

**Institut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví, Praha**

**Subkatedra hygieny výživy a komunální hygieny**

**Zdravotní rizika pitné vody  
s vysokým obsahem rozpuštěných látek**

**(atestační práce)**

**Vypracoval: MUDr. František Kožíšek, CSc.**

**Praha, 2008**

Prohlašuji, že jsem atestační práci „Zdravotní rizika pitné vody s vysokým obsahem rozpuštěných látek“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v bibliografii (§ 31 Autorského zákona č. 121/2000 Sb. v platném znění).

MUDr. František Kožíšek, CSc.  
Státní zdravotní ústav  
Šrobárova 48, 100 42 Praha 10  
e-mail: voda@szu.cz

Imprimatur nadřízeného pracovníka

Imprimatur školitele

## **Souhrn**

Tato práce se zabývá otázkou zdravotních účinků pitné vody, která má vyšší obsah některých nebo většiny přirozených součástí (minerálů). Touto otázkou se totiž dosud nikdo v posledních letech komplexně nezabýval nebo zůstalo jen u pokusů. Současné limity pro tyto látky v pitné vodě, pokud vůbec existují, jsou stanoveny nikoliv z hlediska zdravotního, ale buď senzorického nebo technického jako je agresivita vody vůči vodárenským materiálům. Práce přináší podrobnou rešerši známých zdravotních účinků a vlivů na chuť vody hlavních makrokomponent vody (sodík, chloridy, sírany, vápník, hořčík, hydrogenuhličitan) i rozpuštěných látek jako celku. Vzhledem k tomu, že tyto prvky jsou zároveň ve značném množství přijímány potravou, je stanovení jejich koncentrace v pitné vodě, která by tvořila obecně platnou hranici mezi účinností a neúčinností resp. ještě přijatelnou a již nepřijatelnou účinností, velmi obtížné. V závěru je diskutován možný přístup k řešení této otázky v rámci procesu hodnocení zdravotních rizik pro účely výkonu státního zdravotního dozoru.

**Klíčová slova:** pitná voda – vysoká mineralizace – zdravotní rizika

## **Summary**

This paper deals with health effects of drinking water with higher content of some or most of natural constituents (minerals), because nobody has tried to cover in complexity this issue recently, or there were only unfinished attempts. Current limits of minerals in drinking water, if there are any, have been established not due to the health risks, but due to aesthetic (taste) reasons or technical aspects as corrosive aggressivity of water towards materials in contact with water. The paper brings the review of existing knowledge on health and aesthetic effects of main water constituents (sodium, chloride, sulphate, calcium, magnesium, bicarbonate) and total dissolved solids. As these elements are also consumed in considerable amount through food, it is very difficult to set its concentration in drinking water, which would represent generally valid threshold between efficiency and inefficiency or acceptable or unacceptable efficiency. The paper is concluded by discussion about possible approach to this problem within health risk assessment made within decision process of the Public Health Authority.

**Key words:** drinking water – high mineral content – health risks

## Obsah:

<b>Kapitola</b>	<b>Strana</b>
Prohlášení	2
Souhrn, klíčová slova /česky + anglicky/	3
Obsah	4
Seznam použitých zkratk	5
Seznam tabulek a obrázků uvedených v atestační práci	5
1. Úvod	6
1.1. Cíl práce	6
1.2. Obecné principy minerálního složení vody a jeho vyjadřování	7
1.3. Prospěšné účinky pití více mineralizovaných vod a jejich vztah k pitné vodě	8
2. Existující limitní hodnoty a doporučení a jejich původ	9
3. Přehled existujících poznatků o vlivu vody s vyšším obsahem minerálních látek na zdraví	11
3.1. Interakce látek a účinek jejich směsí	11
3.2. Sodík	11
3.3. Chloridy	16
3.4. Sírany	17
3.5. Chlorido-síranové vody	19
3.6. Vápník a hořčík (tvrdost)	20
3.6.1. Tvrdost vody a urolitiáza	21
3.7. Hydrogenuhličitany	24
3.8. Celková mineralizace (rozpuštěné látky)	24
3.9. Nepříznivý poměr prvků	29
4. Závěr	29
5. Literatura	33

### **Seznam použitých zkratk:**

AHA = American Heart Association (Americká asociace pro srdce)

ČR = Česká republika

ČSN = Československá státní norma

EHS = Evropské hospodářské společenství

ES = Evropské společenství

EU = Evropská unie

GIT = Gastrointestinální (zažívací) trakt

MZ = Ministerstvo zdravotnictví ČR

PASSCLAIM = Process for the Assessment of Scientific Support for Claims on Foods

(Proces vyhodnocování vědeckého zdůvodňování tvrzení uváděných na potravinách)

RL = rozpuštěné látky

SSSR = Svaz sovětských socialistických republik

TK = krevní tlak

US EPA = U.S. Environmental Protection Agency (Agentura na ochranu životního prostředí

USA)

USA = United States of America (Spojené státy americké)

WHO = World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)

### **Seznam tabulek uvedených v atestační práci:**

Tabulka 1. Limitní hodnoty pro celkovou mineralizaci (rozpuštěné látky – RL) a sodík.

Tabulka 2. Limitní hodnoty pro vápník a hořčík.

Tabulka 3. Limitní hodnoty pro chloridy a sírany.

### **Seznam obrázků uvedených v atestační práci:**

Obrázek 1. Sigmoidální křivka znázorňující možný vztah mezi příjmem sodíku a prevalencí hypertenze u větších populačních skupin.

# 1. ÚVOD

## 1.1. Cíl práce

Potřeba zpracovávaného tématu je aktuálně vyvolána dvěma důvody, z nichž jeden by bylo možné označit jako odborně-legislativní, druhý jako čistě odborný nebo odborně-osvětový.

Pokud dodávaná pitná voda nevyhovuje dlouhodobě v některém z chemických ukazatelů limitním hodnotám, stanoveným ve Vyhlášce MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody (v platném znění), musí výrobce/dodavatel vody požádat orgán ochrany veřejného zdraví o výjimku a o povolení užití této vody jako pitné. Orgán ochrany veřejného zdraví povolení na časově omezenou dobu vydá, jestliže zásobování pitnou vodou nelze zajistit jinak a nebude ohroženo veřejné zdraví. Posouzení, zda nebude ohroženo veřejné zdraví, se provádí standardní metodou hodnocení zdravotních rizik a má podobu posudku zpracovaného autorizovanou osobou, který výrobce vody předkládá orgánu ochrany veřejného zdraví. Podmínkou úspěšného zhodnocení rizik touto metodou je však dostupnost informace o nebezpečných vlastnostech hodnocené látky a především o vztahu mezi dávkou a účinkem. Zatímco pro většinu cizorodých látek, které nacházíme v pitné vodě, jsou tyto údaje v toxikologických databázích dostupné, pro přirozené součásti pitné vody, které se podílejí na vyšší mineralizaci, tyto údaje většinou chybí a u většiny autorizovaných osob panuje bezradnost, jak posouzení nedodržení limitní hodnoty pro tyto látky správně odborně provést.

Druhý důvod souvisí s mohutnou reklamou doporučující pití balených přírodních minerálních vod. Jedním z moderních (a reklamních) trendů potravinářského průmyslu je uvádět na trh tzv. funkční potraviny – tedy takové potraviny, které člověka nejen nasytí, popř. chuťově uspokojí, ale budou též plnit nějakou prospěšnou funkci ve vztahu ke zdraví člověka. Tento trend se nevyhýbá ani průmyslu balených vod – jedním z příkladů může být právě reklamní vyzdvihování některých minerálních vod jako „minerálově-optimálně-harmonicky-bohatě-vyvážených“. Při bližším zkoumání předkládaných tvrzení však většinou zjišťujeme, že jde o prázdná marketingová hesla bez patřičného odborného zdůvodnění, které je dnes evropskou potravinářskou legislativou vyžadováno [PASSCLAIM, 2005]. A naopak ze strany veřejnosti roste poptávka po odborném zhodnocení, zda pravidelná konzumace vody o vyšším obsahu minerálních látek nepředstavuje pro spotřebitele zdravotní riziko a pokud ano, pak jaké.

Bohužel, v posledních 15-20 letech byl vliv celkové mineralizace vody a jejích jednotlivých makrokomponent na lidské zdraví opomíjen či podceňován (jak po stránce

výzkumné, tak po stránce hygienicko-regulační) a hlavní pozornost byla u pitné vody věnována antropogenním kontaminujícím látkám nebo toxickým mikroprvkům přírodního původu (arzén, nikl, antimon). **Cílem této práce je shrnout dostupné, dosud souhrnně nezpracované poznatky o vlivu vyššího obsahu minerálních látek v pitné vodě na zdraví.**

## 1.2. Obecné principy minerálního složení vody a jeho vyjadřování

Pitná i balená voda vyrobená z přírodního zdroje podzemní nebo povrchové vody není nikdy čistá sloučenina  $H_2O$ , ale komplex ve vodě rozpuštěných plynů a rozpuštěných i nerozpuštěných anorganických a organických látek. Složení tohoto komplexu je (vedle případné úpravy vody) určeno především geochemickým charakterem podloží a dobou zdržení vody v podzemí. Téměř nekonečná různost složení zemské kůry a vodního koloběhu je pak příčinou, že každá podzemní (i sladká povrchová) voda je – co do svého přirozeného chemického složení – svým způsobem jedinečný originál.

Přírodní chemické složení vody je vedle plynů a mikrokomponentů (stopových prvků) definováno především obsahem makrokomponentů (hlavních minerálních látek či „solí“), mezi které počítáme zejména vápník, hořčík, sodík, draslík, chloridy, sírany a hydrogenuhličitan; do určité míry též dusičnany, křemík, železo a některé další ionty (bromidy ad.), které se však u běžných vod podílejí na celkovém obsahu všech minerálních látek jen okrajově.

Suma všech anorganických (minerálních) látek se nazývá **celková mineralizace**, která je součtem hmotnostních koncentrací všech jednotlivých rozpuštěných (a stanovených) anorganických látek. Protože se však v praxi stanovení všech složek vždy neprovádí<sup>1</sup>, určuje se celková koncentrace látek ve vodě většinou jako sušina všech látek po filtraci a pak se nazývá **rozpuštěné látky**. Hodnota celkové mineralizace určité vody získaná výpočtem (součtem koncentrací všech jednotlivých stanovených látek) nemusí být – a obvykle není – číselně totožná s hodnotou experimentálně stanovených rozpuštěných látek u téže vody. Poměr mezi těmito hodnotami, který závisí na zastoupení jednotlivých kationtů a aniontů a na jejich celkové koncentraci, se může u podzemních vod pohybovat od 0,56 až do 1,66 [Pitter, 1999]. Ani jeden z těchto ukazatelů není v současnosti obsažen v příslušném českém legislativním předpisu pro pitnou vodu (vyhláška 252/2004 Sb.). Nepřímo však lze jejich hodnoty odvodit z jiného obsaženého ukazatele: konduktivita (měrná vodivost).

---

<sup>1</sup> Stanovení všech složek (minerálních látek) se provádí jen u (zdrojů) přírodních minerálních vod, nikoliv u pitných vod.

Celková mineralizace může u podzemních vod nabývat velmi širokého spektra hodnot; u vod, které jsou určeny k lidské konzumaci, pak od několika desítek mg do několika tisíc mg v jednom litru (nepočítáme některé vody léčivé, jejichž mineralizace může být i vyšší než 10 tisíc mg/l). Takové různorodé chemické spektrum se přirozeně odráží i v různém účinku vod na lidské zdraví.

### **1.3. Prospěšné účinky pití více mineralizovaných vod a jejich vztah k pitné vodě**

Pokud má voda vyšší obsah nějaké minerální látky nebo více látek, než je pro pitnou vodu obvyklé, lze předpokládat, že se s její dlouhodobou (vzácněji i krátkodobou) konzumací v množství odpovídajícím spotřebě pitné vody může pojit vyšší riziko vzniku určité poruchy až choroby. Zároveň ale můžeme u některých těchto vod i očekávat, že krátkodobá konzumace takové vody v příslušném množství vyvolá v organismu určitou (vzhledem ke složení vody specifickou) fyziologickou reakci nebo že taková voda může sloužit jako vhodný zdroj určitého prvku (prvků) při jeho (jejich) akutním deficitu a potřebě. Takový efekt může být pro některé osoby žádoucí, nutno ho tedy hodnotit pozitivně a lze ho také pozitivně využít – samozřejmě za podmínky cílené a správné indikace: vodu pije ten, u koho je vyvolání specifické reakce žádoucí; pije se v potřebném množství a po vymezený čas, dostatečně dlouhý k dosažení žádaného efektu, ale přitom omezený, aby nedošlo k vyčerpání adaptačních reakcí a zvratu k patologickým změnám. To je případ řady tuzemských minerálních vod, kterých se využívá či dříve využívalo k lázeňskému léčení nebo domácím pitným kúram. Nemuselo jít přitom jen o uznané vody léčivé, ale i některé tzv. stolní přírodní minerální vody (ve staré terminologii). Konečně i jedna ze současných podmínek lázeňského zákona (č. 164/2001 Sb. v platném znění) pro vyhlášení zdroje přírodní minerální vody je, aby voda měla „z hlediska výživy fyziologické účinky dané obsahem minerálních látek, stopových prvků nebo jiných součástí“.

Rozdílnému pojetí „prospěšnosti“ pitných a (více) minerálních (fyziologicky aktivních) vod pak odpovídají i rozdílné vědecké metody používané k ověření jejich účinku. Zatímco u vod fyziologicky aktivních jde o časově omezené klinické studie na vybraných skupinách pacientů či zdravých dobrovolníků, jejichž hlavním cílem je potvrzení či vyvrácení očekávaného prospěšného účinku a nalezení správné indikace, u vod pitných jde o epidemiologické studie na (ideálně co nejpočetnějších) lidských populacích či subpopulacích vybraných metodou náhodného výběru, které používají danou pitnou vodu nejméně několik let, nebo experimentální studie na zvířatech simulující chronickou expozici, které mají za cíl



zjistit, která voda nevyvolá nežádoucí účinky nebo se její konzumace pojí s co nejmenším výskytem sledované nemoci.

Prospěšnými účinky vod o vyšší mineralizaci se zabývá balneologická literatura. Tato práce je pak zaměřena na možné škodlivé účinky plynoucí z opakované, déletrvajících konzumace více mineralizovaných vod. Akutní negativní účinek totiž není příliš častý – může jít např. o průjem, pokud je ve vodě zároveň přítomno větší množství síranových a hořečnatých iontů, nebo o zhoršení stavu u srdečního měštnání, pokud by nemocný (kardiak) vypil ve večerních hodinách více vody s vyšším obsahem sodíku.

## 2. EXISTUJÍCÍ LIMITNÍ HODNOTY A DOPORUČENÍ A JEJICH PŮVOD

Jaké jsou současné limitní hodnoty celkové mineralizace (rozpuštěných látek) a hlavních jednotlivých makrokomponent v pitné vodě a balených vodách a jak byly tyto hodnoty stanoveny? Přehled limitních hodnot rozpuštěných látek, sodíku, vápníku, hořčíku, síranů a chloridů podle české legislativy, směrnic EU a doporučení Světové zdravotnické organizace (WHO) je uveden v tabulkách 1 až 3. Pro draslík, křemík a hydrogenuhličitany nejsou žádné limitní hodnoty v citovaných předpisech a dokumentech stanoveny.

**Tabulka 1. Limitní hodnoty pro celkovou mineralizaci (rozpuštěné látky – RL) a sodík.**

	Rozpuštěné látky (mg/l)			Sodík (mg/l)		
	Legislativní předpis (doporučení)			Legislativní předpis (doporučení)		
	ČR <sup>1)</sup>	EU <sup>2)</sup>	WHO <sup>3)</sup>	ČR <sup>1)</sup>	EU <sup>2)</sup>	WHO <sup>3)</sup>
Pitná voda	cca 1000 <sup>4)</sup>	cca 2000 <sup>5)</sup>	(1000)	200	200	(200)
Kojenecká voda	500 <sup>6)</sup>	–	–	20	–	–
Pramenitá voda	1000	cca 2000 <sup>5)</sup>	–	100	200	–
Přírodní minerální voda	– <sup>7)</sup>	–	–	– <sup>8)</sup>	– <sup>8)</sup>	–

Poznámky:

- 1) Pro pitnou vodu – vyhláška MZ č. 252/2004 Sb. v platném znění; pro ostatní balené vody – vyhláška MZ č. 275/2004 Sb. v platném znění.
- 2) Pro pitnou a pramenitou vodu – Směrnice Rady č. 98/83/ES; pro přírodní minerální vodu – Směrnice Rady č. 80/777/EHS ve znění Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 96/70/ES a Směrnice Komise č. 2003/40/ES.
- 3) Guidelines for drinking-water quality. 3. vydání; WHO, Ženeva 2004. Platí pouze pro pitnou vodu. Nejedná se o legislativní předpis, ale o odborné doporučení. Hodnoty jsou v závorce, protože se nejedná o limitní hodnotu v obvyklém slova smyslu, ale o konstatování, že voda v obsahem RL (či daného prvku) nižším, než je uvedená hodnota, je obvykle chuťově přijatelná pro spotřebitele.
- 4) Odvozeno od limitní hodnoty konduktivity (měrné vodivosti) 125 mS/m.
- 5) Odvozeno od limitní hodnoty konduktivity (měrné vodivosti) 2500  $\mu$ S/cm (= 250 mS/m).
- 6) Doporučená hodnota 150 až 400 mg/l.
- 7) Limitní hodnota není stanovena, ale do roku 2006 muselo být na etiketě vedle označení „přírodní minerální voda“ také hodnocení podle celkové mineralizace (obsahu RL):
  - „velmi slabě mineralizovaná“ s obsahem rozpuštěných pevných látek do 50 mg/l,
  - „slabě mineralizovaná“ s obsahem rozpuštěných pevných látek 50 až 500 mg/l,
  - „středně mineralizovaná“ s obsahem rozpuštěných pevných látek 500 mg/l až 1500 mg/l,

- „silně mineralizovaná“ s obsahem rozpuštěných pevných látek 1500 mg/l až 5000 mg/l,
  - „velmi silně mineralizovaná“ s obsahem rozpuštěných pevných látek vyšším než 5000 mg/l.
- 8) Pokud přírodní minerální voda obsahuje méně sodíku než 20 mg/l, může být označena jako „vhodná pro přípravu stravy s nízkým obsahem sodíku“.

**Tabulka 2. Limitní hodnoty pro vápník a hořčík.**

	Vápník (mg/l)			Hořčík (mg/l)		
	Legislativní předpis (doporučení)			Legislativní předpis (doporučení)		
	ČR <sup>1)</sup>	EU <sup>2)</sup>	WHO <sup>3)</sup>	ČR <sup>1)</sup>	EU <sup>2)</sup>	WHO <sup>3)</sup>
Pitná voda	40 – 80 <sup>4)</sup>	–	–	20 – 30 <sup>4)</sup>	–	–
Kojenecká voda	40 – 80 <sup>4)</sup>	–	–	20 – 30 <sup>4)</sup>	–	–
Pramenitá voda	40 – 80 <sup>4)</sup>	–	–	20 – 30 <sup>4)</sup>	–	–
Přírodní minerální voda	–	–	–	–	–	–

Poznámky:

- 1) Viz poznámka k tabulce č. 1.
- 2) Viz poznámka k tabulce č. 1.
- 3) Viz poznámka k tabulce č. 1.
- 4) Doporučená hodnota.

**Tabulka 3. Limitní hodnoty pro chloridy a sírany.**

	Chloridy (mg/l)			Sírany (mg/l)		
	Legislativní předpis (doporučení)			Legislativní předpis (doporučení)		
	ČR <sup>1)</sup>	EU <sup>2)</sup>	WHO <sup>3)</sup>	ČR <sup>1)</sup>	EU <sup>2)</sup>	WHO <sup>3)</sup>
Pitná voda	250	250	(250)	250	250	(250)
Kojenecká voda	100	–	–	250	–	–
Pramenitá voda	100	250	–	250	250	–
Přírodní minerální voda	–	–	–	–	–	–

Poznámky:

- 1) Viz poznámka k tabulce č. 1.
- 2) Viz poznámka k tabulce č. 1.
- 3) Viz poznámka k tabulce č. 1.

Kdybychom se podívali do podpůrných dokumentů, z čeho se vycházelo při výpočtu (stanovení) výše uvedených limitních hodnot, zjistili bychom, že s výjimkou limitu pro rozpuštěné látky a sodík v kojenecké vodě nejsou tyto limity stanoveny z hlediska zdravotního, ale buď senzorického (vyšší obsah může způsobit nepříjemnou chuť vody) nebo technického (vyšší obsah může činit vodu agresivní vůči materiálům potrubí).

Lze však očekávat, že WHO se začne touto problematikou v budoucnu blíže zabývat a to především kvůli tlaku středoasijských republik (Kazachstán, Kyrgyzstán a Uzbekistán). V těchto zemích je velmi vysoká prevalence nefrolitiázy, urolitiázy a cholelitiázy a předpokládá se, že to může být způsobeno místní kvalitou pitné vody, která má vysoký obsah minerálních látek. Tyto země chtějí po WHO nové odborné zhodnocení problematiky a doporučení limitních hodnot pro minerální látky v pitné vodě. Prvním krokem ze strany WHO bylo uspořádání semináře „Zdravotní dopad vysoce mineralizovaných vod“ (Health Impact of

Highly Saline Waters; Kodaň 14.-16.4.2003) a zhotovení literární rešerše Floridskou státní univerzitou (která však, bohužel, zahrnovala většinou jen práce publikované v angličtině, i když naprostá většina existujících výzkumů v této oblasti byla provedena v bývalém SSSR a v Rusku a publikovaná pouze v ruštině) [WHO, 2003].

### **3. PŘEHLED EXISTUJÍCÍCH POZNATKŮ O VLIVU VODY S VYŠŠÍM OBSAHEM MINERÁLNÍCH LÁTEK NA ZDRAVÍ**

#### **3.1. Interakce látek a účinek jejich směsí**

Ve vodě může být selektivně zvýšen obsah jedné či dvou určitých minerálních látek (např. sodík, sírany atd.), které mají svůj specifický účinek, ale ve většině případů bývá zvýšen obsah více minerálních látek najednou a voda má proto i vyšší celkový obsah rozpuštěných látek. V takovém případě pak vedle případného specifického účinku jednotlivých látek musíme brát v úvahu i jejich vzájemné interakce (někdy se jedná o potencující účinek: např. souběžná přítomnost hořčíku a síranů nebo chloridů a sodíku) a především účinek celé směsi těchto látek čili vyšší mineralizace obecně. V následujícím textu jsou tedy postupně probírány jak jednotlivé minerální látky, tak na závěr i jejich celková směs čili celková mineralizace.

#### **3.2. Sodík**

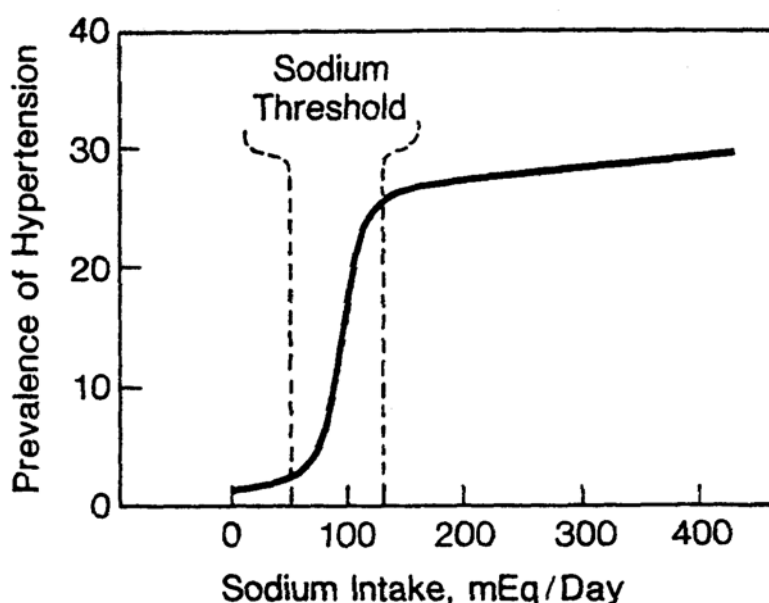
Problematika sodíku (Na) v pitné vodě byla autorem podrobně zpracována již dříve – viz studii „Zdravotní význam sodíku ve vodách“ [Kožíšek, 2002], ve které jsou také uvedeny odkazy na literaturu zde necitovanou.

Existuje mnoho epidemiologických, experimentálních i klinických důkazů o tom, že chronický příjem vyšších dávek sodíku (v praxi tedy především kuchyňské soli) vede ke zvýšenému krevnímu tlaku (hypertenzi), který je rizikovým faktorem pro celou řadu onemocnění. K tomuto závěru došla při hodnocení sodíku i U.S. Environmental Protection Agency [US EPA, 2003a]. Vedle hypertenze jsou popisovány i další nepříznivé účinky vysokého příjmu soli (sodíku):

- Zvýšení objemu mimobuněčné tekutiny, které může vést k hypertrofii levé komory a jiným srdečním komplikacím, cirhóze, otokům atd.

- Zvýšené riziko mozkové mrtvice, přičemž účinek by měl být nezávislý na krevním tlaku.
- Zvýšené riziko rakoviny žaludku.
- Přestože zvýšený příjem sodíku nejdříve zvyšuje průtok krve ledvinami a tím zlepšuje glomerulární filtraci, po určité adaptační fázi zřejmě dochází ke zhoršení jejich funkce přímým účinkem na hemodynamiku v ledvinách.
- Vysoký příjem soli zvyšuje reaktivitu bronchiálního hladkého svalstva a zhoršuje průběh astmatických příznaků.
- Zvýšený příjem soli zvyšuje vylučování vápníku z organismu a snižuje i jeho vstřebávání ze zažívacího traktu. Nedostatek vápníku může vést k demineralizaci kostí a jeho zvýšené vylučování močí zvyšuje riziko vzniku močových kamenů u některých typů pacientů.
- Může být příčinou migrén či Meniérova syndromu.

Zatímco u přírodně žijících národů, které konzumují stravu s nízkým obsahem sodíku, a u pokusných zvířat se v naprosté většině případů podařilo vyvolat nebo zhoršit hypertenzi vysokým příjmem sodíku, studie prováděné u dospělých osob v průmyslově vyspělých zemích ukázaly jen slabou nebo žádnou závislost mezi příjmem sodíku a hypertenzí. Možnou příčinou je vysvětlení, že vztah mezi dávkou (soli) a účinkem na krevní tlak není lineární, ale že existuje určitý práh – viz obrázek 1.



Obrázek 1. Sigmoidální křivka znázorňující možný vztah mezi příjmem sodíku a prevalencí hypertenze (zde v %) u větších populačních skupin (podle Kaplana, 1984).

Jestliže se celkové dávky používané v těchto studiích pohybovaly nad oním prahem, není odezva tak patrná, protože např. ze studií u pacientů s hypertenzí je známo, že je snazší snížit tlak pacientů pomocí sníženého příjmu Na než experimentálně zvýšit tlak zvýšením příjmu sodíku. Což se ostatně úspěšně využívá při aplikaci sodíkové diety.

K nejpřesvědčivějším patří velmi dobře provedené studie u kojenců, kteří dosud nejsou „poznámenáni“ předchozím nefyziologickým vysokým příjmem sodíku z průmyslově vyráběných potravin. Kojenci byli náhodně rozděleni do dvou skupin, z nichž jedna měla normální příjem sodíku a druhá redukovaný. Pokus probíhal po dobu šesti měsíců, během kterých byl zjištěn statisticky významný pokles systolického tlaku u skupiny s nižším příjmem Na. Po 15 letech byly tyto skupiny opět vyšetřeny a i po korekci výsledků na všechny další známé faktory, které mohou krevní tlak ovlivňovat, existoval mezi skupinami stále vysoce signifikantní rozdíl ve výši krevního tlaku [Hofman, 1983]. Podobně jiná studie 58 židovských kojenců rozdělených náhodně do dvou skupin, z nichž jedna dostávala po 8 týdnů kojeneckou výživu ředěnou vodou o nízkém (32 mg/l) a druhá o vysokém (196 mg/l) obsahu sodíku (a poté jim byla opět na 8 týdnů voda vyměněna), ukázala statisticky významné vyšší hodnoty systolického i diastolického tlaku u kojenců, kterým byla výživa připravována z vody o vyšším obsahu sodíku [Pomeranz, 2002]. Ukazuje to na význam kritického příjmu sodíku v raném dětském věku pro pozdější vývoj hypertenze.

Může být pitná voda, která se obvykle podílí na celkovém denním příjmu sodíku méně než 10 %, tak významným zdrojem, aby dokázala ovlivnit výši krevního tlaku, resp. výskyt hypertenze u zásobované populace? Ukazuje se, že může, a patrné je to opět především u studií na dětech. Pět studií z USA, Nizozemí a Izraele na školních dětech prokázalo statisticky významné zvýšení krevního systolického i diastolického tlaku u dětí zásobovaných pitnou vodou o obsahu sodíku nad 100 mg/l v porovnání s dětmi, jejichž voda měla obsah sodíku méně než 50 mg/l [Tuthill, 1979; Calabrese, 1980; Hofman, 1980; Tuthill, 1981; Pomeranz, 2000]. Jedna australská studie [Armstrong, 1982] vliv neprokázala a jiná americká studie [Hallenbeck, 1981] prokázala vliv pouze u diastolického tlaku, protože u nich zřejmě převážily jiné faktory.

Na uvedených studiích s dětmi je zvláště pozoruhodné, že naznačují velkou citlivost krevního tlaku vůči sodíku ve vodě, protože s nárůstem pouhého 1 mmol Na/l (t.j. 23 mg Na/l) vody byl pozorován nárůst tlaku 0,5-1 mm rtuťového sloupce. Naproti tomu experimentálními studiím (u dospělých osob), které netrvají déle než 2-3 měsíce, se nepodařilo takové citlivosti dosáhnout ani s vysokými dávkami soli. Což by opět podporovalo teorii, že

pro vyvolání (trvalého a měřitelného) účinku je podstatnější délka expozice než výše expozice uskutečňovaná po omezenou dobu. Pro to, aby sodík v pitné vodě způsobil vznik hypertenze (trvalého chorobného zvýšení krevního tlaku), je však nutná nejen dlouhodobá expozice (řádově v letech), ale pravděpodobně i určité citlivé období v životě konzumenta (dětský věk). Při splnění těchto předpokladů jsou ale zřejmě „účinné“ i koncentrace sodíku nižší než stanovená limitní hodnota 200 mg/l. Tyto hodnoty nelze asi označit přímo za zdravotně závadné. Představují však – zvláště pro dětskou populaci – rizikový faktor pro vznik hypertenze v pozdějším věku. Pro dospělou populaci je obtížné toto riziko kvantifikovat, pokud vůbec existuje.

Z ukrajinské studie (dvě obce s vodou o různém obsahu chloridů a sodíku; chloridy > 700 mg/l /tomu odpovídá obsah Na asi 450 mg/l/ a < 350 mg/l) vyplynulo, že lidé konzumující po celý život vodu se zvýšeným obsahem chloridu sodného trpí arteriální hypertenzí téměř čtyřikrát častěji než lidé, kteří konzumují vodu s normálním obsahem NaCl, a dále že míra nemocnosti lidí, kteří celý život konzumují slanější vodu, je dvakrát vyšší než nemocnost lidí konzumujících vodu s nižším a obvyklým obsahem chloridu sodného. Studie také naznačuje, že arteriální hypertenze u lidí, kteří po celý život konzumují „slanou“ vodu, se nerozvíjí ihned, ale postupně okolo věku 25 – 29 let. V rozvoji hypertenze vyvolané solí je podle autorů studie možné vyzorovat 3 fáze: 1. fáze rezistence organismu, kdy nadbytečný příjem chloridu sodného nevyvolává ještě zvýšení tlaku; 2. fáze reverzibilní hypertenze, kdy dochází ke zvýšení tlaku, ale tento vývoj může být zastaven a navrácen k normálu, je-li konzumace vody se zvýšeným obsahem chloridu sodného ukončena; a 3. fáze ireverzibilní stabilní hypertenze charakteristická tím, že hypertenze nemizí ani při přerušení příjmu vody s vyšším obsahem chloridu sodného [Fatula, 1977].

Jiná studie od stejné autorky [Fatula, 1967], provedená v oblasti Zakarpatské Ukrajiny s unikátním geologickým podložím (vrstva kamenné soli ve vrstvě 0,5 až 6 m pod povrchem), zkoumala vliv vody s vyšším obsahem chloridu sodného na výskyt arteriální hypertenze. Ve skupině 1448 osob, která pila vodu ze studní s vyšším obsahem NaCl (obsah chloridů 1200 – 3000 mg/l), byla zjištěna hypertenze (TK > 160/95 mm) u 12,4 % osob a hraniční hypertenze (TK 140/90 až 159/94 mm) u 13,8 % osob. V kontrolní skupině 1809 osob, která pila vodu ze studní s nižším obsahem NaCl (obsah chloridů do 600 mg/l), byla zjištěna hypertenze jen u 3,4 % osob a hraniční hypertenze jen u 4 % osob. Kromě věkové skupiny 15 – 29 let byly rozdíly mezi skupinami statisticky významné. Lékařským vyšetřením bylo dále zjištěno, že hypertenze u lidí konzumujících vodu se zvýšeným obsahem NaCl měla těžší průběh

s častými krizemi a špatně se zvládala hypotenzivními preparáty. Tyto nálezy potvrzuje i studie ze Západní Sibíře [Romancova, 1989], kde v oblasti zásobované podzemní pitnou vodou sodno-chloridového typu (obsah rozp. látek 2000 – 3000 mg/l) byl statisticky vyšší výskyt hypertenze a srdečně-cévních chorob oproti oblastem zásobených pitnou vodou o obsahu rozpuštěných látek do 800 mg/l. Byl zde vyšší výskyt i některých jiných chorob a úmrtnost, ale protože se ve vodě vyskytovaly ve zvýšeném (nadlimitním) množství i některé stopové prvky (např. bor či arzén), je otázkou, jaké součásti pitné vody byly skutečnou příčinou.

Studie zkoumající vliv obsahu sodíku ve vodě na riziko vzniku těhotenské toxémie nemají jednoznačné výsledky. Obsah sodíku až do výše 250 mg/l pravděpodobně toto riziko nezvyšuje [Jones, 1979],

Experimentální studie na krysách [Fadejeva, 1971], které dostávaly po dobu 12 měsíců vodu s různým obsahem NaCl, zjistila, že obsah chloridů v pitné vodě 1 g (Cl<sup>-</sup>)/l nezpůsobil ještě experimentální hypertenzi, ale obsah 10 g/l při dlouhodobém podávání a 2,5 g/l s funkční zátěží už ano. Podávání pitné vody s obsahem chloridů 1 – 2,5 g/l vedlo u zvířat ke změnám některých ukazatelů metabolismu vody a elektrolytů. Od hodnoty chloridů v pitné vodě 1 g/l došlo ke zvýšení koncentrace sodíku a chloridů v krvi a od hodnoty 2,5 g (Cl<sup>-</sup>)/l ke snížení obsahu draslíku v krvi. Se vzrůstem koncentrace chloridů v pitné vodě stoupalo vylučování sodíku, chloridů a draslíku v moči. Přesto celkově docházelo k zadržování sodíku a chloridu v organismu a ke zvýšeným ztrátám draslíku.

Skupina autorů z Kyjevského lékařského ústavu se pomocí opakovaných chronických pokusů na zvířatech pokoušela zjistit, jaký je obsah sodíku ve vodě, který by nevyvolával žádné negativní účinky na biochemické a hematologické ukazatele krve, tkáňové změny či činnost srdce a jater a další sledované ukazatele. Za „bezpečné“ koncentrace (nevyvolávající žádné změny) byla považována koncentrace sodíku vyšší než 5 mg/l a nižší než 25-35 mg/l, zatímco koncentrace 50 mg/l již byla prokazatelně účinná [Omeljanec, 1984; Kondratjuk, 1985, 1988a a 1988b]. Tato bezpečná koncentrace se v podstatě kryje se stále respektovaným doporučením American Heart Association z roku 1965 [AHA, 1965], podle kterého je bezpečný obsah sodíku ve vodě (chráníci před ne-nádorovými onemocněními) 20 mg/l; stejnou hodnotu pak doporučuje i US EPA [US EPA, 2003a].

Vliv sodíkových iontů na chuť vody: chuťový práh sodíku ve vodě záleží na přítomnosti jiných aniontů a teplotě vody. Při pokojové teplotě se průměrný chuťový práh pohybuje okolo koncentrace 200 mg/l [WHO, 2006].

### 3.3. Chloridy

Akutní toxicita chloridů u člověka nebyla zjištěna s výjimkou speciálních případů narušení metabolismu chloridu sodného, například při kongestivním srdečním selhání. Zdraví lidé mohou tolerovat příjem širokého rozmezí koncentrace chloridů pod podmínkou, že je doprovázen dostatečným příjmem vody. Málo je známo o vlivu dlouhodobého nadbytečného příjmu z potravy. U experimentálních zvířat byla zjištěna hypertenze v pokusech s vysokým příjmem chloridu sodného, ale zdá se, že je spojena spíše se sodným než chloridovým iontem. Některé studie se zabývaly souvislostí konzumace vody se zvýšeným obsahem chloridových iontů v pitné vodě a kardiovaskulárními onemocněními.

V jedné sovětské studii [Bokina, 1972] byly zjištěny sklony k hypertenzním stavům, zvýšení reaktivnosti cév a některé zvláštnosti v metabolismu vody a solí u lidí dlouhodobě konzumujících vysoce mineralizovanou pitnou vodu s obsahem chloridů 1,4 g/l. U obyvatelstva, které používalo k pití vodu s obsahem chloridů na úrovni 0,3 – 0,4 g/l se neprojevovaly odchylky ve stavu kardiovaskulárního systému ani elektrolytické rovnováhy. Jednalo se však o vody, ve kterých byl chloridový iont doprovázen kationem sodíku, kterému je obecně přisuzován hypertenzní efekt.

Existují i studie zabývající se vlivem vysokého obsahu minerálních látek včetně chloridů v pitné vodě a mírou onemocnění obyvatelstva žlučovými kameny a zánětem žlučníku. Pozitivní korelace zde byla nalezena, ale ze studie nevyplývá konkrétní závislost na zvýšeném obsahu chloridů. Zvýšená míra nemocnosti spíše souvisí s celkovou tvrdostí vody nebo celkovou mineralizací [Popov, 1968].

Experimentální studie se psy, kterým byla po dobu 1,5 roku podávána pitná voda o různé koncentraci chloridových a síranových iontů, ukázala, že od koncentrace 1,5 g (Cl<sup>-</sup>)/l klesá celkové množství vyloučené moči (při podávání vody o koncentraci 2,5 g/l se za 4 hodiny vylučovalo o 20–40 % moči méně a při koncentracích 4 a 8 g/l téměř dvakrát méně než při podání vodovodní vody o běžné mineralizaci). Hladiny chloridů v krvi a clearance byly již první den po skončení podávání chloridových vod (v koncentraci 2,5 a 4 g/l) v mezích normy. Svědčí to o tom, že rovnováha iontového složení se v krvi navozuje relativně rychle, ale tkáň organismu se během 1, 2 nebo 3 dní po zakončení chloridové zátěže dosud ne zcela zbavily nadbytku chloridů a měly ještě zvýšenou hydrofilnost, čímž se evidentně vysvětluje také nižší vylučování moči v této době. Podle autorů to znamená, že jednorázové podání nadbytečného množství chloridů s vodou vede k funkčním změnám výměny vody a minerálů v organismu, které trvají několik hodin. Déle trvající podávání chloridů vede k prodloužení



těchto procesů na dobu 1 – 2 dní. Autoři dále zjistili, že vylučování chloridových a síranových iontů v rámci sledovaných koncentrací na sobě navzájem podstatně nesouvisí. Voda s obsahem síranů do 4 g/l neměla žádný vliv na změnu diurézy [Bokina, 1960].

Jiná experimentální studie [Kandror, 1963] se psy zjistila, že konzumace vody o koncentraci chloridů 2,5 g/l a více způsobuje na relativně dlouhou dobu významné narušení vodní a iontové rovnováhy organismu. I přes zvýšené vylučování chloridů močí – za 4 hodiny po podání solného roztoku do žaludku psa (35 ml na kg hmotnosti) – se diuréza významně snižuje a zvyšuje se koncentrace chloridů v krvi. Při koncentraci chloridů 1 g/l a více se množství žaludeční šťávy, její kyselost a trávicí schopnost výrazně snižují v porovnání s účinkem vody o obsahu chloridů do 500 mg/l. Při tom se urychluje evakuace vody ze žaludku a tato reakce nastává i tehdy, když je voda požitá současně s potravou – což má nepříznivý vliv na trávení. Změny počátečního typu v sekreční činnosti žaludku se v jednotlivých pokusech objevovaly u pokusných zvířat ještě při koncentraci chloridů ve vodě 500 mg/l. Při této koncentraci byly pozorovány i změny v diuréze a clearance a tendence k zadržování NaCl v organismu, i když hladina chloridů v krvi se nezměnila až do koncentrace chloridů (ve vodě) 1 g/l.

Zajímavé byly nálezy u dětí v oblasti Baku, které dlouhodobě konzumovaly vodu s obsahem chloridů do 740 mg/l. Byly u nich zjištěny některé odchylky od normální vodní a iontové rovnováhy, např. u zkoušky s hydrofilností tkání a funkční zátěžové zkoušky, což vypovídá o tom, že voda obsahující NaCl v množství 500-700 mg/l není neúčinnou, ale způsobuje různé změny v organismu. I když tyto změny nejsou ještě patologické, svědčí o zátěži regulačních či adaptačních (kompenzačních) mechanismů [Kandror, 1963].

Vliv chloridových iontů na chuť vody: Vysoká koncentrace chloridových iontů dává vodě a nápojům slanou chuť. Chuťový práh chloridového anionu závisí na druhu a množství dalších přítomných kationů a pohybuje se mezi 200 a 300 mg/l pro chlorid sodný, chlorid draselný a chlorid vápenatý. Koncentrace nad 250 mg/l jsou již chutí velmi pravděpodobně detekovány [WHO, 2006].

### **3.4. Síraný**

Síraný jsou jedním z nejméně toxických anionů. U člověka jsou známé účinky vysokých dávek síranů při perorálním podání v podobě průjmů a eventuálně související dehydratace a podráždění zažívacího traktu. Studie prokazují, že se lidé na vyšší dávky síranů z vody a jejich projímavý účinek mohou adaptovat. Odhaduje se, že u dospělých dochází

k adaptaci během 1 až 2 týdnů, nicméně děti mohou být citlivější. Obecně se však za rizikové z hlediska možnosti průjmových potíží považují koncentrace nad 1000 mg/l, ale projímavé účinky byly pozorovány již při koncentracích nad 500 mg/l. Děti však díky odlišné struktuře a funkci trávicí soustavy jsou k této reakci náchylnější než dospělí. Zejména při přechodu dětí z mateřského mléka se doporučuje používat vodu s nízkým obsahem síranů, rozhodně ne výše než 400 mg/l [US EPA, 2003b; WHO, 2006].

V průzkumu obyvatel města Bachlaše (SSSR), kde měla pitná voda 600 mg síranů /l (a rozp. látek 1,4 – 1,7 g/l), uváděly 2/3 dotázaných průjmy, které však dávaly do souvislosti s nekvalitní pitnou vodou. Narušení střevní peristaltiky (průjmy) se však nejčastěji objevovalo u osob, které nově či nedávno přijely do města, zatímco později u nich tyto jevy vymizely [Kandror, 1963].

Účinek síranů je závislý nejen na jejich koncentraci, ale i koncentraci ostatních iontů. Například voda, která má navíc i vyšší koncentrace hořčíku, vykazuje silnější laxativní účinky, protože oba ionty jsou osmoticky aktivní. Významný je i způsob příjmu vody. Chronické a subchronické expozice vysokým dávkám síranů se výrazně liší v efektu od akutních. Přepokládá se větší citlivost při náhlém zvýšení koncentrace.

U zvířat byl pozorován při příjmu vody s velmi vysokými koncentracemi síranů pokles tělesné hmotnosti, pokles příjmu potravy a zvýšení spotřeby vody, hromadění kyseliny močové v ledvinách i střevech, nekrózy ledvinových glomerulů. V dlouhodobých studiích na zvířatech byl zjištěn vliv na zvyšování obsahu methemoglobinu a sulfhemoglobinu při konzumaci vody s koncentrací 2,5 g/l a došlo k zvýšení ledvinové filtrace o 37,7 % a poklesu reabsorpce o 23,7 %. Studie zabývající se vlivem síranů na vývoj, reprodukci nebo vznik nádorů neprokázaly jejich negativní vliv [US EPA, 2003b; WHO, 2006].

Koncentrace síranů ve vodě 2,5 g/l vyvolávala u pokusných zvířat (psů) potlačení sekreční činnosti žaludečních žláz a to jak při pití samotné vody, tak i při příjmu této vody s potravou. Snižovalo se množství žaludeční šťávy, její trávicí schopnosti a kyselosti, což obecně znamená zhoršení trávicí funkce. U psů byly při podávání této vody pozorovány pravidelné průjmy, které trvaly 1-2 týdny, a ve stolici byly pozorovány nestrávená škrobová zrna, kapky tuku a svalová vlákna. Voda neměla schopnost plně hradit vodní deficit, protože zvířata ji pila méně. Koncentrace síranů 1 g/l se projevila podobnými účinky jako koncentrace 2,5 g/l, ale mnohem mírnějšími a jen u některých z pokusných zvířat. Fyziologická reakce ale byla podobná u obou koncentrací. U koncentrací síranů 250 a 500 mg/l nebyly pozorovány žádné negativní účinky v porovnání s kontrolou [Kandror, 1963].

Epidemiologická kohortová studie v bývalém SSSR porovnávala vliv neupravené vápenato-síranové vody (rozp. látky 1660-1837 mg/l, sírany 790-1200 mg/l, vápník 340-496 mg/l, alkalita 2,7-3,1 mg-ekv/l) a stejné vody odsolené pomocí elektrodialýzy (rozp. látky 545-898 mg/l, sírany 414-418 mg/l, vápník 100-194 mg/l, alkalita 2,3-2,4 mg-ekv/l) u obyvatelstva dvou sousedních obcí. Autor nezjistil významný rozdíl v krevním tlaku, obsahu elektrolytů v krvi a hydrofilnosti tkání, ale zjistil statisticky významný rozdíl ve funkčním stavu gastrointestinálního traktu – u osob konzumujících více mineralizovanou vodu bylo zjištěno narušení acidotvorné funkce žaludku, projevující se snížením acidity žaludečních šťáv. U obyvatel konzumujících více mineralizovanou vodu byl rovněž pozorován posun acidity krve ve směru acidózy a podle dotazníku většina těchto osob udávala ve své anamnéze artritidu, ledvinové kameny, cholecystitidu a hypoacidní gastritidu [Parchomčuk, 1977].

Vliv síranových iontů na chuť vody: Pokusy v bývalém SSSR ukázaly, že zatímco u koncentrace 250 mg/l téměř polovina dotázaných (44%) nerozeznává ve vodě jakoukoli příchut', u koncentrace 500 mg/l již 75% osob registruje nepříjemnou příchut' a při koncentraci 1000 mg/l tuto vodu vnímá již 88% osob nepříjemně [Kandror, 1963]. Také podle WHO má přítomnost síranů ve vodě vliv na její chuť, ale práh chuťové změny a přijatelnosti závisí na přítomnosti souvisejících kationů – chuťový práh kolísá od 250 mg/l pro síran sodný do 1000 mg/l pro síran vápenatý. Obecně se však má za to, že do hodnoty síranů 250 mg/l je negativní ovlivnění chuti vody minimální a zanedbatelné [WHO, 2006]. Na druhou stranu určitý minimální obsah síranových iontů (spolu s vápníkem a dalšími minerály) pomáhá vytvářet příjemnou chuť vody (resp. voda nemá žádnou specifickou chuť, ale na rozdíl od vody demineralizované je vnímání její chuti příjemné).

### **3.5. Chlorido-síranové vody**

Kolektiv autorů [Kandror, 1963] řešil otázku, zda bezpečný limit jednoho prvku je ovlivněn koncentrací prvku druhého. K tomu použili sérii zvláštních pokusů, při kterých byla celková koncentrace solí udržována na hodnotě 1000 mg/l, ale v roztoku se měnil poměr síranů a chloridů. Při stejných hmotnostních koncentracích (síranů a chloridů) vykazují chloridy nepříznivější účinek na sekreci a motilitu žaludku. Co se týče vlivu na sekreční činnost žaludku, roztoky obsahující chloridy a sírany po 500 mg/l vykazují tlumící vliv, ale méně výrazný ve srovnání s koncentrací chloridů ve vodě 1000 mg/l. Roztoky obsahující chloridy a sírany po 500 mg/l nevykazují podstatný účinek na ledviny či střevní sliznici.

Zkoumání vlivu pitných vod s obvyklým složením minerálů (chloridy 300 mg/l, sírany 300 mg/l, sodík 300 mg/l) na lidský organismus ukázalo, že nemají podstatný vliv na žaludeční sekreci. Podobný účinek měla i voda o složení: chloridy 300 mg/l, sírany 500 mg/l, sodík 434 mg/l. Pokud ale došlo ke zvýšení obsahů těchto iontů (chloridy 500 mg/l, sírany 300 mg/l, sodík 468 mg/l), vykazovala již tato voda slabý brzdící vliv na žaludeční sekreci. Již významně větší potlačující vliv na žaludeční sekreci má voda obsahující chloridy 1000 mg/l, sírany 1000 mg/l, sodík 1100 mg/l, která nejen snižuje množství vylučované šťávy, ale zároveň snižuje kyselost, obsah volné HCl a fermentující schopnost šťávy. U obyvatelstva nedocházelo k adaptaci na tuto vodu [Kandror, 1963]. Autoři konstatují, že vody sírano-chloridového typu vyvolávají změny fyziologických reakcí od koncentrace rozp. látek 1,5 g/l, chloridů a síranů více než 500 mg/l, sodíku více než 200 mg/l, vápníku a hořčíku více než 100-200 mg/l (každého z nich). Když tito autoři porovnávali údaje o vlivu vod na zažívací systém s údaji o jejich chuťovém vnímání a tišení žízně, našli určité zákonitosti: přesně ty koncentrace síranů a chloridů, které měnily sekreční funkci a motilitu GIT (u pokusných zvířat), byly i hraniční, když pokusné osoby hodnotili chuť vody a její schopnosti tišit žízeň.

### **3.6. Vápník a hořčík (tvrdost)**

Výsledky řady epidemiologických studií dokládají, že vápník a hořčík ve vodě působí protektivně proti vzniku některých nemocí [Kožíšek, 2003]. Zatím nebylo prokázáno, že by tvrdost vody v obvyklých hodnotách měla negativní dopad na lidské zdraví. Snad jen velmi vysoký obsah hořčíku (řádově ve stovkách mg/l, tedy > 100 mg/l), obvykle při současném vysokém obsahu síranů, může být příčinou průjmových onemocnění. To je však spíše vzácný případ, jinak nepříznivé zdravotní účinky vysoké tvrdosti (např. vliv na vylučovací systém) byly pozorovány u vod více mineralizovaných, které však svým obsahem rozpuštěných látek (nad 1 g/l) někdy náležely již do kategorie vod minerálních (podle tradičního dělení), nikoli pitných.

Některé sovětské studie zabývající se vztahem mezi tvrdostí vody a výskytem různých onemocnění zjistily, že v krajích s pitnou vodou tvrdší než 5 mmol/l byl pozorován vyšší výskyt žlučových kamenů (cholelitiázy), urolitiázy, artrózy a artropatií oproti krajům s měkčí vodou [Muzalevskaja, 1993]. Podle jiné ekologické epidemiologické studie mohla být tvrdá voda (tvrdost větší než 4-5 mmol/l) příčinou vyššího výskytu některých druhů chorob, včetně nádorových [Golubjev, 1994]. Výsledky studií zkoumající vztah mezi tvrdostí vody a výskytem nádorů nejsou však jednotné, většina jich spíše podporuje stanovisko o

protektivním (ochranném) účinku tvrdší vody. Zdá se, že rizikové mohou být jak příliš nízké, tak i vysoké hodnoty tvrdosti.

Ve výše uvedených studiích však nebyl hodnocen možný vliv jiných minerálních součástí pitné vody (s rostoucí tvrdostí vody obvykle roste i celkový obsah rozpuštěných látek) a tak není zcela zřejmé, zda jde o účinek tvrdosti, některých jiných součástí vody (např. chloridů, sodíku apod.) nebo celkového obsahu všech rozpuštěných látek. Tento problém lze ilustrovat na studii ze dvou sousedních krajů Pavlodarské oblasti, které se vyznačovaly rozdílným složením podzemních vod i rozdílnou nemocností na cholecystitidu a cholelithiázu. V Krasnokutském kraji (nemocnost 51,3/10000 obyv.) byla průměrná tvrdost vody 9,41 mg-ekv/l (4,7 mmol/l), zatímco v Bajan-Aulském kraji (nemocnost 10,22/10000 obyv.) byla průměrná tvrdost vody 5,88 mg-ekv/l (2,9 mmol/l). Ovšem koncentrace rozpuštěných látek (1513 mg/l oproti 671 mg/l), síranů a chloridů v první oblasti byly více než dvojnásobné oproti oblasti druhé [Popov, 1968].

Výsledky pokusů na zvířatech ukázaly, že vody o vysoké tvrdosti (8 mmol/l) podporují rozvoj arteriosklerózy u králíků. Mechanismus, jak k tomu dochází, nebyl zjištěn, ale autoři předpokládají, že velmi tvrdé vody překážejí normálnímu průběhu metabolismu lipoproteinů. Vedle toho možná dochází k narušení důležitých stránek výměny elektrolytů [Gogoli, 1971].

Vliv tvrdosti vody na její chuť: Jak již bylo zmíněno, určitý minimální obsah vápníku a hořčíku (spolu s dalšími minerály) pomáhá vytvářet příjemnou chuť vody. Chuťový práh, od kdy je již vnímána specifická chuť, která nemusí být u pitné vody vnímána příjemně, se u iontů vápníku pohybuje v rozmezí 100 až 300 mg/l (opět v závislosti na přítomných anionech), chuťový práh hořčíku je nižší. Na rozdíl od iontů chloridů, sodíku či síranů, kde koncentrace nad chuťovým prahem jsou už většinou vnímány negativně, u vyšších koncentrací iontů vápníku a hořčíku je sice určitá chuť vnímána, ale spotřebitelé mohou považovat za přijatelné někdy až hodnoty (tvrdosti) okolo 500 mg/l [WHO, 2006].

### **3.6.1. Tvrdost vody a urolitiáza**

V reálných podmínkách má urolitiáza multifaktoriální etiologii (nedostatečný příjem vody a tekutin obecně, genetická predispozice, dietární zvyklosti, nízké pH moči a různé jiné biochemické charakteristiky moči, klimatické a sociální podmínky, pohlaví apod.), což sice neznamená, že by šlo jednotlivé faktory podceňovat, ale ztěžuje to přesné stanovení významu jednotlivých faktorů. Bohužel v praxi se vysokomineralizované a tvrdé vody vyskytují často

v oblastech s horkým klimatem, kde se zároveň ve zvýšené míře vyskytují i jiné rizikové faktory, které mohou vést k narušení vodního a minerálového metabolismu. Je zde též vyšší spotřeba vody (i 5-6 litrů/denně) a tedy i vyšší příjem minerálních látek vodou než v oblastech mírného klimatu.

Pokud se jedná o kvalitu vody, byly publikovány studie svědčící o tom, že vyšší tvrdost vody znamená i vyšší výskyt močových kamenů v populaci touto vodou zásobované; na druhou stranu bylo publikováno více studií s výsledky opačnými, kde měkčí voda představovala vyšší riziko urolitiázy. Většina epidemiologických studií z poslední doby se však kloní k názoru, že tyto kontroverze lze vysvětlit různým způsobem provedení (designem) studií a že různá tvrdost v rozsahu obvyklém pro pitné vody není významným faktorem vzniku urolitiázy [Kohri, 1989; Kohri, 1993; Singh, 1993; Ripa, 1995]. Žádný vztah mezi celkovou tvrdostí vody, resp. obsahem vápníku nebo hořčíku v pitné vodě a výskytem močových kamenů nenašla ani novější velká epidemiologická studie z USA s 3270 pacienty [Schwartz, 2002]; totéž potvrzuje i poslední publikované review [Abdel-Halim, 2005].

Že vyšší tvrdost vody nepředstavuje riziko pro vznik močových kamenů (neplatí pro extrémní hodnoty mimo oblast pitné vody – viz dále), dokazuje množství experimentálních studií, které shodně potvrzují, že příjem vody s vyšším obsahem vápníku (popř. i hořčíku) naopak snižuje riziko vzniku močových kamenů ze šťavelanu vápenatého [Rodgers, 1997; Rodgers, 1998; Caudarella, 1998; Marangella, 1996; Gutenbrunner, 1989; Ackermann, 1988; Sommariva, 1987]. S příjmem těchto vod se sice zvyšuje vylučování vápníku močí, zároveň se však snižuje vylučování oxalátu močí, pravděpodobně v důsledku vazby oxalátu s vápníkem ve střevě, což zabraňuje vstřebávání oxalátů a podporuje jejich zvýšené vylučování stolicí.

Odlišná, resp. specifická může být situace u nemocných po odstranění močových kamenů. Ojedinelé pokusy naznačují, že příjem měkčí pitné vody u nich vedl k menšímu počtu remisí tohoto onemocnění [Bellizzi, 1999; Coen, 2001; Di Silverio, 2000], zároveň však připouštějí, že výsledky nemají absolutní platnost a záleží na řadě faktorů, např. je-li voda přijímána mezi jídly, jako v této studii, nebo při jídle, kdy naopak příjem tvrdší vody může vést k menšímu počtu remisí [Bellizzi, 1999].

Vysoká tvrdost, převyšující doporučený obsah tvrdosti v pitné vodě (5 mmol/l), může znamenat zvýšené riziko vzniku močových kamenů a kamenů slinných žláz, jak dokládá epidemiologická studie z Ruska [Mudryj, 1999]. Autor uvádí, že při trvalém příjmu vod s tvrdostí více než 5 mmol/l dochází ke zvýšenému místnímu prokrvení ledvin a mění se

proces filtrace a resorpce v ledvinách. Jedná se prý o obrannou reakci organismu, která ale při delším trvání vede k narušení regulačního systému organismu, kdy se později může rozvinout nejen urolitiáza, ale i hypertenze. Riziko pro vznik urolitiázy znamenalo i pití vody o tvrdosti 10,5 mmol/l (Ca 370 mg/l), jak dokládá již citovaná italská experimentální studie [Coen, 2001].

Byly popsány případy vzniku urolitiázy a jiných komplikací u kojenců, v tomto věku jinak zcela výjimečné, kteří dostávali stravu výlučně z minerální vody s vysokým obsahem vápníku (obsah Ca 555 mg/l, Mg 110 mg/l, tvrdost 18,4 mmol/l), takže jejich denní příjem vápníku byl několikanásobně vyšší než doporučený denní příjem [Saulnier, 2000].

Kohortová studie ve dvou okresech Altajského kraje (pokusná oblast s tvrdostí vody 15,3 – 24,5 mg-ekv/l (7,6 – 12,2 mmol/l) a kontrolní oblast s tvrdostí vody 2,8 mg-ekv/l (1,4 mmol/l)) zjistila, že v pokusné oblasti se u 48 % vyšetřených osob (mikroskopické vyšetření sedimentů v moči) vyskytovaly patologické sedimenty ve formě urátů, oxalátů vápníku, trifosfátu vápníku, amorfních fosfátů a kyseliny močové, zatímco u vyšetřených osob v kontrolní oblasti jen v 18%. Nálezy patologických sedimentů v moči jsou jedním z diagnostických příznaků urolitiázy. Funkční zkouška s purinovou zátěží u osob pokusné oblasti zase odhalila snížené vylučování kyseliny močové, což spolu s některými dalšími biochemickými ukazateli kvality moči (např. povrchové napětí nebo pH) svědčí podle autorů rovněž o rizikových faktorech pro vznik urolitiázy. Ovšem celková mineralizace v pokusné oblasti (1900 – 4020 mg/l) byla mnohem vyšší než v oblasti kontrolní [Bokina, 1966].

Pokusná zvířata (potkani), která dostávala vodu o vysokém obsahu Ca a Mg (hl. ve spojitosti s ionty hydrogenuhličitanovými a síranovými), měla více močových kamenů ve srovnání s kontrolou. V tomto pokuse byla tvorba močových kamenů urychlována umělým implantováním jádra krystalizace. Podle autorů vysoká tvrdost vody pravděpodobně narušuje koloidně – krystalickou rovnováhu moči, což umožňuje vznik močových kamenů. Na základě těchto pokusů považují za bezpečný limit tvrdosti vody 6-7 mg-ekv/l (3-3,5 mmol/l) [Kandror, 1963]. Při tvrdosti vody 5 a 10 mg-ekv/l (2,5 – 5 mmol/l) byly výsledky hraniční bez statistické významnosti, při tvrdosti 20 mg-ekv/l (10 mmol/l) byly rozdíly mezi skupinami statisticky významné.

Podobně pokusy na myších, které dostávaly vodu o různé tvrdosti (připravenou uměle přidáním síranu vápenatého, uhličitanu vápenatého nebo hořečnaté soli), zjistily vyšší frekvenci urolitiázy a zvýšení hmotnosti kamenů při podávání vody o tvrdosti 10-20 mg-ekv/l (5-10 mmol/l). Výskyt urolitiázy byl vyšší, pokud se použily hořečnaté soli místo vápenatých

a pokud byla zvířata chována za vyšší teploty. Pokusy s radioaktivně značeným  $\text{Ca}^{45}$  ukázaly, že vodní vápník se přímo zabudovává do močových kamenů [Bokina, 1965].

### 3.7. Hydrogenuhličitaný

Vody s vyšším obsahem hydrogenuhličitanů mají při dlouhodobé konzumaci nepříznivý vliv na žaludeční sekreci (tlumí ji) [Budějev, 1970] a sliznici žaludku a střeva (chronická gastritis, duodenitis a colitis s atrofickým procesem v systému sekrečních buněk) [Mišina, 1985], na spermatogenezi [Balašov, 1982] a dále na některé metabolické funkce (vznik příznaků metabolické alkalózy) [Majborodina, 1985], jak ukázaly studie na zvířatech i jedna epidemiologická studie typu případ-kontrola z Ruska. Kritické hodnoty hydrogenuhličitanů se v těchto studiích pohybovaly okolo 500 mg/l a výše.

Uhličitanové vody zvyšují vylučování kyseliny močové a pokud obsahuje voda zároveň vyšší obsah vápníku, může to být rizikový faktor pro tvorbu močových kamenů [Basmadžieva-Tančeva, 1965]. Petrov a Grebenkin [Petrov, 1964] zkoumali u zvířat i na lidských dobrovolnících vliv hydrogenuhličitanovo-vápenatých vod o různé mineralizaci na metabolismus purinů. Výsledky výzkumu nasvědčují tomu, že na počátku konzumace nadměrného množství hydrogenuhličitanu vápenatého se zvyšuje vylučování kyseliny močové, při dlouhodobé konzumaci se však kompenzační mechanismy organismu vyčerpávají, vylučování kyseliny močové se snižuje, ukládá se v tkáních a napomáhá rozvoji chorob jako dna, artritidy, močové kameny, kalcinózy ad.

### 3.8. Celková mineralizace (rozpuštěné látky)

Jak již bylo zmíněno, vyšší obsah jedné minerální látky se v přírodních vodách obvykle pojí s vyšším obsahem i některých dalších látek. V praxi u epidemiologických studií proto nelze v takových případech vždy rozlišit, zda pozorovaný nepříznivý zdravotní efekt byl způsoben určitou jednou látkou, kombinací několika látek nebo sumou všech minerálních látek, kde se vedle specifického chemického účinku snad mohou projevit i změněné fyzikální vlastnosti vody (hustota, viskozita, vodivost, osmolalita apod.).

Proto se některé studie na lidech i zvířatech zaměřily na vliv různých hodnot celkového obsahu minerálních látek. Dále uvedené práce nepředstavují vyčerpávající přehled publikovaných studií tohoto zaměření, ale jsou zde citovány pro ilustraci různých zjištěných účinků.



Epidemiologická kohortová studie [Štannikov, 1984] na třech skupinách žen (věk 20-50 let) z měst zásobovaných vodou o různém obsahu minerálních látek sledovala po dobu tří let vliv minerální vody na reprodukční funkce. První skupina (276 žen) byla zásobena vodou o celkové mineralizaci 2920-3050 mg/l; druhá skupina (117 žen) o celkové mineralizaci  $680 \pm 89,5$  mg/l; třetí skupina (100 žen) o celkové mineralizaci 810 mg/l. U žen první skupiny (s nevyšší mineralizací) byly zjištěny statisticky významné rozdíly v nežádoucích změnách oproti dalším dvěma skupinám: narušení délky menstruačního cyklu a délky menstruace, hypermenstruální syndrom, nižší počet těhotenství, toxikóza, nižší porodní váha, asfyxie u novorozence, vyšší nemocnost na gynekologické choroby. S délkou konzumace vody docházelo k zhoršování sledovaných ukazatelů.

Tato zjištění dále potvrzuje s použitím stejných vod i jiná rozsáhlá experimentální studie [Štannikov, 1985] na pokusných zvířatech (krysách): Voda o zvýšené mineralizaci (rozpuštěné látky okolo 3000 mg/l oproti vodám o obsahu rozp. látek 680-810 mg/l) měla vliv na reprodukční funkci zvířat a měla za následek embryotoxické a teratogenní účinky. Embryotoxický vliv se projevoval narušením stavu vaječnicků (prodloužení estrálního cyklu, oddálení fáze periody), nepříznivými účinky na ukazatele předimplantační a celkové embryonální úmrtnosti. Teratogenní efekt vody o zvýšené mineralizaci se odrážel v anomáliích rozvoje embryí (zvětšení čichových cibulek, otoky a krvácení v mezičelistním prostoru, podkožním vazivu, venózní městnání v srdečních dutinách, výrazné zvětšení jater plodu) a v patologických změnách v placentě.

Epidemiologická kohortová studie [Lagutina, 1990], v jejímž rámci bylo podrobně vyšetřeno 357 dětí včetně jejich porodní anamnézy, ukázala, že děti konzumující vodu o zvýšeném obsahu rozpuštěných látek (1200 – 1519 mg/l) a zvýšené tvrdosti (6-7 mmol/l) byly častěji nemocné (především choroby močového systému), měly častěji poruchy fyzického vývoje a jejich matky zažívaly v těhotenství dvakrát častěji komplikace v porovnání s dětmi konzumujícími vodu o polovičním obsahu rozpuštěných látek a tvrdosti (sumy Ca + Mg).

V jiné studii [Štannikov, 1986], která zkoumala vliv více mineralizované vody na močové cesty, byly vybrány a vyšetřeny dvě věkově srovnatelné skupiny dětí ve věku 1 – 14 let. První skupina (107 dětí) z oblasti zásobované vodou o vysoké mineralizaci (3000 mg/l), druhá skupina (27 dětí) z oblasti s pitnou vodou o celkové mineralizaci 700 mg/l. Skupiny byly srovnatelné co do klimatu prostředí, výživy, dostupnosti lékařské péče, sociálním podmínkám a věku. Při vyšetření byla zjišťována též anamnéza rodičů (především na alergie, nemoci ledvin a GIT, poruchy metabolismu). Bylo provedeno podrobné biochemické

vyšetření moči u všech dětí. U první skupiny byly významně zvýšené hodnoty některých ukazatelů, např. oxalaturie, fosfaturie, leukocytourie a erythrocytourie. Změny byly výraznější u starších dětí (7-14 let).

Autoři další studie zkoumající vliv pitné vody o vysoké mineralizaci na zdravotní stav dětí [Rylova, 2005] vybrali dvě městské části města Kazaň, které se odlišují kvalitou pitné vody dodávané veřejným vodovodem. V I. obvodu se jako zdroj pitné vody používá podzemní voda charakteristická vysokou mineralizací ( $1786 \pm 91,6$  mg/l) a vysokým obsahem síranů ( $762,4 \pm 28,6$  mg/l). Obyvatelstvo II. obvodu konzumuje smíšenou vodu z podzemních a povrchových zdrojů o celkové mineralizaci  $596,4 \pm 14,8$  mg/l, s nízkým obsahem síranů ( $68,4 \pm 6,8$  mg/l). Bylo vyšetřeno celkem 833 dětí ve věku 7 – 9 let. U dětí z rizikového (I.) obvodu byly zjištěny změny orgánů trávicího traktu u 60,6 % dětí, zatímco v kontrolním obvodě to bylo pouze u 19,3 % dětí. Také výskyt dismetabolických nefropatií (poruch ledvin) byl u dětí v I. obvodě vyšší – 14,8 % (ve II. obvodě činil 8,3 %).

Studie [Loseva, 1985] zkoumající výskyt deficitu železa u mužů a žen a jeho závislost na obsahu minerálů a tvrdosti pitné vody byla provedena ve čtyřech oblastech Západní Sibíře. Oblasti se nelišily úrovní průmyslového a zemědělského rozvoje, ekologickou situací, lékařské péče a zásobování obyvatelstva; lišily se však úrovní mineralizace pitné vody. V každé oblasti bylo zkoumáno 400 – 550 osob vybraných náhodným výběrem. Zatímco u prvních tří oblastí (celková mineralizace 600-700 mg/l, 300-400 mg/l a 280-380 mg/l) se stavy deficitu železa a anémie vyskytovaly téměř se stejnou četností, u čtvrté skupiny (mineralizace 1000-1700 mg/l) byl výskyt sledovaných poruch vyšší a statisticky významný.

Při pokusu na krysách, který trval 6 měsíců a při kterém byly skupinám krys podávány vody o různém složení (celková mineralizace cca 50 – 100 – 350 – 380 – 1000 – 2000 mg/l), byly sledovány: sorpce barviva v mozku a slezině, výměna plynů, vybrané ukazatele metabolismu jater a štítné žlázy, obsah vitamínu C a výkonnost (plavání). Byly zjištěny určité rozdíly mezi jednotlivými skupinami krys, ale nebyly statisticky významné. Nicméně autoři na základě výsledků vyslovují názor, že vhodný obsah minerálních látek ve vodě je asi 200 až 400 mg/l [Gabovič, 1976].

I když výše popisované specifické účinky vod o vyšší mineralizaci nutno hodnotit jako nepříznivé, dále uváděné účinky musí být nahlíženy jako neméně rizikové, protože by se mohly skrytě podílet na širokém spektru tzv. civilizačních onemocnění.

Cílem pokusu na krysách (4 skupiny po 120 samcích), při kterém byla po 900 dní podávána každé skupině voda o jiné mineralizaci (40 – 350 – 1000 – 2000 mg/l), bylo

zkoumání vlivu vody o různém obsahu minerálů na procesy stárnutí a některé jiné ukazatele fyziologického stavu organismu [Gabovič, 1975a a 1975b]. Během experimentu nebyly zjištěny podstatné rozdíly mezi skupinami týkající se některých důležitých integrálních ukazatelů stavu organismu zvířat (chování, dynamika tělesné hmotnosti, periferní krev, glykémie aj.). Po zakončení 900denního experimentu bylo v každé skupině ještě 40 krys a během 200 dní autoři registrovali přirozený úhyn zvířat. Křivky přežití byly ve všech skupinách podobné, statisticky významné rozdíly mezi nimi nebyly zaznamenány, ale všechna zvířata 4. skupiny (mineralizace 2000 mg/l) uhynula dříve než ostatní. K dalším zjištěným rozdílům (ve 4. skupině oproti ostatním skupinám) patří: vyšší sorpce barviva tkáněmi ledvin a mozku, zpomalené reflexní reakce ve srovnání s krysami 2. a 3. skupiny; snížení obsahu glykogenu v játrech ke konci experimentu, snížená výměna plynů (která je integrálním ukazatelem snížení energetického potenciálu stárnoucího organismu), vyšší obsah adrenalinu, noradrenalinu a kortikosteronu v nadledvinkách, větší fagocytární aktivita leukocytů, změny v metabolismu a orgánové distribuci mědi, molybdenu a manganu apod. Rovněž výsledky provedených zátěžových testů ukazují některé odlišnosti zejména ve 4. skupině (např. vyšší glykémie při zátěži galaktózou, delší latentní perioda i délka spánku). Experiment celkově ukázal, že při konzumaci vody s celkovým obsahem minerálů 2000 mg/l je možné pozorovat určité urychlení procesů stárnutí. Příčinou je dlouhodobé zatěžování kompenzačních mechanismů těchto zvířat. Rovněž u první skupiny (mineralizace 40 mg/l) byla zjištěna řada negativních odlišností od ukazatelů druhé (kontrolní) skupiny (mineralizace 350 mg/l). Autoři se domnívají, že zde byly naopak příčinou negativní fyziologické vlastnosti vody o nízké mineralizaci.

Jiný pokus [Elpiner, 1980] na krysách byl zaměřen na zjištění optimální mineralizace vody ve vztahu k reakci organismu. Jako hlavní kritérium byla zvolena maximální ekonomičnost bilance látek a energie v buněčném metabolismu. Krysy, které dostávalo po dobu 5 měsíců jednotnou kalorickou dávku v 1 g suchých krmiv, byly rozděleny do sedmi skupin podle mineralizace vody, kterou dostávaly (destilovaná voda, 50, 100, 250, 500 a 1000 mg/l, moskevská vodovodní voda – 350 mg/l – jako kontrola). Výsledky energetické výměny: Nejmenší spotřeba energie na 100 g hmotnosti byla zjištěna při konzumaci vody o mineralizaci 500 mg/l, k této skupině se blížily také skupiny konzumující vodu o mineralizaci 100 a 250 mg/l. Rozdíl mezi skupinou dostávající destilovanou vodu a skupinou dostávající vodu o mineralizaci 500 mg/l byl 2,42 kcal (22,11 oproti 19,69 kcal). Nejhorší výsledky (tj. největší spotřebu energie) dosáhly v tomto ohledu skupiny 1 a 6 (destilovaná voda a voda o mineralizaci 1000 mg/l). Výsledky spotřeby vody: nejvyšší spotřeba vody byla zaznamenána

u skupin dostávajících vodu o minimální a maximální mineralizaci. Nejmenší spotřeba vody byla ve skupině konzumující vodu o mineralizaci 500 mg/l, následovaly skupiny konzumující vodu o mineralizaci 100 a 250 mg/l. Zvýšená konzumace vody vede ke zvýšení ztrát energie, jež jsou spojeny s vytvářením homeostázy a také s deponováním minerálních látek v organismu. Z pokusu vyplynulo, že množství minerálů v pitné vodě ovlivňuje úroveň konzumace vody, míru ztrát energie a další parametry fungování organismu. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u vod s mineralizací 500 mg/l a 250 mg/l.

Petrov a Maležik [Petrov, 1960] zkoumali na jižní Ukrajině vody dvojího typu (převážně více mineralizované chlorido-síranové a chlorido-sodné vody) a vliv jejich dlouhodobé spotřeby na řadu fyziologických funkcí lidského i zvířecího organismu i na zdravotní stav obyvatelstva. Bylo dotazováno celkem 1872 místních obyvatel, na 800 konzumentech místních přírodních vod a na 15 dobrovolnících byla provedena fyziologická vyšetření výměny vody a solí, sekrece, evakuace a exkrece žaludku a dalších ukazatelů. Lékařská prohlídka provedená lékaři místních nemocnic se týkala asi 10.000 osob. Ze získaných výsledků vyplývá, že konzumace chlorido-síranových a chlorido-sodných vod o mineralizaci více než 1 g/l, obsahujících více než 0,3 g/l síranových a chloridových iontů, více než 0,2 g/l sodíku a více než od 0,1 g/l vápníku nebo hořčíku vyvolává řadu nežádoucích fyziologických změn u lidí i zvířat. Tyto vody jsou hodnoceny negativně co do organoleptických vlastností, jejich konzumace vede k narušení stavu minerálního složení organismu, hromadění solí a ke zvýšené zátěži vylučovacího systému, narušení pitných reflexů a narušení činnosti nervového a sekrečního systému. Tyto změny mohou napomáhat rozvoji nemocí trávicích orgánů, močového, srdečně-cévního systému, narušení výměny látkové apod. Z údajů o nemocnosti místního obyvatelstva vyplynulo, že u konzumentů chlorido-síranových vod a chlorido-síranosodných vod s obsahem síranů a chloridů 0,4 g/l a více se vyskytuje častěji onemocnění trávicích orgánů (gastritidy, enteritidy, kolitidy, nemoci jater aj.) a močových cest. U konzumentů chloridovo-sodíkových vod o mineralizaci 2 – 4 g/l se více vyskytovaly nemoci orgánů oběhu krve.

Vliv celkové mineralizace na chuť vody: Chuťová přijatelnost vody o celkové mineralizaci méně než 600 mg/l je všeobecně považována za dobrou, zatímco pitná voda o celkové mineralizaci vyšší než asi 1000 mg/l se stává stále více a významně chuťově nepřijatelnou [WHO, 2006].

### 3.9. Nepříznivý poměr prvků

Nejen absolutní obsah jednotlivých prvků nebo celkový obsah všech minerálů, ale i nevhodný poměr mezi jednotlivými prvky může být příčinou nepříznivého vlivu vody na lidské zdraví. Bohužel, kromě vztahu vápník-hořčík víme o této oblasti velmi málo. Vápník a hořčík jsou přirozenými antagonisty a tak jejich vzájemný poměr ovlivňuje jejich vstřebávání. Se vzrůstajícím podílem vápníku klesá vstřebávání hořčíku a naopak. Proto bývalá norma ČSN 75 7111 Pitná voda, platná v letech 1991-2000, uváděla jako žádoucí poměr mezi vápníkem (Ca) a hořčíkem (Mg) 2:1. Tento údaj pravděpodobně pochází z doporučení (formulovaného z hlediska optimálního vstřebávání hořčíku), aby poměr celkového příjmu Ca ku Mg byl 2:1 [Durlach, 1989]. Opačným hlediskem (vstřebávání vápníku z vody ve vztahu k obsahu hořčíku) se zabývala ruská studie [Naboka, 1986], podle které optimální vzájemný poměr Ca a Mg ve vodě, při kterém hořčík nebrání vstřebávání vápníku, je asi 3:1. Pokud bude obsah hořčíku ve vodě převyšovat obsah vápníku, bude vstřebání vápníku z vody minimální, což se při dlouhodobém příjmu takové vody může projevit některými specifickými projevy nedostatku vápníku [Kožíšek, 2003].

Epidemiologické studie ekologického typu ve dvou oblastech bývalého SSSR zjistily, že čím nižší byl poměr prvků Ca/Sr nebo Mg/Sr ve vodě, tím byl vyšší výskyt urolitiázy. Autoři však vodu charakterizují jen pomocí těchto tří ukazatelů (vápník, hořčík a stroncium) a neuvádějí žádné informace o celkové mineralizaci nebo jiných látkách ve vodě [Pivovarov, 1989].

## 4. ZÁVĚR

Pravidelně konzumovaná voda o vysokém obsahu některých minerálních látek je rizikovým faktorem pro vznik některých specifických onemocnění. Z výše uvedeného lze ohledně účinku jednotlivých látek učinit následující závěry.

Sodík. Vyšší obsah sodíku ve vodě (cca > 50 mg/l) vede při pravidelné konzumaci u dětí ke zvýšení krevního tlaku (se zvýšením obsahu sodíku ve vodě o 1 mmol (tj. 23 mg) Na/l byl pozorován nárůst tlaku o 0,5-1 mm rtuťového sloupce), při dlouhodobé konzumaci se taková voda pravděpodobně později v dospělosti podílí na vzniku hypertenze. Vyšší riziko vzniku hypertenze (a s ní dalších souvisejících chorob) v dospělosti je spojeno s dlouhodobou konzumací vody o obsahu NaCl více než 700 mg (Cl<sup>-</sup>)/l (asi 450 mg Na/l), ale nevíme, zda pro to je podmínkou, aby expozice začala již od dětského věku. Chuťový práh se v závislosti na obsahu jiných anionů pohybuje okolo 200 mg (Na)/l.

Chloridy. Koncentrace chloridů ve vodě okolo 500 mg/l a více ovlivňují žaludeční sekreci (snižují se množství vyloučené šťávy i její kyselost) u experimentálních zvířat. Od koncentrace 1500 mg/l dochází k poklesu celkového množství vyloučené moči (pokles je tím větší, čím je vyšší obsah chloridů) a i po několik dní po skončení pití takové vody mají tkáň vyšší hydrofilnost. I když výsledky některých epidemiologických studií naznačují nepříznivý účinek vody o vyšším obsahu chloridů ve smyslu vyššího výskytu některých chorob, vzhledem k současné přítomnosti vyššího obsahu jiných minerálů nelze určit, zda se jedná o specifický účinek chloridů. Chuťový práh se v závislosti na obsahu jiných kationů nachází mezi 200 a 300 mg/l. Obdobné koncentrace síranů a chloridů, které měnily sekreční funkci a motilitu GIT u pokusných zvířat, byly i hraniční pro přijatelnou chuť a schopnost vody tišit žížeň, když tyto vody hodnotily pokusné osoby.

Vody sírano-chloridového typu vyvolávají změny fyziologických reakcí od koncentrace rozpuštěných látek 1500 mg/l, chloridů a síranů více než 500 mg/l, sodíku více než 200 mg/l, vápníku a hořčíku více než 100-200 mg/l (každého z nich). Při stejných hmotnostních koncentracích (síranů a chloridů) vykazují chloridy více nepříznivý účinek na sekreci a motilitu žaludku než sírany.

Sírany. Vyšší obsah síranů ve vodě (cca > 500 mg/l) vede k narušení trávicích funkcí (nedokonalé trávení, snad v důsledku snížené sekrece žaludeční šťávy) a k průjmovému onemocnění, zvláště u nových, na daný zdroj vody neadaptovaných spotřebitelů a u dětí. Silnější laxativní účinky bude mít voda, která obsahuje vedle síranů i vyšší koncentraci hořčíku. Chuťový práh se v závislosti na obsahu kationů pohybuje od 250 mg/l výše.

Vápník a hořčík (tvrdost vody). Tvrdost vody vyšší než 5 mmol/l a především nad 10 mmol/l zvyšuje riziko vzniku urolitiázy a pravděpodobně i jiných kamenů (žlučových, slinných), možná i jiných chorob (např. kloubních), u kterých je však obtížné odlišit specifický vliv tvrdosti vody, protože její vyšší obsah se obvykle pojí s vyšším obsahem ostatních rozpuštěných látek. Pro vznik urolitiázy je však rizikové pití nejen vody s vysokým obsahem vápníku a hořčíku, ale i vody o velmi nízkém obsahu těchto prvků. Chuťový práh se v závislosti na obsahu anionů pohybuje u vápníku od 200 – 300 mg/l výše (u hořčíku je práh nižší), ale na rozdíl od iontů sodíku, chloridů či síranů jsou u tvrdosti vody lépe tolerovány i hodnoty nad chuťovým prahem.

Hydrogenuhličitaný. Pravidelná konzumace vody s obsahem hydrogenuhličitanů 500 mg/l a více může mít nepříznivý vliv na sliznici a funkci žaludku a střev a na acidobazickou rovnováhu krve. Tím, že zvyšuje vylučování kyseliny močové, může být i rizikovým faktorem močových kamenů a některých kloubních poruch.

Celková mineralizace. Vedle jednotlivých minerálních látek, výše uvedených, se také celkový obsah minerálních látek ve vodě zdá být faktorem, který při dlouhodobém příjmu takové vody ovlivňuje rozvoj některých fyziologických poruch či chorob. Jedná se například o choroby močového systému a poruchy fyzického vývoje u dětí, zhoršení ženských reprodukčních funkcí, onemocnění trávicího traktu (gastritidy, enteritidy, kolitidy, nemoci jater aj.) a s vylučovacími systémy související zvýšená tvorba močových, žlučových a jiných kamenů. Dále se může jednat o urychlení procesů stárnutí u experimentálních zvířat. Jednou z příčin vzniku těchto poruch může být snížená schopnost více mineralizované vody odvádět močí z těla odpadní metabolické produkty nebo zvýšení ztrát energie, jež jsou spojeny s vytvářením homeostázy a také s deponováním minerálních látek v organismu. I když pokusy byly prováděny s vodami o různé celkové mineralizaci a v některých případech chybí jejich podrobnější stratifikace určující nejnižší účinnou (nebo nejvyšší neúčinnou) koncentraci, přesto se zdá, že hranice celkové mineralizace vody rozlišující vodu „účinnou“ od „neúčinné“ by mohla pohybovat nad hodnotou 500 mg/l<sup>2,3</sup>, zatímco hranice mezi účinkem statisticky více významným (popř. již nepříjatelým) a nevýznamným se zřejmě nachází v oblasti tradiční (historické) hranice mezi vodou pitnou a minerální, tedy okolo 1000 mg/l. Této hodnotě také odpovídá přibližná hranice chuťové (ne)příjatelosti.

Určit přesný a obecně platný vztah mezi dávkou (koncentrací výše uvedených esenciálních látek ve vodě) a zdravotním účinkem pro člověka je velmi obtížné, protože (aktuální i minulý) příjem těchto látek potravou je v populaci tak různorodý, v čase proměnlivý a obvykle převyšující příjem z pitné vody, že to může výrazně ovlivnit případnou patologii. Proto je pro tyto prvky a jejich sumu ve vodě obtížné určit přesně hranici mezi účinností a neúčinností, přijatelností a nepřijatelností resp. závadností a nezávadností; také proto, že vždy je to též otázka množství konzumované takové vody. Uplatnění bezpečnostních faktorů, jaké se používají při stanovení limitů cizorodých toxických látek, zde také nepřipadá v úvahu.

---

<sup>2</sup> Tento názor je možné odvodit z prací, které se pokoušely odhadnout optimální složení pitné vody, tedy definovat koncentrační rozmezí vybraných minerálních látek, při kterém voda působí maximálně protektivně, resp. poji se s minimem sledovaných poruch. Hodnota „optima“ pro rozpuštěné látky je asi 150 až 400 mg/l. Tato hodnota vyplývá z různých epidemiologických a experimentálních studií, ve kterých čím více se voda odchylovala od uvedeného složení, tím vyšší byl v zásobovaných populacích nebo u experimentálních zvířat výskyt sledovaných chorob [Kožíšek, 2005].

<sup>3</sup> Jedním ze známých zdravotních limitů pro celkový obsah rozpuštěných látek v pitné vodě je nezávadné doporučení Americké agentury pro ochranu životního prostředí 250 mg/l, které však nebralo v úvahu možný protektivní účinek některých minerálních látek ve vodě [US EPA, 1997].

Pro rozpuštěné látky (celkovou mineralizací) ve vodě zahrnuje „šedá zóna nejistoty“ rozmezí cca 500 až 1500 mg/l – tedy to, co v případě minerálních vod nazýváme středně mineralizovanou přírodní minerální vodou. Je to oblast, která již není z hlediska trvalé konzumace a zdraví optimální (optimum se pro rozpuštěné látky pohybuje v rozmezí cca 150 až 400 mg/l [Kožíšek, 2005]), ale nelze ji ještě na základě dostupných informací označit za jednoznačně škodlivou či nepřijatelnou, pokud se na této mineralizaci převážnou měrou nepodílí jedna složka (např. sírany). Vyšší obsah rozpuštěných látek než 1500 mg/l je však již nutno hodnotit jako nežádoucí.

Jednou z možností při hodnocení zdravotního rizika je popsat riziko či rizika pouze kvalitativně, popř. naznačit hranici (obsah látky či sumy látek ve vodě), od které se lze již popsaný zdravotní účinek může vyskytnout. Případné rozhodnutí o přijatelnosti či nepřijatelnosti takto hodnocené pitné vody by pak přecházelo na orgán ochrany veřejného zdraví, který by při svém rozhodnutí bral do úvahy i ostatní faktory (využití vody, organoleptické vlastnosti vody, počet zásobovaných obyvatel, dostupnost jiného zdroje, reálnost úpravy vody ad.), jak to ostatně požaduje Světová zdravotnická organizace [WHO, 2006].

Tato práce upozorňuje na možná zdravotní rizika spojená s pravidelnou konzumací vody o vyšším obsahu rozpuštěných látek, ale jejím vyzněním nemůže být zjednodušený závěr „čím méně minerálních látek ve vodě, tím lépe“. Velmi nízký obsah rozpuštěných látek a zvláště vápníku a hořčíku se totiž pojí zase s jinými, možná ještě vážnějšími zdravotními riziky. Nehledě k tomu, že určitý minimální obsah rozpuštěných minerálních látek je žádoucí i proto, aby chuť vody byla vnímána jako příjemná [Falahee, 1995].

Z hlediska ochrany veřejného zdraví by mělo být cílem, aby se pitná voda, resp. jiná voda určená či zamýšlená pro pravidelnou konzumaci, blížila svým minerálovým složením doporučenému optimálnímu rozmezí hodnot<sup>4</sup> a pokud se od něho výrazněji odchyluje, aby se zvážila možnost úpravy vody, použití jiného zdroje vody nebo omezení konzumovaného množství takové vody.

---

<sup>4</sup> Vedle již zmíněného rozmezí pro celkové rozpuštěné látky lze uvést i následující optimální rozmezí pro jednotlivé látky: vápník 40 až 70 mg/l; hořčík 20 až 30 mg/l; sodík 5 až 25 mg/l; chloridy do 50 mg/l; sírany do 50 mg/l, hydrogenuhličitanu 100 až 300 mg/l.



## 5. LITERATURA

1. Abdel-Halim, R.E. (2005). Urolithiasis in adults. Clinical and biochemical aspects. Saudi Med. J. 26: 705-713.
2. Ackermann, D., Baumann, J.M., Futterlieb, A., Zingg, E.J. (1988). Influence of calcium content in mineral water on chemistry and crystallization conditions in urine of calcium stone formers. Eur. Urol. 14: 305-308.
3. AHA (1965). Sodium Restricted Diets: 500 mg. American Heart Association.
4. Armstrong, B.K., Margetts, B.M., McCall, M.G. et al. (1982). Water sodium and blood pressure in rural school children. Arch. Environ. Health 37: 236-245.
5. Balašov O.I., Sysoev A.B., Rodnikov A.V. (1982). Působení míry mineralizace odsolených remineralizovaných vod hydrouhličitanového typu na funkci gonád samců bílých krys (v ruštině). Kosmičeskaja biologija i aviakosmičeskaja medicina, 16(2): 40-45.
6. Basmadžieva-Tančeva K.G. (1965). Resorpce vápníku ve střevech, výměna purinů a rozdělení  $Ca^{45}$  v orgánech a tkáních krys dlouhodobě konzumujících vodu o různém obsahu vápníku (v ruštině). Gig Sanit, 30(12): 11-16.
7. Bellizzi, V., De Nicola, L., Minutolo, R., Russo, D., Cianciaruso, B., Andreucci, M., Conte, G., Andreucci, V.E. (1999). Effects of water hardness on urinary risk factors for kidney stones in patients with idiopathic nephrolithiasis. Nephron 81 (suppl 1): 66-70.
8. Bokina A.I., Fadejeva V.K., Vichrova E.M. (1972). Stav kardiovaskulárního systému u lidí dlouhodobě konzumujících vysoce mineralizovanou chloridovou pitnou vodu (v ruštině). Gig Sanit, 37(3): 10-14.
9. Bokina A.I., Jurova V.K. (1966). Změny některých biochemických ukazatelů u lidí, kteří dlouhodobě pijí tvrdou pitnou vodu (v ruštině). Gig Sanit, 31(12): 33-38.
10. Bokina A.I., Kandrór I.S. (1960). Charakter diurézy a očistná činnost ledvin (clearance) při různém složení chloridových a síranových iontů v pitné vodě (v ruštině). Gig Sanit, 25(5): 14-20.
11. Bokina A.I., Kandrór I.S., Solovev Ju.N., Kolbasova O.V., Ževeržejeva V.F. (1965). Hygienické hodnocení tvrdosti pitných vod jako faktoru, který způsobuje vznik močových kamenů (v ruštině). Gig Sanit, 30(6): 3-7.
12. Budějev I.A., Strusevič E.A., Ezroch T.I., Ekštat B.Ja. (1970). O možnosti využití hydrogenuhličitanovo-sodíkových vod k zásobování pitnou vodou (v ruštině). Gig Sanit, 35(9): 9-12.
13. Calabrese, E.J., Tuthill, R.W., Klar, J.M., Sieger, T.L. (1980). Elevated levels of sodium in community drinking water. J. Am. Water Works Assoc. 72: 645-649.
14. Caudarella, R., Rizzoli, E., Buffa, A., Bottura, A., Stefoni, S. (1998). Comparative study of the influence of 3 types of mineral water in patients with idiopathic calcium lithiasis. J. Urol. 159: 658-663.
15. Coen, G., Sardella, D., Barbera, G., Ferrannini, M., Comegna, C., Ferazzoli, F., Dinnella, A., D'Anello, E., Simeoni, P. (2001). Urinary composition and lithogenic risk in normal subjects following oligomineral versus bicarbonate-alkaline high calcium mineral water intake. Urol. Int. 67: 49-53.
16. Di Silverio, F., Ricciuti, G.P., D'Angelo, A.R., Fraioli, A., Simeoni, G. (2000). Stone recurrence after lithotripsy in patients with recurrent idiopathic calcium urolithiasis: efficacy of treatment with Fiuggi water. Eur. Urol. 37: 145-148.
17. Durlach, J. (1989) Recommended dietary amounts of magnesium: Mg RDA. Magnes. Res. 2: 195-203.
18. Elpiněř L.I., Balašov O.I. (1980) Experimentální výzkum vztahující se k normování optimálního minerálního složení pitných vod (v ruštině). Kosmičeskaja biologija i aviakosmičeskaja medicina, 14(4): 71-77.
19. Fadejeva V.K. (1971). Vliv pitné vody o různém obsahu chloridů na pokusná zvířata (v ruštině). Gig Sanit, 36(6): 11-15.
20. Falahee M., MacRae A.W. (1995). Consumer appraisal of drinking water: multidimensional scaling analysis. Food Quality and Preference 6: 327-332.

21. Fatula M.I. (1967). Četnost výskytu arteriální hypertenze u osob konzumujících vodu se zvýšeným obsahem chloridu sodného (v ruštině). *Sovetskaja Medicina*, 30(5): 134-136.
22. Fatula M.I. (1977). Vliv vody o zvýšeném obsahu chloridu sodného na četnost arteriální hypertenze a přechodnou pracovní neschopnost (v ruštině). *Gig Sanit*, 42(2): 7-11.
23. Gabovič R.D., Užva N.F. (1975a) Zkoumání vlivu pitné vody o různém minerálním složení v hygienicko-gerontologickém experimentu (v ruštině). *Gig Sanit*, 40(9): 26-31.
24. Gabovič P.D., Užva N.F. (1975b). Vliv vody s různou mírou mineralizace na organismus zvířat (v ruštině). *Gig Sanit*, 40(10): 25-29.
25. Gabovič R.D., Užva N.F. (1976) K hygienickému hodnocení minerálního složení pitné vody (v ruštině). *Gigiena naselenných měst*, 15: 10-15.
26. Gogoli A.A. (1971). O vlivu tvrdosti vody na rozvoj experimentálně vyvolané cholesterolové arteriosklerózy (v ruštině). *Gig Sanit*, 36(5): 11-15.
27. Golubjev I.M., Zimin V.P. (1994). O normativu celkové tvrdosti v pitných vodách (v ruštině). *Gig Sanit*, 59(3): 22-23.
28. Gutenbrunner, C., Gilsdorf, K., Hildebrandt, G. (1989). The effect of mineral water containing calcium on supersaturation of urine with calcium oxalate. *Urologe* 28: 15-19.
29. Hallenbeck W.H., Brenniman G.R., Anderson R.J. (1981). High sodium in drinking water and its effect on blood pressure. *Am J Epidemiol* 114: 817-826.
30. Hofman, A., Valkenburg, A., Vaandrager, G.J. (1980). Increased blood pressure in school children related to high sodium levels in drinking water. *J. Epidem. Commun. Health* 34: 179-181.
31. Hofman, A., Hazebroek, A., Valkenburg, H.A. (1983). A randomized trial of sodium intake and blood pressure in newborn infants. *JAMA* 250: 370-373.
32. Jones R.F., Cech I.I., Holguin A.H., Hardy R.J. (1979) Evaluation of the relationship of sodium in drinking water and toxemia in pregnancy. *Am J Public Health*, 69: 917-921.
33. Kandror I.S., Bokina A.I., Malevskaja I.A., Petrov Ju.L. (1963) Hygienické normování obsahu solí v pitné vodě (v ruštině). Státní nakladatelství lékařské literatury, Moskva.
34. Kaplan, N.M. (1984). Dietary salt intake and blood pressure (letter to the editor). *JAMA* 251: 1429-1430.
35. Kohri, K., Kodama, M., Ishikawa, Y., Katayama, Y., Takada, M., Katoh, Y., Kataoka, K., Iguchi, M., Kurita, T. (1989). Magnesium-to-calcium ratio in tap water, and its relationship to geological features and the incidence of calcium-containing urinary stones. *J.Urol.* 142: 1272-1275.
36. Kohri, K., Ishikawa, Y., Iguchi, M., Kurita, T., Okada, Y., Yoshida, O. (1993). Relationship between the incidence infection stones and the magnesium-calcium ratio of tap water. *Urol. Res.* 21: 269-272.
37. Kondratjuk V.A., Gnatjuk M.S., Volkov K.S. (1988b) Zvláštnosti strukturní přestavby jater vlivem regenerované pitné vody o různé koncentraci iontů sodíku a draslíku (v ruštině). *Kosmičeskaja biologija i aviakosmičeskaja medicina*, 22(2): 87-90.
38. Kondratjuk V.A., Gnatjuk M.S. (1988a) Srdeční rytmus zvířat při užívání regenerované vody o různé koncentraci iontů sodíku a draslíku (v ruštině). *Kosmičeskaja biologija i aviakosmičeskaja medicina*, 22(1): 61-62.
39. Kondratjuk V.A. (1985) Experimentální zdůvodnění přípustných koncentrací sodíku a draslíku v pitné regenerované vodě (v ruštině). *Kosmičeskaja biologija i aviakosmičeskaja medicina*, 19(2): 74-78.
40. Kožíšek F. (2003). Zdravotní význam tvrdosti pitné vody. 3.aktualizovaná verze. SZÚ, Praha. Dostupné na [www.szu.cz/chzp/voda](http://www.szu.cz/chzp/voda).
41. Kožíšek F. (2005). Zdravotní rizika vody o vyšším obsahu minerálních látek. In: Sborník ze semináře „Balená voda – zdravotní a hygienická hlediska, VII.ročník“ (Praha, 4.10.2005). Vydala ČVTVHS, Praha; str. 101-132.
42. Kožíšek F., Jeligová H. (2002). Zdravotní význam sodíku ve vodách. Zpráva výzkumného úkolu. SZÚ, Praha. Přístupné na [www.szu.cz/chzp/voda](http://www.szu.cz/chzp/voda).
43. Lagutina L.E., Štannikov E.V., Makarova O.A. (1990). Zdravotní stav a některé ukazatele činnosti vylučovacího systému dětí za podmínek dlouhodobého působení pitné vody o nepříznivém minerálním složení (v ruštině). *Pediatrics*, č.9, str. 40-44.

44. Loseva M.I., Kareva N.P. (1985). Úloha některých ekologických faktorů v rozvoji stavů deficitu železa (v ruštině). In: Minerální složení pitné vody a zdraví obyvatelstva (editor I.A. Budějev). Naučnyje trudy, sv. 122, str. 21-27.
45. Majborodina G.F., Strusevič E.A. (1985). Zkoumání vlivu uhličitanových iontů v pitné vodě na některé biochemické ukazatele u laboratorních zvířat (v ruštině). In: Minerální složení pitné vody a zdraví obyvatelstva (ed. I.A. Budějev). Naučnyje trudy, sv. 122, str. 40-43.
46. Marangella, M., Vitale, C., Petrarulo, M., Rovera, L., Dutto, F. (1996). Effects of mineral composition of drinking water on risk for stone formation and bone metabolism in idiopathic calcium nephrolithiasis. Clin. Sci. 91: 313-318.
47. Mišina S.V., Majborodina G.F. (1985). Morfologické změny v gastrointestinálním traktu krysy pod vlivem uhličitanových iontů (v ruštině). In: Minerální složení pitné vody a zdraví obyvatelstva (ed. I.A. Budějev). Naučnyje trudy, sv. 122, str. 43-46.
48. Mudryj, I.V. (1999). O vlivu minerálního složení pitných vod na zdraví obyvatelstva (v ruštině). Gig. Sanit, 64(1): 15-18.
49. Muzalevskaja L.S., Lobkovskij A.G., Kukarina N.I. (1993). Míra onemocnění žlučovými a ledvinovými kameny, osteoporózou a solnou arthropatií v závislosti na tvrdosti pitné vody (v ruštině). Gig Sanit, 58(12): 17-20.
50. Naboka M.V. (1986) Vliv solí rozpuštěných v pitné vodě na trávení vody a iontů v zažívacích orgánech (v ruštině). Gigiena naseleennyh mest, 25: 76-80, Kyjev.
51. Omeljanec N.I., Naboka M.V., Kulikova A.D., Užva N.F., Kondratjuk V.A. (1984). Ke zdůvodnění minimálně nezbytného a maximálně přípustného obsahu sodíku a draslíku v pitné vodě (v ruštině). Gigiena naseleennyh mest, 23: 72-77, Kyjev.
52. Parchomčuk T.K. (1977). Klinický a fyziologický výzkum k hodnocení odsolených kontinentálních vod (v ruštině). Gig Sanit, 42(1): 18-21.
53. PASSCLAIM (Process for the Assessment of Scientific Support for Claims on Foods) (2005). Consensus on Criteria. Eur J Nutr 44 (Suppl. 1): I/5 - I/30.
54. Petrov Ju.L., Maležik P.V. (1960). Hygienické hodnocení pitných podzemních vod jižních oblastí Ukrajinské SSR (v ruštině). Gig Sanit, 25(8): 8-13.
55. Petrov Ju.L., Grebenkin B.G. (1964). O vlivu hydrogenuhličitanovo-vápenatých vod na metabolismu purinů (v ruštině). Gig Sanit, 29(8): 15-19.
56. Pitter P. (1999). Hydrochemie. Nakl. VŠCHT, Praha; str. 39.
57. Pivovarov Ju.P., Konašinskij A.V. (1989). Úloha chemického složení pitné vody při prognózování rozšíření endemické urolitiázy (v ruštině). Gig Sanit, 54(6): 8-13.
58. Pomeranz, A., Korzets, Z., Vanunu, D. et al. (2000). Elevated salt and nitrate levels in drinking water cause an increase of blood pressure in schoolchildren. Kidney Blood Press Res. 23: 400-403.
59. Pomeranz A., Dolfín T., Korzets Z., Eliakim A., Wolach B. (2002). Increased sodium concentrations in drinking water increase blood pressure in neonates. J Hypertens 20: 203-207.
60. Popov V.V. (1968). K otázce možné závislosti míry onemocnění obyvatelstva žlučovými kameny a cholecystitis na minerálním složení a tvrdosti pitné vody (v ruštině). Gig Sanit, 33(6): 104-105.
61. Ripa, S.L., Delpon, P.E., Romero, F.F.J. (1995). Epidemiology of urinary lithiasis in la Ribera de Navarra (I). Actas Urol. Esp. 19: 459-466.
62. Rodgers, A.L. (1997). Effect of mineral water containing calcium and magnesium on calcium oxalate urolithiasis risk factors. Urol. Int. 58: 93-99.
63. Rodgers, A.L. (1998). The influence of South African mineral water on reduction of risk of calcium oxalate kidney stone formation. S. Afr. Med. J. 88: 448-451.
64. Romancova O.A., Kovalčuk A.I. (1989). Hygienické hodnocení chlorido-sodných podzemních vod (v ruštině). Sborník vědeckých prací „Hygienické aspekty ochrany životního prostředí a zdraví obyvatelstva ve vztahu k urychlení vědecko-technického pokroku v národním hospodářství“. Ministerstvo zdravotnictví RSFSR, Moskva; str. 15-17.
65. Rylova N.V. (2005). Vliv minerálního složení pitné vody na zdravotní stav dětí (v ruštině). Gig Sanit, 70(1): 45-46.

66. Saulnier, J.P., Podevin, G., Berthier, M., Levard, G., Oriot, D. (2000). Staghorn lithiasis in an infant related to high-calcium level mineral water intake (in French). *Arch. Pediatr.* 7: 1300-1303.
67. Schwartz, B.F., Schenkman, N.S., Bruce, J.E., et al. (2002). Calcium nephrolithiasis: effect of water hardness on urinary electrolytes. *Urology* 60: 23-27.
68. Singh, P.P., Kiran, R. (1993). Are we overstressing water quality in urinary stone disease? *Int. Urol. Nephrol.* 25: 29-36.
69. Sommariva, M., Rigatti, P., Viola, M.R. (1987). Prevention of the recurrence of urinary lithiasis: mineral waters with high or low calcium content? *Minerva Med.* 78: 1823-1829.
70. Štannikov E.V., Objedkova G.Ju. (1984). Vliv stupně mineralizace vody na reprodukční funkci žen (v ruštině). *Gig Sanit*, 49(9): 20-23.
71. Štannikov E.V., Sumovskaja A.E., Objedkova G.Ju. (1985). Zkoumání embryotoxického a teratogenního vlivu vody o zvýšené mineralizaci (v ruštině). *Gig Sanit*, 50(9): 19-20.
72. Štannikov E.V., Lagutina L.E., Manešina O.A. (1986). Účinek vysoce mineralizované vody na močový trakt u dětí (v ruštině). *Gig Sanit*, 51(10): 90-92.
73. Tuthill, R.W., Calabrese, E.J. (1979). Elevated sodium levels in the public drinking water as a contributor to elevated blood pressure levels in the community. *Arch. Environ. Health* 34: 197-202.
74. Tuthill, R.W., Calabrese, E.J. (1981). Drinking water sodium and blood pressure in children: a second look. *Am. J. Public Health* 71, 7: 722-729.
75. U.S.EPA. (1997). Announcement of the Draft Drinking Water Contaminant Candidate List; Notice. *Federal Register* 62, no. 193 (6 October): 52194.
76. U.S.EPA. (2003a). Drinking Water Advisory: Consumer Acceptability Advice and Health Effects Analysis on Sodium. EPA 822-R-03-006. Přístupné na: [www.epa.gov/safewater/ccl/pdf/sodium.pdf](http://www.epa.gov/safewater/ccl/pdf/sodium.pdf).
77. U.S.EPA. (2003b). Drinking Water Advisory: Consumer Acceptability Advice and Health Effects Analysis on Sulfate. EPA 822 R-03-007. Přístupné na [http://www.epa.gov/safewater/ccl/pdfs/reg\\_determine1/support\\_cc1\\_sulfate\\_dwreport.pdf](http://www.epa.gov/safewater/ccl/pdfs/reg_determine1/support_cc1_sulfate_dwreport.pdf).
78. WHO (2003). Public health initiatives – investigation of gastrointestinal diseases and water supply in Central Asian republics. Report on a seminar *Health Impact of Highly Saline Waters*. WHO, Kopenhagen.
79. WHO (2006) Guidelines for Drinking-water Quality. First addendum to third edition. Volume 1. Recommendations. WHO, Geneva.