $F$  je Faradayova konstanta (Klouda, 1996).

Při coulometrické analýze za konstantního potenciálu se stanovovaná látka redukuje nebo oxiduje na pracovní elektrodě, jejíž potenciál je udržován na konstantní hodnotě, takže intenzita proudu klesá s časem v souladu s ubývajícím obsahem látky v roztoku. Proud klesá exponenciálně s časem podle rovnice (2):

$$I_t = I_0 \cdot 10^{-kt}, \quad (2)$$

kde  $I_0$  je počáteční proud,  $I_t$  je proud v čase  $t$  a  $k$  je koeficient přenosu hmoty v daném uspořádání. Náboj se vypočítá integrací křivky závislosti proudu na čase.

Coulometrie za konstantního proudu neboli coulometrická titrace může probíhat dvěma způsoby. V prvním případě látka reaguje elektrochemicky přímo na jedné z elektrod, což se nazývá primární coulometrická titrace, stanovují se tak např. kyseliny. Ve druhém případě reaguje stanovovaná látka s činidlem vzniklým na jedné z elektrod z vhodného elektrolytu. Tato metoda je výhodnější, protože umožňuje stanovení látek, které nelze stanovit přímo. Náboj potřebný k výpočtu obsahu látky je dán součinem proudu a času podle rovnice (3) (Zýka et al., 1979):

$$Q = I.t. \quad (3)$$

#### 4.4.1. Coulometrické stanovení arsenu v minerálních vodách

Ke stanovení se používá průtoková rozpouštěcí coulometrická analýza.  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$  se elektrochemicky vyloučí na pracovní elektrodě jako elementární arsen. V dalším kroku se vyloučený arsen konstantním proudem rozpustí, přičemž se zaznamenává signál – chronopotenciogram, ze kterého se vypočítá množství a koncentrace arsenu ve vzorku.

#### 4.4.2. Přístrojové vybavení

K coulometrickému stanovení byla použita sestava EcaFlow Model 150 (Istran, Bratislava, Slovensko) s celou (Model 353b) se třemi elektrodami. Software pracoval v operačním systému Windows XP (Microsoft Corp.).

#### 4.4.3. Pracovní postup

Při stanovení celkového arsenu byl vzorek minerální vody okyselen přibližně 100  $\mu\text{l}$  kyseliny dusičné a dále byl titrován roztokem manganistanu draselného o koncentraci 0,01  $\text{mol.l}^{-1}$  do růžového zbarvení. Poté byl As stanoven přístrojem EcaFlow s použitím uvedených parametrů:

Nahromadění		Prodleva	
Potenciál nahromadění	-1600 mV	Uklidnění při startovacím potenciálu 1	5 s
Proud nahromadění	-2000 $\mu\text{A}$	Uklidnění při startovacím potenciálu 2	5 s
Potenciál		Doba trvání	5 s
Klidový potenciál 1	-200 mV	Rozpouštění	
Klidový potenciál 2	-200 mV	Rozpouštěcí proud	3 $\mu\text{A}$
Konečný potenciál	600 mV	Doba rozpouštění	30 s
Potenciál regenerace	900 mV		
Standby potenciál	800 mV	Průtok	3 $\text{ml.min}^{-1}$
Objem			
Vzorek	2 ml	Způsob nahromadění	
Deionizovaná voda	2 ml	Galvanostatické	
Proplach	3 ml		

Vyhodnocení bylo provedeno metodou kalibrační křivky. Jako standardní roztoky byly použity roztoky  $\text{As}^{\text{V}}$  o koncentraci 10, 20 a 50  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , viz Obr. 5.1.

Při coulometrickém stanovení  $\text{As}^{\text{III}}$  byl vzorek minerální vody okyselen 100  $\mu\text{l}$  kyseliny dusičné, poté byl vzorek stanoven na přístroji EcaFlow podle uvedených parametrů:

Nahromadění		Prodleva	
Potenciál nahromadění	-400 mV	Uklidnění při startovacím potenciálu 1	5 s
Proud nahromadění	-2000 $\mu\text{A}$	Uklidnění při startovacím potenciálu 2	5 s
Potenciál		Doba trvání	5 s
Klidový potenciál 1	-200 mV	Rozpouštění	
Klidový potenciál 2	-200 mV	Rozpouštěcí proud	3 $\mu\text{A}$
Konečný potenciál	600 mV	Doba rozpouštění	30 s
Potenciál regenerace	900 mV		
Standby potenciál	800 mV	Průtok	3 $\text{ml.min}^{-1}$
Objem			
Vzorek	2 ml	Způsob nahromadění	
Deionizovaná voda	2 ml	Potenciostatické	
Proplach	3 ml		

Vyhodnocení bylo provedeno metodou kalibrační křivky. Jako standardní roztoky byly použity roztoky  $\text{As}^{\text{III}}$  o koncentraci 10, 20 a 50  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , jak ukazuje Obr. 5.3.

#### 4.5. Voltametrie

Mezi dvojicí elektrod ponořenou v roztoku elektrolytu je vkládáno měnící se napětí a je sledován procházející proud. U polarografie se využívá rtuťových elektrod, jejichž povrch se snadno obnovuje a na nichž je velké přepětí vodíku. Voltametrické metody umožňují stanovení látek v oblasti pozitivních potenciálů a využívají tuhé elektrody (Zýka et al., 1979). Jedna z elektrod je polarizovatelná a druhá nepolarizovatelná. Ze závislosti proudu na napětí usuzujeme na druh a obsah sledované složky (tzv. elektroaktivní látky) (Klouda, 1996).

Elektroda s polarizací se snaží zabránit průchodu proudu a je třeba, aby povrch elektrody byl co nejmenší. Potom i nepatrné proudy vyvolávají na povrchu elektrody dostatečně velké změny, jejichž výsledkem je polarizace elektrody

Nepolarizovatelná elektroda má konstantní potenciál a slouží jako srovnávací elektroda. Používá se elektroda s dostatečně velkým povrchem (např. rtuťové dno) nebo se používá tříelektrodové zapojení.

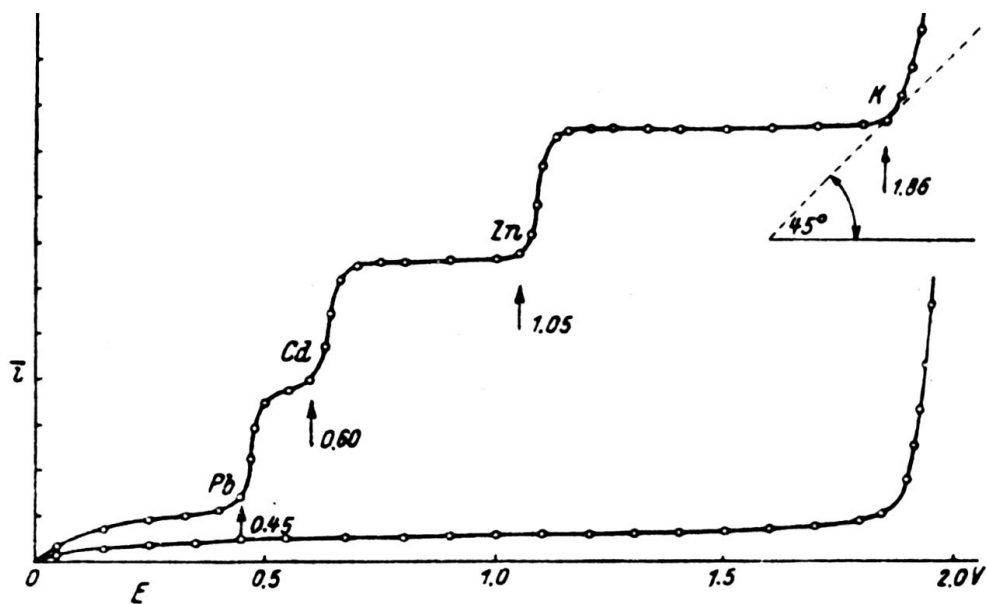
Polarizační (voltametrické, polarografické) křivky znázorňují závislost proudu procházejícího elektrodou na jejím potenciálu.

Při polarografii z přítomnosti dostatečného nadbytku indiferentního elektrolytu je elektroaktivní látka transportována pouze difúzí. Pro okamžitý proud byla odvozen Ilkovičova rovnice (4) (Zýka et al., 1979):

$$I = 0,732 \cdot n \cdot F \cdot D^{1/2} \cdot m_h^{2/3} \cdot t^{1/6} \cdot (c^0 - c^*), \quad (4)$$

kde  $c^0$  je koncentrace v roztoku,  $c^*$  koncentrace u povrchu elektrody,  $I$  okamžitá hodnota difúzního proudu,  $k'$  numerická konstanta,  $z$  počet vyměňovaných elektronů,  $F$  Faradayova konstanta,  $D$  difúzní koeficient,  $m$  hmotnostní průtok rtuti,  $t$  čas.

Každý depolarizátor snižuje polarizaci jinou měrou, což se projeví různým umístěním vlny na ose napětí. Polohu vlny posuzujeme podle tzv. půlvlnového potenciálu  $E_{1/2}$  (tj. difúzní proud dosáhne poloviční hodnoty limitního  $I$ ).  $E_{1/2}$  má konstantní hodnotu nezávislou na koncentraci depolarizátoru (hodnoty jsou tabelovány). Je-li v roztoku více složek s dostatečně odlišnými hodnotami  $E_{1/2}$  (o 0,2 V), vytváří každá složka svou vlastní vlnu. Získáme tak polarografické spektrum, viz Obr. 4.1.



Obr. 4.1. Grafické znázornění polarogramu.

Složení elektroaktivních složek směsi se provádí při elektrolytickém rozpouštění na polarizovatelné elektrodě. Roztok se upraví přidávkem nosného elektrolytu a odstraní se z něj kyslík.

Rozpouštěcí voltametrie probíhá ve třech krocích. Při elektrolytickém nahromadění se vylučují stanovované látky na elektrodě. Provádí se za míchání při konstantním potenciálu odpovídajícímu limitnímu proudu stanovované látky.

Míchání se vypne a proud rychle klesne na úroveň odpovídající stacionárnímu limitnímu difúznímu proudu.

Elektrolytické rozpouštění nahromaděných produktů elektrolýzy se zahájí lineární změnou potenciálu a zaznamenává se rozpouštěcí polarografická vlna.

Použití je možné nejen pro stanovení kovů, ale i některých organických látek a chelátů, které lze nahromadit na elektrodě při vhodném potenciálu rovněž adsorpcí, nebo látek, které lze nahromadit anodicky za vzniku nerozpustných produktů (Klouda, 1996).

#### 4.5.1. Voltametrické stanovení arsenu

Arsen byl stanoven anodickou rozpouštěcí voltametrií s použitím zlaté pracovní elektrody po předchozí úpravě a aktivaci povrchu zlaté elektrody. Elektrochemicky aktivní je pouze  $\text{As}^{\text{III}}$ ,  $\text{As}^{\text{V}}$  neposkytuje elektrochemickou odezvu.

#### 4.5.2. Přístrojové vybavení

Pro voltametrické stanovení byla použita sestava Eco-Tribo Polarograf se softwarem PolarPro verze 5.1 (EkoTrend Plus, Praha, ČR). Software pracoval v operačním systému Windows XP (Microsoft Corp.).

Jednotlivá měření byla prováděna v tříelektrodovém zapojení. Jako referentní elektroda byla použita argentchloridová elektroda ( $\text{Ag}/\text{AgCl}/1 \text{ mol.l}^{-1} \text{ KCl}$ ). Jako pomocná elektroda byla použita platinová drátková elektroda.

Pracovní elektrodou byla stacionární zlatá elektroda. Jedná se o zlatý drátek o ploše  $1 \text{ mm}^2$ .



### 4.5.3. Pracovní postup

Povrch zlaté elektrody byl leštěn za mokra oxidem hlinitým do zrcadlově lesklého povrchu. Po vyleštění byla elektroda na několik minut ponořena do 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a opláchnuta demineralizovanou vodou, tím byla elektroda připravena k měření.

Ke 20 ml stanovované minerální vody v elektrolytické nádobce byl přidán 1 ml koncentrované H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 10 minut byl odstraňován rozpuštěný kyslík proudem dusíku. Aktivace povrchu elektrody byla provedena programem Prep SE s uvedenými parametry:

Potenciál		Parametry metody	
Počáteční [mV]	200	Doba bublání [s]	300-600
Konečný [mV]	1900	Počet scanů [1]	50
Rychlost [mV.s]	700	Pause Tin [s]	0
		Pause Tfin [s]	0
		Počet scanů M [1]	2
		Pause Tin [s]	0
		Pause Tfin [s]	0

Během měření se proudová odezva elektrody postupně stabilizuje.

Ke 20 ml analyzované vody v elektrolytické nádobce bylo přidáno 1 ml koncentrované H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 10 minut byl vzorek probubláván proudem dusíku. Dále bylo přidáno 0,1 ml koncentrované HCl, přidává se pro zvýšení citlivosti stanovení, a 0,1 ml 0,2% roztoku Tritonu X-100. Přítomnost povrchově aktivních látek příznivě ovlivňuje tvar rozpouštěcího píku arsenu, jeho potenciál a příslušný proud. Po krátkém probublání bylo provedeno měření programem DP stripping SE s použitím uvedených parametrů:

Potenciál		Parametry metody	
Počáteční [mV]	-300	Doba bublání [s]	600
Konečný [mV]	400	Počet scanů [1]	3
Rychlost [mV.s]	20	Potenciál čištění [mV]	2500
		Doba čištění [s]	10-15
		Potenciál akumulace [mV]	-300
		Doba akumulace [s]	20-180
		Klidová doba [s]	30
		Výška pulsu [mV]	50
		Sířka pulsu [ms]	80

Výsledky byly vyhodnoceny metodou standardního přídatku.

#### 4.5.4. Redukce $\text{As}^{\text{V}}$ na $\text{As}^{\text{III}}$

Redukce  $\text{As}^{\text{V}}$  na  $\text{As}^{\text{III}}$  je založena na redukci bromidem draselným a hydrazin síranem, spojené s extrakcí  $\text{As}^{\text{III}}$  do toluenu. 50 ml vzorku minerální vody bylo odpařeno na přibližně 4 ml a bylo přidáno 15 ml koncentrované kyseliny sírové. K tomuto roztoku byl dále přidán 1 ml kyseliny mravenčí, která zabraňuje možné nitraci toluenu.

Takto připravený roztok byl zahřán k prvním dýmům oxidu sírového. Po vychladnutí byl roztok převeden do 25ml odměrné baňky, k němu byl přidán 1 ml redukčního činidla. Redukční činidlo bylo připraveno rozpuštěním 6 g bromidu draselného a 1 g hydrazin síranu ve 100 ml vody. Roztok byl doplněn vodou do celkového objemu 25 ml. K tomuto roztoku byl přidán 1 ml toluenu, do kterého byl arsen extrahován.

Do 25 ml odměrné baňky bylo odměřeno 25 ml 0,5 M HCl a bylo přidáno 0,5 ml toluenové fáze z první baňky, kde byl arsen reextrahován z toluenu do kyseliny chlorovodíkové po dobu 3 minut.

Ke stanovení bylo pipetováno 2,5 ml vodné fáze As do elektrolytické nádoby obsahující 20 ml vody a 1 ml koncentrované kyseliny sírové. Po probublání proudem dusíku bylo přidáno 0,1 ml koncentrované HCl a 0,1 ml Tritonu X-100 a vzorek byl stanoven s použitím stejných parametrů uvedených výše.

#### **4.6. Stanovení pH**

Stanovení pH bylo zařazeno jako doplňkové měření. Hodnota pH a oxidačně-redukční potenciál při analytických rozbořech vod ovlivňují chemické a biochemické procesy ve vodách a z tohoto hlediska mají u vod mimořádnou důležitost. Z tohoto důvodu je stanovení hodnoty pH nezbytnou součástí každého chemického rozboru vody (Pitter, 1999).

Přesná hodnota pH byla měřena digitálním pH-metrem inoLab (Hermo Fischer Scientific Inc., Waltham, USA) s kombinovanou skleněnou elektrodou typ Dentic 41 (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, Germany).

## 5. Výsledky

---

### 5.1. Coulometrické stanovení arsenu

#### 5.1.1. Stabilita standardních roztoků As<sup>III</sup>

Byla sledována stabilita standardních roztoků As<sup>III</sup> o koncentraci 10, 20 a 50 µg.l<sup>-1</sup>. Roztoky byly uchovávány ve skleněných baňkách při laboratorní teplotě. Získané hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5.1.

**Tab. 5.1.** *Studium stability standardních roztoků As<sup>III</sup> o koncentraci 10, 20 a 50 µg.l<sup>-1</sup>.*

koncentrace [µg.l <sup>-1</sup> ]	měřeno 6.11.2008		měřeno 11.11.2008		měřeno 19.11.2008		měřeno 31.3.2009	
	<i>c</i>	<i>pH</i>	<i>c</i>	<i>pH</i>	<i>c</i>	<i>pH</i>	<i>c</i>	<i>pH</i>
10	11,41	6,41	11,22	6,05	10,94	6,20	3,07	6,35
20	21,58	5,92	21,38	6,00	20,62	6,09	< MD	6,23
50	51,11	6,47	50,89	6,51	50,2	6,60	< MD	7,19

Číselné hodnoty udávají koncentraci změřenou metodou průtokové rozpouštěcí coulometrické analýzy na přístroji EcaFlow v jednotkách µg.l<sup>-1</sup> a hodnoty pH roztoků.

Pozn.: < MD - pod mezí detekce

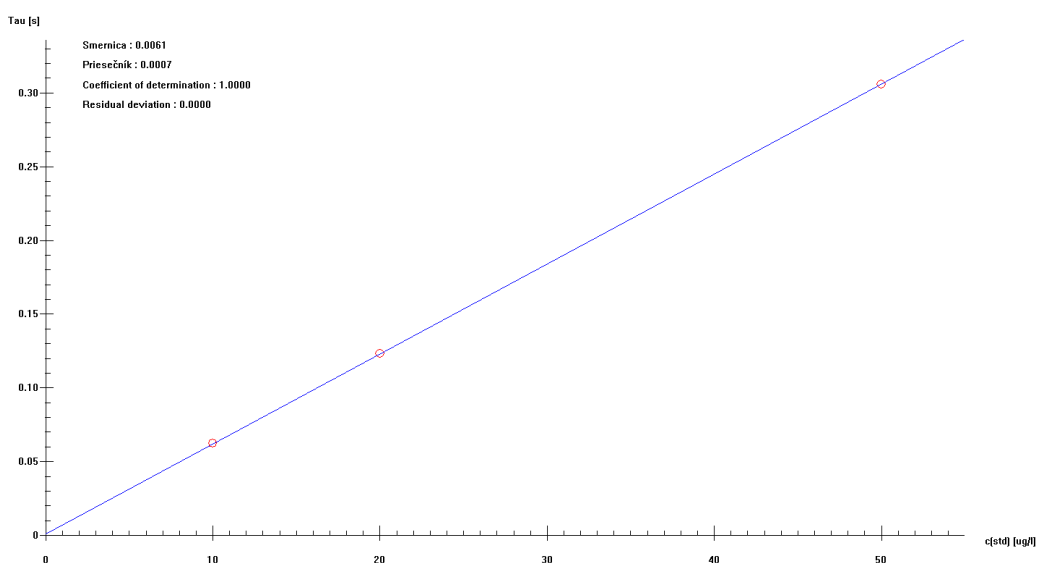
#### 5.1.2. Stanovení celkového arsenu v minerálních vodách

Na obsah arsenu byly proměřeny minerální vody běžně dostupné v obchodní síti. Byla provedena dvě měření v rozmezí přibližně třech měsíců. Získané výsledky jsou uvedeny v Tab. 5.2.

**Tab. 5.2.** *Obsah celkového arsenu v minerálních vodách.*

Minerální voda	měřeno 6/2008	měřeno 9/2008
koncentrace	$\mu\text{g.l}^{-1}$	$\mu\text{g.l}^{-1}$
Bílinská kyselka	34,35	34,55
Hanácká	< MD	0,06
Korunní	0,39	0,05
Magnesia	3,12	6,02
Mattoni	0,15	1,03
Ondrášovka	< MD	0,03
Poděbradka	< MD	< MD
Šaratica	< MD	0,76
Vincentka	29,05	21,06
Zaječická hořká	0,03	0,03

Vyhodnocení bylo provedeno metodou kalibrační přímky, která je ukázána na Obr. 5.1.



**Obr. 5.1.** *Kalibrační závislost standardních roztoků  $\text{As}^V$  o koncentraci  $c(\text{As}) = 10, 20$  a  $50 \mu\text{g.l}^{-1}$ , měřeno technikou průtokové rozpouštěcí coulometrické analýzy.*

Dále byla proměřena minerální voda, která byla odebrána z pramene původní minerální vody Idy v Bělousi. K dispozici byla voda odebrána v lednu 2007 (vzorek A), která byla uchovávána při laboratorní teplotě, a voda odebrána v prosinci 2008 (vzorek B). Ta byla

uchovávána při teplotách pod 0 °C, jak je doporučováno metodikami pro Eko – Tribo – Polarograf.

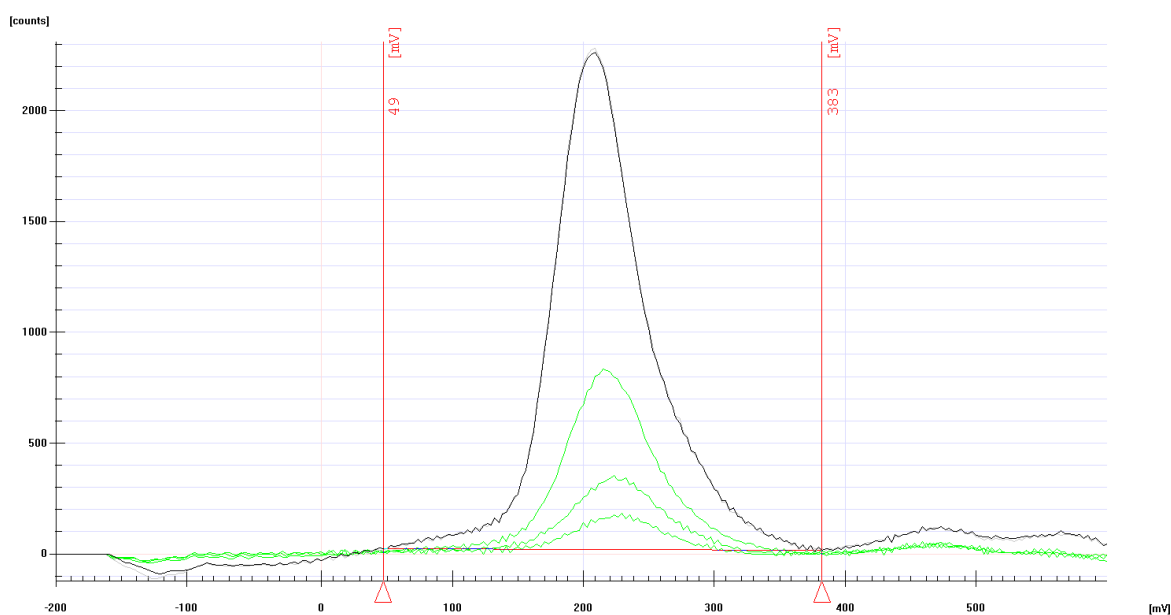
Oba vzorky byly rozděleny na tři části. K jedné části byl hned po odběru z pramene přidán hydrazin síran (HS) a k druhé části byla přidána askorbová kyselina (AK). Hydrazin síran i askorbová kyselina se ke vzorku vody přidávají, aby zabránily samovolné oxidaci  $\text{As}^{\text{III}}$  na  $\text{As}^{\text{V}}$ . Získané hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5.3.

Ke kontrole správnosti výsledků byl použit vzorek studniční vody z oblasti Sedlčanska (vzorek C), kde podle rozboru Hygienické laboratoře v Příbrami je obsah celkového arsenu  $13,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ , který byl použit jako interní referenční materiál.

Na Obr. 5.2. je znázorněno vyhodnocení chronopotenciogramu při vysokých koncentracích As ve vzorku.

**Tab. 5.3.** *Obsah celkového arsenu ve vzorcích minerální vody Ida.*

koncnetrace [ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]		měřeno 6/2008	měřeno 9/2008	měřeno 3/2009
vzorek A	Ida	95,75	100	94,43
	Ida + AK	124,1	126	118,9
	Ida + HS	97,45	99,72	58,32
vzorek B	Ida	-	-	136,55
	Ida + AK	-	-	125,6
	Ida + HS	-	-	120,4
vzorek C	studna	-	-	14,85



**Obr. 5.2.** Chronopotenciogram celkového As vzorku B Idy. Zelené píky vyznačují chronopotenciogramy standardních roztoků  $As^V$  o koncentraci 10, 20 a 50  $\mu g.l^{-1}$ , ze kterých byla vytvořena kalibrační přímka.

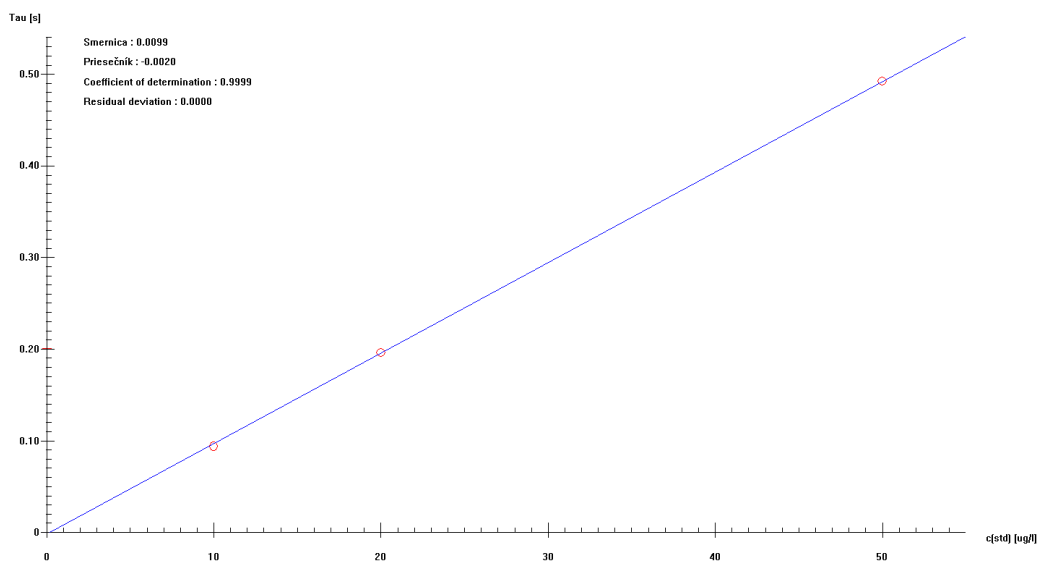
### 5.1.3. Stanovení $As^{III}$ v minerálních vodách

Byly proměřeny minerální vody běžně dostupné v obchodní síti. Získané výsledky jsou uvedeny v Tab. 5.4. Dále byly analyzovány vzorky minerální vody Ida a referenční materiál vzorek C se známou koncentrací As. Na Obr. 5.4. je zobrazen chronopotenciogram vzorku s nízkým obsahem As.

**Tab. 5.4.** Obsah  $As^{III}$  v minerálních vodách v jednotkách  $\mu g.l^{-1}$ .

Minerální voda	měřeno 11/2008
koncentrace	$\mu g.l^{-1}$
Bílinská kyselka	0,52
Hanácká	< MD
Korunní	< MD
Magnesia	< MD
Mattoni	< MD
Ondrášovka	< MD
Poděbradka	< MD
Šaratica	< MD
Vincentka	< MD
Zaječická hořká	< MD

Vyhodnocení bylo provedeno metodou kalibrační přímky podle Obr. 5.3.

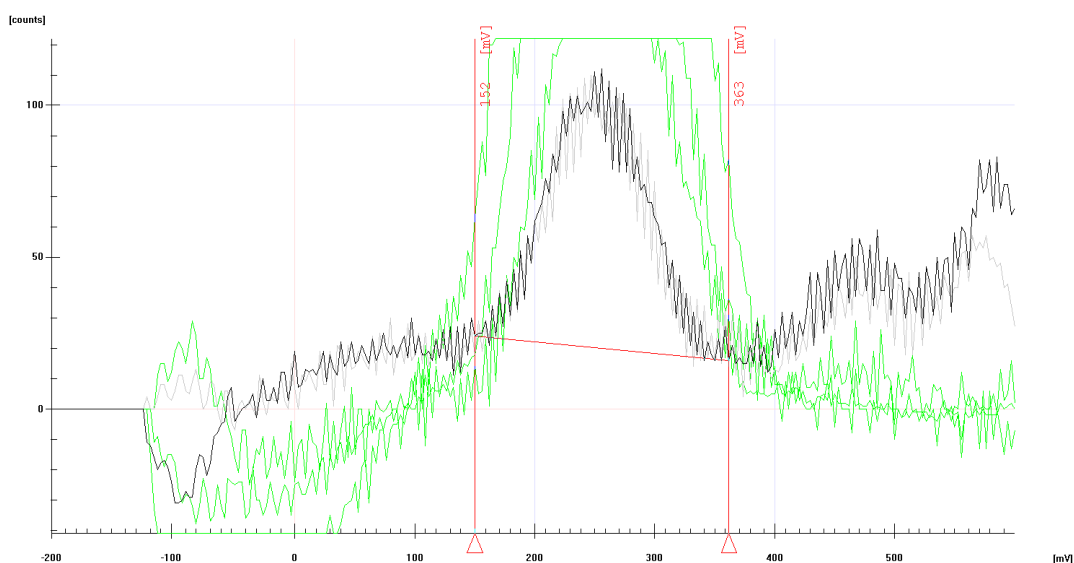


**Obr. 5.3.** Kalibrační závislost standardních roztoků  $As^{III}$  o koncentraci  $c(As) = 10, 20$  a  $50 \mu g.l^{-1}$ , měřeno technikou průtokové rozpouštěcí coulometrické analýzy.



**Tab. 5.5.** Obsah  $As^{III}$  ve vzorcích minerální vody Ida v jednotkách  $\mu g.l^{-1}$ .

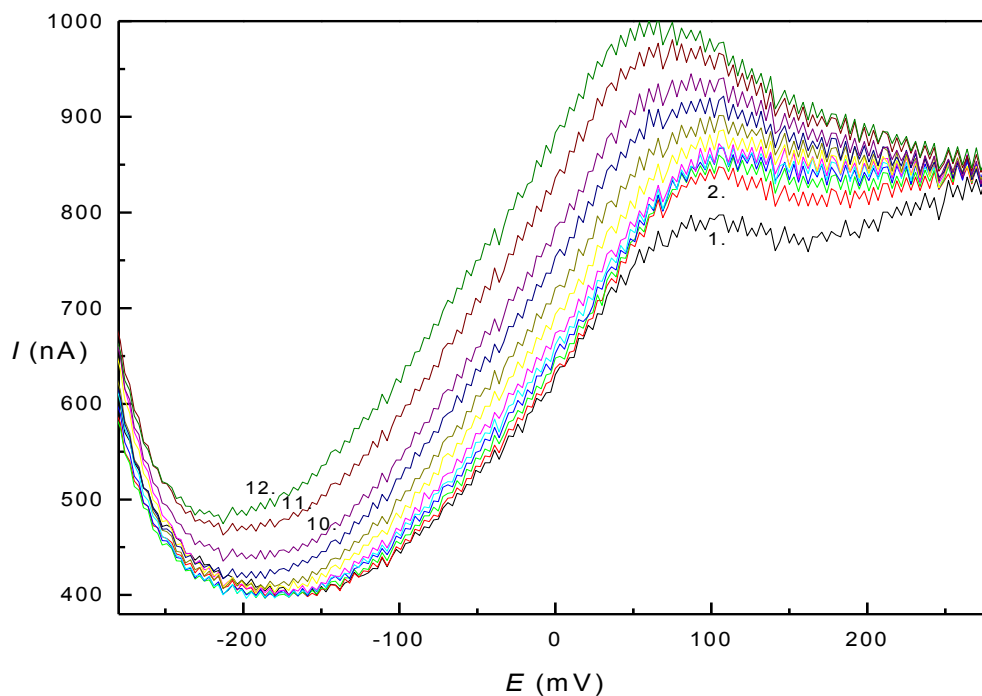
koncnetrace [ $\mu g.l^{-1}$ ]		měřeno 11/2008	měřeno 3/2009
vzorek A	Ida	< MD	< MD
	Ida + KA	2,99	3,80
	Ida + HS	0,27	0,19
vzorek B	Ida	-	< MD
	Ida + KA	-	< MD
	Ida + HS	-	< MD



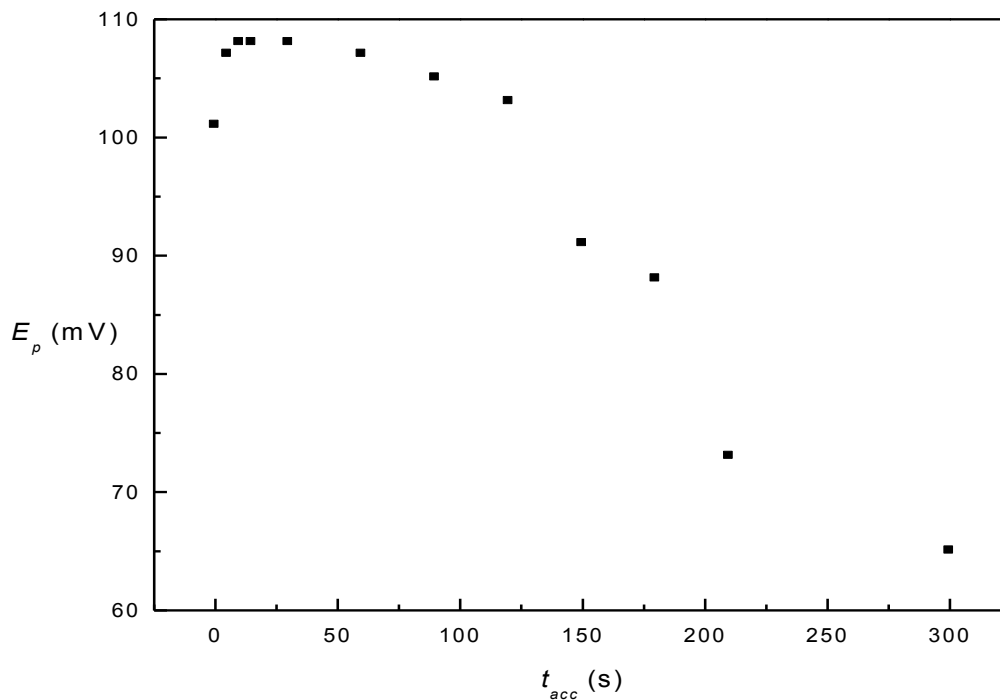
**Obr. 5.4.** Chronopotenciogram  $As^{III}$  vzorku A Idy + AK.

## 5.2. Voltametrické stanovení $As^{III}$ na zlaté elektrodě

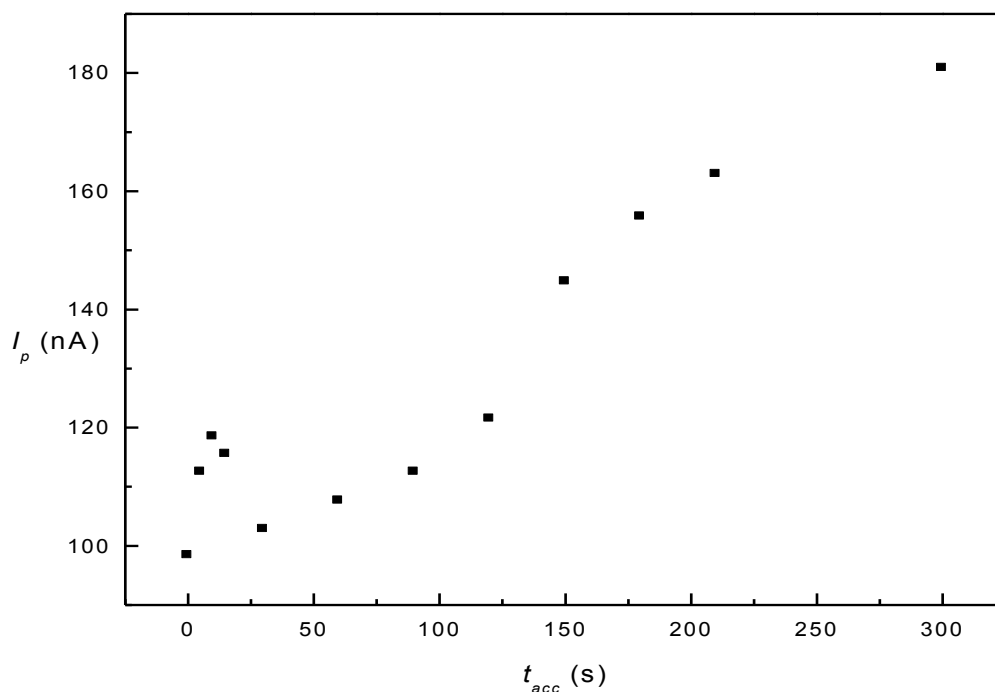
U voltametrického stanovení  $As^{III}$  byla sledována závislost výšky a polohy píku na době akumulace. Zaznamenané voltametrické křivky jsou shrnuty na Obr. 5.5. Na změřených voltamogramech je možné pozorovat vždy jeden signál, jehož tvar píku svědčí o silné adsorpci As na povrchu elektrody. Výška píků se zvyšuje s prodlužující se dobou akumulace. Poloha píku se při vyšší době akumulace posouvá k zápornějším hodnotám potenciálu. Závislost výšky a polohy píku na době akumulace je možné vidět na Obr. 5.6. a Obr. 5.7.



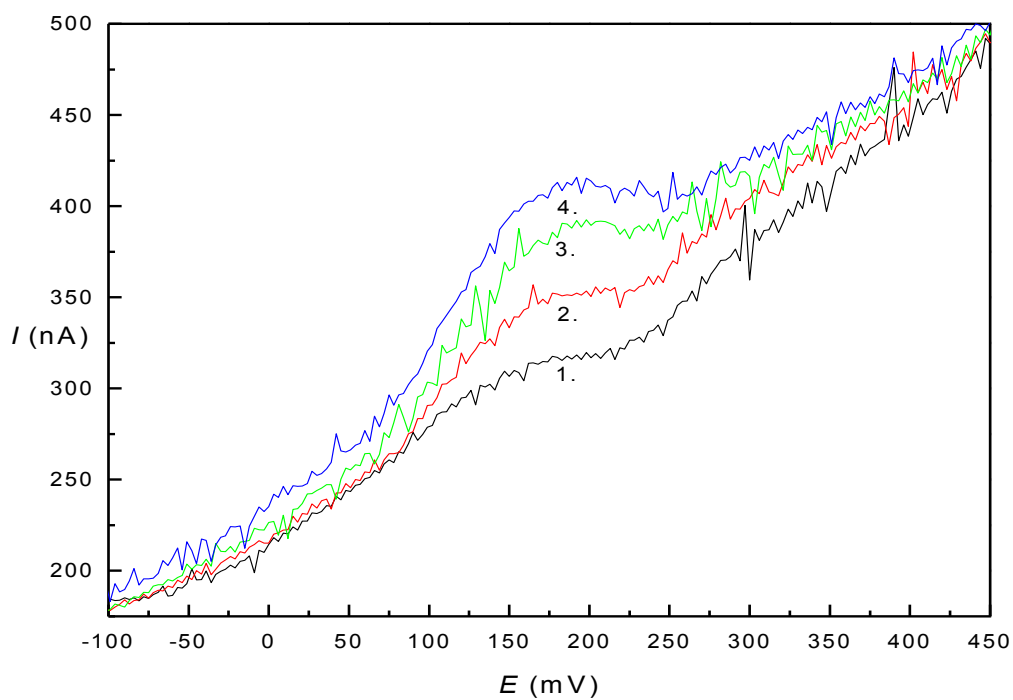
**Obr. 5.5.** Voltamogramy  $As$  ( $c = 50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) měřené technikou DPV ( $E_{acc} = -300 \text{ mV}$ ) v závislosti na době akumulace.  $t_{acc} = 0$  (1); 5 (2); 10 (3); 15 (4); 30 (5); 60 (6); 90 (7), 120 (8); 150 (9); 180 (10); 210 (11); 300 (12) s.



**Obr. 5.6.** Závislost potenciálu piku  $E_p$   $As$  ( $c = 50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) na délce akumulace  $t_{acc}$  ( $E_{acc} = -300 \text{ mV}$ ).

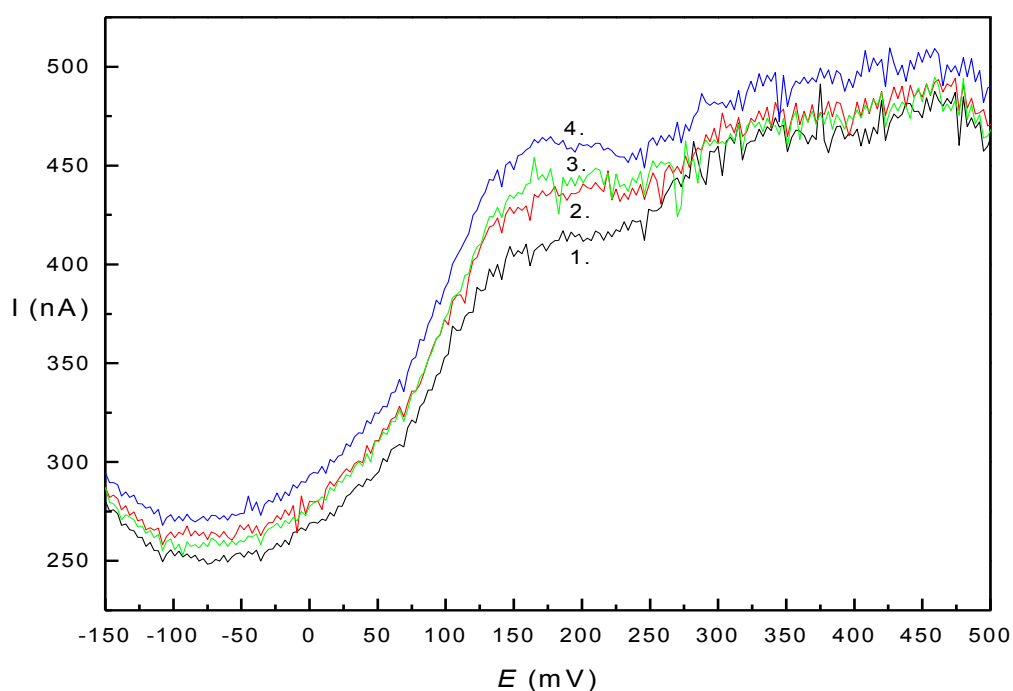


**Obr. 5.7.** Závislost proudu píku  $I_p$   $As$  ( $c = 50 \mu g.L^{-1}$ ) na délce akumulace  $t_{acc}$  ( $E_{acc} = -300 mV$ ).



**Obr. 5.8.** Voltamogramy  $As^{III}$  vzorku A minerální vody Ida + AK ( $E_{acc} = -300 mV$ ,  $t_{acc} = 120 s$ ). Vzorek A Ida + AK (1), (1) + 100  $\mu l$  roztoku  $As^{III}$  ( $c = 1 mg.l^{-1}$ ) (2), (1) + 200  $\mu l$  roztoku  $As^{III}$  ( $c = 1 mg.l^{-1}$ ) (3) a (1) + 300  $\mu l$  roztoku  $As^{III}$  ( $c = 1 mg.l^{-1}$ ) (4).

Dále byly vzorky A a vzorky B minerálních vod Ida a minerálních vod Ida s přidavkem stabilizátoru redukovány a byl stanoven obsah celkového arsenu. na Obr. 5.9. jsou znázorněny voltamogramy vzorku B minerální vody Ida + HS. Vyhodnocení bylo provedeno metodou standardních přídavek. Obsah celkového As ve vzorku byl stanoven  $22,9 \pm 7,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ .



**Obr. 5.9.** Voltamogramy celkového As vzorku B minerální vody Ida + HS ( $E_{acc} = -300 \text{ mV}$ ,  $t_{acc} = 120 \text{ s}$ ). Vzorek B Ida + HS (1), (1) +  $100 \mu\text{l}$  roztoku  $\text{As}^{\text{III}}$  ( $c = 1 \text{ mg.l}^{-1}$ ) (2), (1) +  $200 \mu\text{l}$  roztoku  $\text{As}^{\text{III}}$  ( $c = 1 \text{ mg.l}^{-1}$ ) (3) a (1) +  $300 \mu\text{l}$  roztoku  $\text{As}^{\text{III}}$  ( $c = 1 \text{ mg.l}^{-1}$ ) (4).

### 5.3. Stanovení pH minerálních vod

Bylo změřeno pH minerálních vod běžně dostupných v obchodní síti. Všechny minerální vody byly neochucené s výjimkou minerální vody Hanácká kyselka, která byla s příchutí citronu. Byly provedeny tři měření. První měření z roku 2007 bylo převzato od Pospíchalové (2007), viz Tab. 5.6.

Dále byly proměřeny vzorky minerálních vod Ida a referenční materiál studniční vody ze Sedlčanska, hodnoty jsou shrnuty v Tab. 5.7.

**Tab. 5.1.** *Hodnoty pH vzorků minerálních vod.*

Minerální voda	měřeno 2007	měřeno 9/2008	měřeno 3/2009
Bílinská kyselka	7,09	7,59	7,70
Hanácká	6,55	4,23	4,33
Korunní	6,21	7,51	7,57
Magnesia	6,39	7,21	7,28
Mattoni	6,07	7,22	7,21
Ondrášovka	6,23	7,03	7,01
Poděbradka	6,25	7,32	7,24
Šaratica	7,73	8,02	8,01
Vincentka	6,64	7,14	6,83
Zaječická hořká	7,32	7,82	7,44

**Tab. 5.1.** *Hodnoty pH vzorků minerální vody Ida.*

		měřeno 9/2008	měřeno 3/2009
vzorek A	Ida	6,61	5,68
	Ida + AK	6,43	5,44
	Ida + HS	3,24	5,28
vzorek B	Ida	-	6,68
	Ida + AK	-	6,15
	Ida + HS	-	3,08
vzorek C	studna	-	7,15

## 6. Diskuze

---

Tato diplomová práce navazuje na diplomovou práci „Obsah arsenu v minerálních vodách“, která byla vypracována Pospíchalovou v roce 2007. Arsen byl měřen metodou generování hydridů AAS a získané výsledky jsou zde porovnávány s hodnotami obsahu arsenu stanovenými jinými analytickými metodami.

Byl učiněn pokus o optimalizaci stanovení  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$  v minerálních vodách běžně dostupných v obchodní síti a bývalé minerální vodě Ida, jejíž pramen vyvěrá v Bělovsi. Dále bylo proměřeno pH analyzovaných vzorků vod. Ke stanovení arsenu v minerálních vodách byla použita technika průtokové rozpouštěcí coulometrické analýzy a diferenční pulsní katodické rozpouštěcí voltametrie s použitím zlaté elektrody.

Všechny analyzované minerální vody byly bez příchuti, pouze Hanácká kyselka byla s příchutí citron, což se projevilo i na nižší hodnoty pH, jak ukazuje Tab 5.1. Během doby, po kterou byly vzorky skladovány, se pH nepatrně zvýšilo. Největší zvýšení pH je možné pozorovat u vzorků Korunní, Mattoni a Poděbradka, kde rozdíl pH činí více než 1 jednotku. Nejmenší rozdíl je patrný u Vincentky a Šaratice, kde se rozdíl v pH pohybuje okolo 0,2 jednotek. K poklesu pH došlo u již zmiňované Hanácké kyselky, kde rozdíl pH činí přes 2 jednotky! V této minerální vodě byla po dlouhé době skladování již také pozorována zřetelná mikrobiální kontaminace.

Bylo provedeno měření průtokovou rozpouštěcí coulometrickou analýzou, přičemž byla studována stabilita standardních roztoků  $\text{As}^{\text{III}}$  o koncentraci 10, 20 a 50  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Výsledky jsou shrnuty v Tab 5.1. Po dobu 14ti dnů se jejich stabilita nemění, po necelých pěti měsících roztoky  $\text{As}^{\text{III}}$  již neobsahují, protože samovolně oxiduje na  $\text{As}^{\text{V}}$ . Z tohoto důvodu je třeba připravovat standardní roztoky před každým měřením nové.

Vyhodnocování měření provedené coulometrickou analýzou je velmi subjektivní, i nepatrný posun základny píku způsobí změnu koncentrace až o jednotky  $\mu\text{g}$  a proto vyžaduje určitou experimentální zkušenost.

Coulometricky byly na celkový obsah As proměřeny všechny minerální vody dostupné v obchodní síti. Výsledky jsou shrnuty v Tab. 5.2. Z výsledků vyplývá, že vyšší obsah As byl nalezen v minerální vodě Bílinská kyselka ( $34,45 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) a Vincentka ( $25,05 \mu\text{g.l}^{-1}$ ). V obou minerálních vodách byl překročen limit obsahu As daný vyhláškou č. 275/2004 Sb, který činí  $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Nízký obsah As byl naopak nalezen v minerální vodě Magnesia ( $3,08 \mu\text{g.l}^{-1}$ ).

Nebyly prokázány hodnoty vysokého obsahu As v Karlovarských minerálních vodách, které udává Pitter (1999). Hodnoty naměřené touto metodou se neshodují ani s výsledky publikovanými Pospíchalovou (2007) až o několik desítek  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , viz Hodnoty As stejných minerálních vod měřené technikou AAS jsou vyšší, pouze v minerální vodě Vincentka byl obsah As nižší.

V Tab. 5.3. jsou uvedeny hodnoty celkového obsahu arsenu v bývalé minerální vodě Ida. Ani zde nebyly potvrzeny hodnoty, které udává Pitter (1999) a Pospíchalová (2007). Metodou AAS byl zjištěn obsah arsenu přes  $200 \mu\text{g.l}^{-1}$ , coulometrickou analýzou se stanovený obsah As pohyboval od  $90$  do  $140 \mu\text{g.l}^{-1}$  v závislosti na typu vzorku. Stanovení stopových množství As je velmi problematické. Při měření hydridovou technikou je velmi pravděpodobné, že výsledky zkresluje přítomnost ostatních minerálních látek. V coulometrii zkresluje výsledky přítomnost  $\text{CO}_2$ . Před vlastním měřením je tedy třeba minimalizovat přítomnost oxidu uhličitého mírným zahřátím.

K měření správnosti výsledků byl použit vzorek studniční vody z oblasti Sedlčanka, který byl analyzován Hygienickou laboratoří v Příbrami a obsah celkového arsenu byl stanoven standardním operačním postupem na hodnotu  $13,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Coulometrickou analýzou byl obsah celkového arsenu stanoven na hodnotu  $14,48 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

Přítomnost  $\text{As}^{\text{III}}$  byla prokázána pouze v minerální vodě Ida s askorbovou kyselinou jako stabilizačním činidlem, a to v koncentraci  $3,40 \mu\text{g.l}^{-1}$ . KA byla přidána ke vzorku okamžitě po odběru.  $\text{As}^{\text{III}}$  je velmi rychle oxidován na  $\text{As}^{\text{V}}$  a proto se běžně v minerálních vodách s nižším obsahem As nevyskytuje. Tato skutečnost je pozitivní, neboť se jedná v případě  $\text{As}^{\text{III}}$  jedná o toxičtější formu arsenu.

Voltametrické stanovení As v minerálních vodách ve spojení se zlatou elektrodou se ukázalo jako nereprodukovatelné. Hodnoty získané v jeden den nebyly shodné s hodnotami získanými v jiný den měření za stejných laboratorních podmínek.

Výsledky, které byly voltametričkým stanovením získány, neodpovídají obsahu As ve vzorcích minerálních vod získané coulometricky a největší pravděpodobností ani skutečnosti.

Na kvalitu píku má vliv nejen základní elektrolyt, ale i ostatní složky minerálních vod. V přítomnosti redukčních činidel se pík posouvá ke kladnějším hodnotám potenciálu.

Největším problémem voltametričkého stanovení se jeví leštění zlaté elektrody, u které je problém získat zrcadlově lesklý povrch.

Př voltametričném stanovení  $\text{As}^{\text{III}}$  byla sledována závislost výšky a polohy píku na době akumulace. Zaznamenané voltametričké křivky jsou shrnuty na Obr. 5.5. Na změřených voltamogramech je možné pozorovat vždy jeden signál, jehož tvar píku svědčí o silné adsorpci As na povrch elektrody. Výška píku se zvyšuje s delší dobou akumulace. Poloha píku se při vyšší době akumulace posouvá k zápornějším hodnotám potenciálu. Závislost výšky a polohy píku na době akumulace je znázorněno na Obr. 5.6. a Obr. 5.7.

Vyhodnocování bylo prováděno metodou standardních přídavek, protože se nepodařilo naměřit hodnoty pro vytvoření kalibrační křivky.

Vyhodnotitelné výsledky byly získány ve vzorku A minerální vody Ida + AK. Voltamografické křivky jsou znázorněny na Obr. 5.8. Obsah  $\text{As}^{\text{III}}$  byl stanoven  $7,88 \mu\text{g.l}^{-1}$  voltametričcky ( $3,40 \mu\text{g.l}^{-1}$  coulometricky). Obr. 5.9. znázorňuje voltamogramy celkového obsahu arsenu ve vzorku B minerální vody Ida + HS. Obsah celkového As byl stanoven  $22,9 \mu\text{g.l}^{-1}$  voltametričcky ( $120,4 \mu\text{g.l}^{-1}$  coulometricky).

Voltmetricky se stanovuje  $\text{As}^{\text{III}}$ , celkový obsah As se stanovuje po redukci  $\text{As}^{\text{V}}$  na  $\text{As}^{\text{III}}$ . Nižší stanovená hodnota As je dána pravděpodobně nedokonalou redukcí  $\text{As}^{\text{V}}$ .

Závěrem lze konstatovat, že metoda průtokové rozpouštěcí coulometrie je pro stanovení arsenu ve srovnání s voltametrií metodou vhodnější a lze ji využít ke stanovení stopového množství arsenu v minerálních vodách i jeho jednotlivých specií.



## 7. Závěry a doporučení

---

Byl učiněn pokus o optimalizaci stanovení  $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$  v minerálních vodách voltmetrickou a coulometrickou metodou.

Voltametrické stanovení ve spojení se zlatou elektrodou se ukázalo jako nereprodukovatelné, ačkoliv byla elektroda před každým měřením aktivována. Výsledky, které byly voltametrickým stanovením získány, neodpovídají skutečnému obsahu As ve vzorcích minerálních vod.

Na kvalitu píku má vliv nejen základní elektrolyt, ale i ostatní složky minerálních vod. V přítomnosti redukčních činidel se pík posouvá ke kladnějším hodnotám potenciálu.

Největším problémem voltametrického stanovení se jeví leštění zlaté elektrody, u které je problém získat zrcadlově lesklý povrch.

Jako vhodná metoda stanovení As v minerálních vodách se ukázala coulometrická analýza. Metoda byla ověřena analýzou celkového obsahu arsenu referenčního vzorku studniční vody o známé koncentraci. Koncentrace As v referenčním vzorku byla  $13,80 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Coulometrickým stanovením byla získána hodnota  $14,85 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

V minerálních vodách byl stanoven  $\text{As}^{\text{III}}$ . Obsah arsenu v minerálních vodách se pohyboval v rozsahu od  $0,39$  do  $136,55 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Nejvyšší celkový obsah As byl stanoven v bývalé minerální vodě Ida, kde se koncentrace pohybovala v rozmezí od  $94,43$  do  $136,55 \mu\text{g.l}^{-1}$  podle typu vzorku. Vyšší obsah  $\text{As}^{\text{V}}$  byl nalezen v minerálních vodách Bílinská kyselka ( $34,45 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) a Vincentka ( $25,05 \mu\text{g.l}^{-1}$ ). Zde byl arsen přítomen pouze v méně toxické formě  $\text{As}^{\text{V}}$ . V těchto minerálních vodách bylo překročeno nejvyšší povolené množství dané vyhláškou ( $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ ).

Metoda poskytuje nižší hodnoty As než při měření hydridovou technikou. Limit detekce této metody je výrobcí stanoven  $0,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

## 8. Seznam literatury

---

Anon. Stav a vývoj na trhu balených vod [online]. Ipsos Tambor 31.3.2006 [cit. 2009-29-3]. Dostupné z <<http://www.ipsos-tambor.cz/cz/archiv/archiv-novinek/52-stav-a-vyvoj-na-trhu-balenych-vod/>>.

Bílinská kyselka. Bílinská kyselka - charakteristika, užití, chemická analýza [online]. Bohemia Healing Mineral Waters CZ a.s. [cit. 2008-20-9]. Dostupné z [www: <http://www.bilinskakyselka.cz/produkty\\_bilinska\\_kyselka.html>](http://www.bilinskakyselka.cz/produkty_bilinska_kyselka.html).

Bocková, A. Minerální prameny ve Františkových lázních [online]. Informační portál Karlovarského kraje, 28.7.2008 [cit. 2009-1-1]. Dostupné z [www: <http://www.kr-karlovarsky.cz/Turisticky/lazne/min\\_prameny/FL.htm>](http://www.kr-karlovarsky.cz/Turisticky/lazne/min_prameny/FL.htm).

Cullen, M., Mearns, J.M.P. 1993. Couolometric determination of arsenic in gallium arsenide crystal wafers. *Analytica Chimica Acta*, 277, 113 – 117.

Česko. Zákon č. 275/2004 o požadavcích na jakost a zdravotní nezávadnost balených vod a o způsobu jejich úpravy, ze dne 1. května 2004.

Český statistický úřad. Retrospektivní údaje o spotřebě potravin v letech 1920 – 2006 [online]. Český statistický úřad, 31.7.2008, 13.8.2008 [cit. 2009-17-3]. Dostupné z <<http://www.czso.cz/csu/2008edicniplan.nsf/p/3014-08>>.

De Carvalho, L. M., Nascimento, P. C., Bohrer, D., Stefanello, R., Pilau, E. J., Da Rosa, M. B. 2008. Redox Speciation of Inorganic Arsenic in Water and Saline Samples by Adsorptive Cathodic Stripping Voltammetry in the Presence of Sodium Diethyl Dithiocarbamate. *Electroanalysis*, 20, 776-781.

Doležal, V. Voda a nealko nápoje [online]. Jídlo-pití-žití [cit. 2008-20-10]. Dostupné z [www: <http://www.gastro-server.com/jpz/pagepiti/voda.php>](http://www.gastro-server.com/jpz/pagepiti/voda.php).

Ferreira, M. A., Barros, A. A. 2002. Determination of As(III) and arsenic(V) in natural waters by cathodic stripping voltammetry at a hanging mercury drop electrode. *Analytica Chimica Acta*, 459, 151 – 159.

Greenwood, N. N., Earnshaw, A. 1993. *Chemie prvků*, Informatorium, Brno, 1635 s.

Greulach, U., Henze, G. 1995. Analysis of arsenic(V) by cathodic stripping voltammetry. *Analytica Chimica Acta*, 306, 217 – 223.

- Grotti, M., Frache, R. 2007. Direct determination of arsenic in sea-water by reaction cell inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 22, 1481 – 1487.
- Hagarová, I. 2007. Špeciácia arzénu vo vodách s využitím techník AAS. *Chemické listy*, 101, 768 – 775.
- Hanácká kyselka. O minerální vodě [online]. Hanácká kyselka, s.r.o. [cit. 2008-20-9]. Dostupné z www: <<http://www.hanackakyselka.cz/main.php?s1=16&lang=cz>>.
- Horák J., Linhart I., Klusoň P. 2004. Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky, Vydavatelství VŠCHT, Praha, 189 s., dostupné také z www: <<http://vydavatelstvi.vscht.cz>>.
- Hovorka F. 2005. Technologie chemických látek, Vydavatelství VŠCHT, Praha, 181 s., dostupné také z www: <<http://vydavatelstvi.vscht.cz>>.
- Chýlková, J., Polák, J., Mészáros, R. 1999. Stanovení arsenu diferenčně pulsní katodickou stripping voltametrií na stacionární rtuťové kapce. *Chemické listy*, 94, 321 – 325.
- Integrovaný registr znečištění, Arzen a sloučeniny (jako As) [online]. Ministerstvo životního prostředí České republiky [cit. 2008-11-9]. Dostupné z <[http://www.irz.cz/obsah/latky/arsen\\_a\\_sl](http://www.irz.cz/obsah/latky/arsen_a_sl)>.
- Ježková, J. Výroba minerálních vod [online]. Svaz minerálních vod, 2/2005 [cit. 2009-29-3]. Dostupné z <<http://www.svaz-mv.cz/statistika.htm>>.
- Klouda, P., 1996. Moderní analytické metody. Nakladatelství Pavel Klouda, Ostrava, 203 s.
- Kopanica, M., Novotný, L. 1998. Determination of traces of arsenic(III) by anodic stripping voltammetry in solutions, natural waters and biological material. *Analytica Chimica Acta*, 368, 211 – 218.
- Korunní. Kapka historie [online]. Karlovarská Korunní [cit. 2008-20-9]. Dostupné z www: <<http://www.korunni.cz/historie.htm>>.
- Kořístek, Z. Oxid arsenitý v léčbě akutní promyelocytární leukemie [online]. Farmakoterapie [cit. 2009-29-3]. Dostupné z <<http://www.farmakoterapie.cz/cz/Clanek/868>>.
- Kožíšek, F. Rady spotřebitelům balených vod [online]. Státní zdravotní ústav, 22.12.2005 [cit. 2009-2-1]. Dostupné z www: <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/rady-spotrebitelum-balenych-vod>>.

Kožíšek, F., Pomykačová, I., Weyessa Gari, D., Němcová, V., Nešpůrková, L. Problematika arsenu v pitné vodě v České republice [online]. Meteau.cz, 26.2.2009 [cit. 2009-2-4]. Dostupné z www: <<http://meteau.cz/home/o-projektu/>>.

Kratzer, K., Kožíšek, F., Puklová V. Jakost pitné vody z veřejných vodovodů [online]. Státní zdravotní ústav Praha [cit. 2009-26-3]. Dostupné z <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/jakost-pitne-vody-z-verejnych-vodovodu>>.

Lefnerová, D., Šimůnek, J. Antibiotika [online]. Lékařská fakulta Masarykovy univerzity [cit. 2009-12-3]. Dostupné z <<http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/atb.pdf>>.

Lenoble, V., Deluchat, V., Serpaud, B., Bollinger, J. C. 2003. Arsenite oxidation and arsenate determination by the molybdene blue method. Talanta, 61, 267 – 276.

Li, H., Smart, R. B. 1995. Determination of sub-nanomolar concentration of arsenic(III) in natural waters by square wave cathodic stripping voltammetry. Analytica Chimica Acta, 325, 25 – 32.

Magnesia. Pramen [online]. Karlovarské minerální vody, a.s. [cit. 2008-20-9]. Dostupné z www: <<http://www.magnesia.cz/main.php?pageid=50&lang=1>>.

Mattoni. Mattoni přírodní [online]. Karlovarské minerální vody, a.s. [cit. 2008-20-9]. Dostupné z www: <<http://www.mattoni.cz/cz/produkty/mattoni/mattoni-prirodni/perliva?show=15>>.

Myšičková, M. 2008. Náboženské svátky v romských rodinách na slovenském Gemeru, diplomová práce, Univerzita Pardubice, Filozofická fakulta, Pardubice, 78 s.

Ondrášovka. Chráněný zdroj [online]. Marila Balírny a.s. [cit. 2008-20-9]. Dostupné z www: <[http://www.ondrasovka.cz/index.php?option=com\\_content&task=blogcategory&id=4&Itemid=8](http://www.ondrasovka.cz/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=4&Itemid=8)>.

Paleček, J., Linhart, I., Horák., J. 1996. Toxikologie a bezpečnost práce v chemii. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 189 s.

Pitter P. 1999. Hydrochemie, Vydavatelství VŠCHT, Praha, 568 s.

Poděbradka. Objevení pramene [online]. Poděbradka, a.s. [cit. 2008-20-9]. Dostupné z www: <<http://www.podebradka.cz/>>.

- Pospíchalová, M. 2007. Obsah arsenu v minerálních vodách, diplomová práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Praha, 73 s.
- Profumo, A., Merli, D., Pesavento, M. 2005. Voltammetric determination of inorganic As(III) and total inorganic As in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 539, 245 – 250.
- Ronkart, S. N., Laurent, V., Carbonnelle, P., Mabon, N., Copin, A., Barthélemy, J. P. 2006. Speciation of five arsenic species (arsenite, arsenate, MMAA<sup>V</sup>, DMAA<sup>V</sup> and AsBet) in different kind of water by HPLC-ICP-MS. *Chemosphere*, 66, 738 – 745.
- Samek, A. Stáčírna Idy [online]. Běloves, 22.4.2008 [cit. 2009-1-1]. Dostupné z <<http://www.beloves.wz.cz/zridla.htm>>.
- Smíšek, J. Antibakteriální látky [online]. Lékařská fakulta Univerzity Karlovy, 29. května 2008 [cit. 2009-12-3]. Dostupné z <<http://mikrobiologie.unas.cz/soubory/atb.pdf>>.
- Státní ústav pro kontrolu léčiv, Databáze registrovaných léčivých přípravků, SLP a PZLÚ [online]. SÚKL, 10.3.2009 [cit. 2009-29-3]. Dostupné z <<http://www.sukl.cz/modules/medication/detail.php?kod=0027800>>.
- Státní zdravotní ústav. Monitoring zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k znečištění životního prostředí [online]. Centrum hygieny potravinových řetězců v Brně, 29.6.2006 [cit. 2009-26-3]. Dostupné z <<http://www.chpr.szu.cz/monitoring.htm>>.
- Šaratica. Léčivá minerální voda Šaratica [online]. Marila Balírny a.s. [cit. 2008-20-9]. Dostupné z www: <<http://www.saratica.cz/>>.
- Vincentka. Vznik Vincentky [online]. Léčivé vody a.s. [cit. 2008-20-9]. Dostupné z www: <<http://www.vincentka.cz/puvod.php>>.
- Vohlídal, J., Julák, A., Štulík, K. 1999. Chemické a analytické tabulky, Grada Publishing, spol. s r.o., Praha, 652 s.
- Wang, R. Y., Hsu, Y. L., Chang, L. F., Jiang, S. J. 2007. Speciation analysis of arsenic and selenium compounds in enviromental and biological samples by ion chromatography-inductively coupled plasma dynamic reaction cell mass spectrometer. *Analytica Chimica Acta*, 590, 239 – 244.

Zaječická hořká. Zaječická Hořká voda - charakteristika, užití, chemická analýza [online]. Bohemia Healing Mineral Waters CZ a.s. [cit. 2008-20-9]. Dostupné z www: <[http://www.bilinskakyselka.cz/produkty\\_zajecicka\\_voda.html](http://www.bilinskakyselka.cz/produkty_zajecicka_voda.html)>.

Zima, J., van den Berg, C. M. G. 1993. Determination of arsenic in sea water by cathodic stripping voltammetry in the presence of pyrrolidine dithiocarbamate. *Analytica Chimica Acta*, 289, 291 – 298.

Zýka, J. 1979. Analytická příručka, díl I. Nakladatelství technické literatury, n.p., Praha, 680 s.

## 9. Seznam použitých symbolů a zkratk

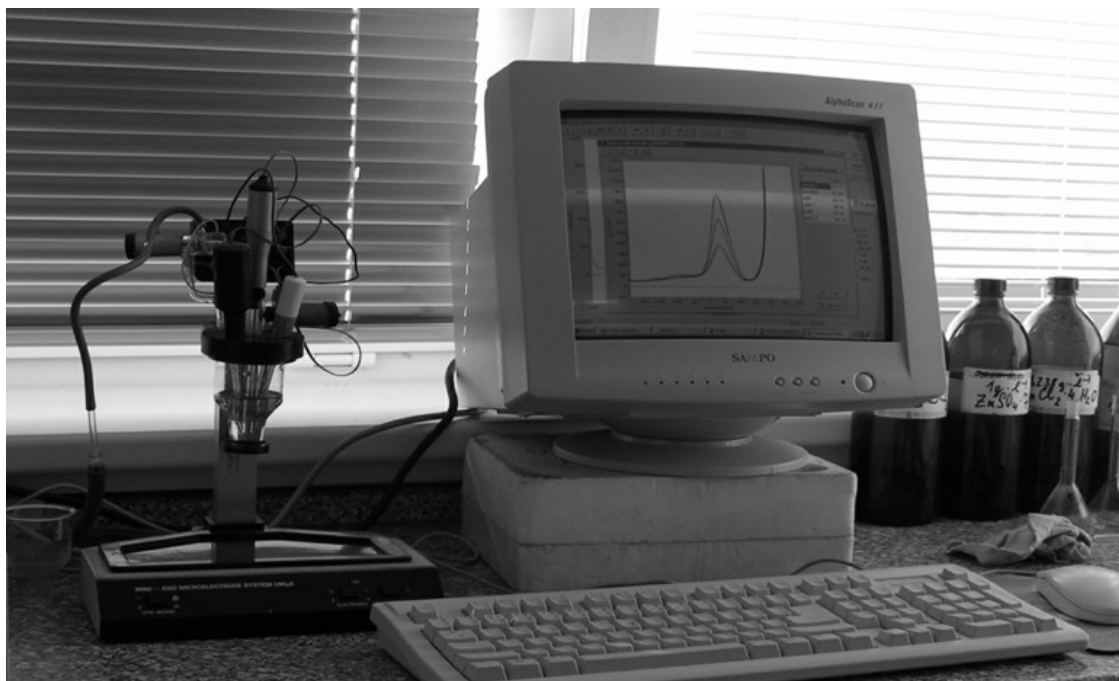
---

AAS	atomová absorpční spektrometrie
ASV	anodická rozpouštěcí voltametrie
CSV	katodická rozpouštěcí voltametrie
HMDE	visící rtuťová kapková elektroda
HPLC	vysokoučinná kapalinová chromatografie
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
KTJ	kolonie tvořící jednotku
MH	mezní hodnota
NMH	nejvyšší mezní hodnota
PTWI	přechodný tolerovatelný týdenní příjem
RL	rozpuštěné látky; ukazatel celkového obsahu minerálních látek

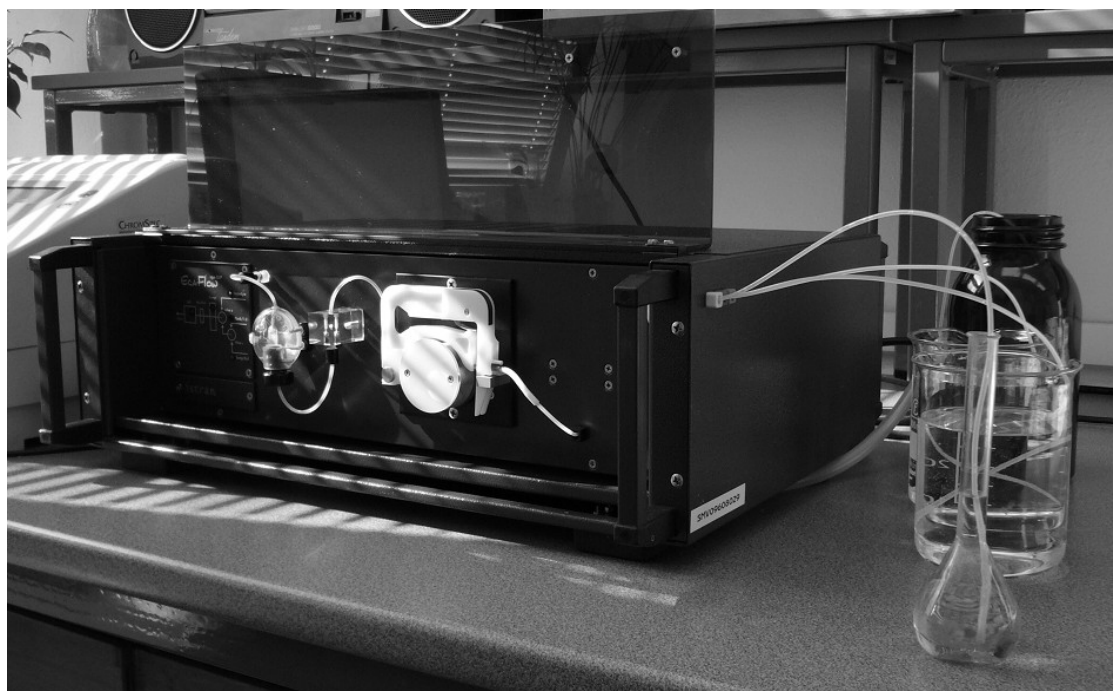
## 10. Přílohy

---

### 10.1. Zařízení k voltametrickému stanovení As



### 10.2. Zařízení k coulometrickému stanovení As





### 10.3. Chemické složení ldy

**BĚLOVESKÁ** **MIX**  
**KYSELKA** **NÁCHOD – BĚLOVES**  
**IDA** **CZECHOSLOVAKIA**

1,7 l

13.03.92

IDA je přírodní, stolní, prostá kyselka hydrogenuhlíčanosíranovápenná-hořečnatého typu, hypotonická, studená. Čerpá se z vrtu Ida (eventuálně náhradního zdroje S-7) v lázních Běloves, okres Náchod. Fyzikální vlastnosti a chemické složení byly zjištěny komplexní analýzou vody odebrané 10. dubna 1990 Výzkumným ústavem balneologickým v Mariánských Lázních.

ANALÝZA ROZPUŠTĚNÝCH PLYNŮ ON 86 8001

KATIONTY		mg/l	ANIONTY		mg/l
Lithium	Li <sup>+</sup>	0,110	Fluoridy	F <sup>-</sup>	0,285
Sodík	Na <sup>+</sup>	45,990	Chloridy	Cl <sup>-</sup>	9,910
Draslík	K <sup>+</sup>	5,310	Sírany	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	90,540
Hořeč	Mg <sup>2+</sup>	16,730	Dusičnany	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,500
Vápník	Ca <sup>2+</sup>	57,710	Hydrogenosulfát	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,000
Mangan	Mn <sup>2+</sup>	0,037	Hydrogensulfid	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,402
Zinek	Zn <sup>2+</sup>	0,734	Hydrogenuhlíkat	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	258,250
Součet kationtů			130,8	Součet aniontů	
				360,9	

\* Obsah uvedených součástí je úpravou vody před přelitím do láhvi redukován pod hodnotu 0,2 mg/l

8 594001 071234 >

ULOŽIT V CHLADNU A TEMNU

### 10.4. Výsledky AAS

**Tab. 10.1.** Hodnoty celkového obsahu As ve vzorcích minerálních vod měřené technikou AAS (Pospíchalová, 2007).

Minerální voda	měřeno
	11/2008
koncentrace	µg.l <sup>-1</sup>
Bílinská kyselka	54,53
Hanácká	7,84
Korunní	11,98
Magnesia	13,41
Mattoni	10,80
Ondrášovka	10,17
Poděbradka	9,99
Šaratica	11,84
Vincentka	8,86
Zaječická hořká	11,28
Ida	208,91

## 10.5. Jímací zařízení minerální vody

Přírodní vývěry minerální vody na zemském povrchu většinou nejsou přímo využitelné pro lázeňské provozy, je třeba je technicky upravovat. Zcela zásadně se liší jímání v povrchově odvodňovaných zřidelných strukturách, v nichž se jímají vývěry (prameny) na zemském povrchu, a ve strukturách zakrytých, tj. strukturách, které se na povrchu v přirozeném stavu neprojevují (Poděbrady, Bohdaneč, Darkov aj.). Liší se i jímání jednotlivých typů pramenů, výstupných a sestupných, jímání vod proplyněných a neproplyněných, jímání v různých horninových prostředích atd.

Každé jímání sestává z odkryvných prací, vlastního jímacího tělesa, které vodu zachytává a z potrubí, které ji vyvádí na určené místo, většinou do přepadové či výtokové vázy (např. Karlovy Vary), přelivné věže (Františkovy Lázně), bazénu (Janské Lázně), akumulčních nádrží (Klimkovice) apod. Specifickým a velmi důležitým prvkem jímání minerálních vod je jejich izolace od okolních vod prostých a zachování přirozených vlastností minerální vody.

**Zářezy** – podélné odkryvy v zeminách či horninách (pramen Otto v Kyselce u Karlových Varů).

**Pisciny** – otevřené vodní nádrže vybudované přímo nad přírodním vývěrem minerální vody (Janské lázně).

**Zvonové jímání** – rozptýlené vývěry jsou soustředěny do výstupního potrubí různě širokými a různě tvarovanými zvony, zvonky či trychtýři (Konstantinovy lázně, Františkovy lázně). Převážně pro jímání minerálních vod s vyšším obsahem oxidu uhličitého.

**Soustava jímacích zvonů** – pro příliš rozptýlené vývěry, jejichž vývody jsou spojeny do jednotného potrubí (pramen Natálie ve Františkových lázních).

**Studňové jímání** – pro jímání vod mělkého původu a drobných vývěrů (pramen Žrout v Karlových Varech).

**Šachtice** – vyzdívané z ostře pálených cihel v kombinaci se zvony, trychtýři, sběrnými dreny (Kyselka u Karlových Varů). V minulosti často využívány k hospodářskému zužitkování železitých, sirných a slaných vod.

**Kuželovité jímání** – šachtice a studny, jejichž spodní část je rozšířena do kruhu, jehlanu či kužele a napojena na výstupní profil (Wernerův mlýn na Chabsku).

**Sběrné schránky** – v minulosti značně rozšířené. Umisťovali se přímo na pukliny ve skalních masivech (Karlovy Vary, staré jímání Mlýnského pramene).

**Jímací vrty** – hlubší jímání minerální vody. První zmínky pochází ze starověké Číny, v ČR kolem roku 1638.

Vrty mohou představovat v případě kvalitního provedení téměř optimální jímací objekty, neboť v největší míře snižují průtočné odpory na výstupní cestě vody a omezují vydatnost postranních či divokých vývěrů a ředění minerální vody okolními prostými vodami. Při vhodném uspořádání vrty nenarušují režim okolních zdrojů minerální či prosté vody, velkou výhodou je též možnost poměrně snadné regulace odběru, stabilizace a měření fyzikálních či fyzikálně-chemických parametrů vody či plynu. Rovněž možnosti sanitace jsou v případě vrtů největší. Nevýhodou jímacích vrtů je proces tzv. stárnutí, tedy jejich relativně nižší životnost ve srovnání s jímkovým či šachticovým způsobem jímání minerální vody.

Časté jsou kombinace jímacích technik, tedy vrtání v šachtách, hlubinných dolech, štolách apod.

Konstrukce vrtů je sledem náročných operací, mezi něž patří vlastní hloubení v horninovém prostředí nejrůznějšími nástroji (korunky, dláta, valivá dláta, kladiva ad.), výnos vrtného jádra nebo drtě, výplachové hospodářství, izolace jednotlivých vodonosných obzorů, vystrojování vrtného stvolu, hydrodynamické zkoušky, vzorkování, karotážní měření atd., atd. Vrty mohou být konstruovány jako svislé, ukloněné nebo horizontální. Vlastní výstroj vrtu má velmi zhruba dva celky, spodní, tzv. aktivní část vrtu, která zajišťuje proudění minerální vody do tělesa vrtu a část výstupní, umožňující dopravu vody k povrchu. Podstatným problémem je materiál výstroje, který by měl odolávat stejně jako v případě jiných jímacích objektů agresivitě prostředí. Používají se proto v zásadě materiály jako antikorozivní oceli, plasty (PVC, PE, PB), lepené materiály, dříve však i dřevo.

Vrty neslouží výhradně k jímání minerální vody, je jich využíváno k monitorování případných změn tlaku kapalných či plyných fází v horninovém prostředí, k indikaci případného znečištění vod a sledování vývoje kontaminace, k regulaci tlakových poměrů ve zřídelní struktuře (např. v Karlových Varech) atd. Způsobů jejich využití je skutečně obrovská škála.