



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

TVRDOST PITNÉ VODY

HARDNESS OF DRINKING WATER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Kubešová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kateřina Kubešová
Název	Tvrdość pitné vody
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990. ISBN 00-700-1540-6.
- [2] PITTER, Pavel. Hydrochemie. 3. přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999, 568 s. ISBN 8070803401.
- [3] KRIŠ, Jozef, Oskár ČERMÁK a Ivona ŠKULTÉTYOVÁ. Vodárenstvo 1: Zásobovanie vodou. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2006. ISBN 80-227-2426-2.
- [4] AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990, 1194 s. ISBN 0-07-001540-6.
- [5] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. Vodárenství: Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia [online]. Brno: VUT v Brně, 2006 [cit. 2012-03-26].

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci práce se bude studentka zabývat tvrdostí vody, jakožto jedním z ukazatelů jakosti vody, který je velmi citlivě vnímán odběrateli. Práce bude obsahovat obecnou rešerši na téma tvrdost vody, vliv látek způsobujících tvrdost vody na lidské zdraví a technická zařízení budov. Kromě toho bude zařazen přehled technologických postupů a zařízení pro úpravu tvrdosti vody. Cílem práce je diskutovat o tvrdosti vody, která na jednu stranu přináší odběratelům vody značné obtíže technického charakteru a s tím spojenou jistou finanční zátěž vynakládanou na opravy, a na druhé straně je tvrdost vody (látky ji způsobující) žádoucí z hlediska zdravotního. V práci bude zmíněn minimálně jeden příklad spotřebiště, kde je zvýšená tvrdost vody vnímána obyvateli jako nežádoucí jev.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

V úvodní části této bakalářské práce je zpracována rešerše na téma tvrdosti vody obecně a jakožto jednoho z ukazatelů jakosti pitné vody. Práce zahrnuje pohled na obsah látek způsobujících tvrdost jednak z hlediska zdravotního a jednak z hlediska technického. V následující části je uveden přehled metod používaných pro ztvrdování a změkčování vody. Na závěr jsou zmíněna dvě spotřebiště. V prvním případě se jedná o spotřebiště s tvrdou vodou, ve druhém případě jde naopak o spotřebiště, které vzneslo požadavek na zvýšení tvrdosti.

Abstract

In the introductory part of this bachelor thesis deals with a research focusing on the hardness of water in general and as an indicator of quality of drinking water. Technical point of view is included and the role that the substances which cause hardening have on health is discussed. In the following part, there is an overview of water hardening and softening technologies. Finally, there are two consumables. In the first case, it is a hard-water consumer, in the second case there was a request for the distributed water to be harder.

Klíčová slova

Tvrdost vody, ukazatel jakosti pitné vody, zdravotní význam vápníku a hořčíku, ztvrdování vody, změkčování vody.

Key words

Water hardness, drinking water quality indicator, health significance of calcium and magnesium, water hardening, water softening.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

KUBEŠOVÁ, Kateřina. *Tvrdost pitné vody*. Brno, 2018. 49 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2018

Kateřina Kubešová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Tomáši Kučerovi, Ph.D. za cenné rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	TVRDOŚT VODY	4
2.1	Vymezení pojmu	4
2.1.1	Jednotky	4
2.1.2	Kategorie tvrdořti	5
2.1.3	Dělení tvrdořti	5
2.2	Výskyt vápníku a hořčíku ve vodách	5
2.3	Tvrdořt jako ukazatel jakosti pitné vody	6
2.3.1	Legislativní požadavky	6
2.3.2	Vliv tvrdořti na senzoričké vlastnosti	7
2.4	Monitoring tvrdořti vody na území české republiky v letech 1996–2016	8
3	VÁPNÍK A HOŘČÍK ZE ZDRAVOTNÍHO HLEDISKA	10
3.1	Doporučený denní příjem	10
3.2	Význam a využitelnost vápníku a hořčíku obsažených v pitné vodě	12
3.2.1	Fyziologický význam vápníku	12
3.2.2	Fyziologický význam hořčíku.....	13
3.2.3	Nepříznivé zdravotní účinky tvrdé vody.....	13
4	TVRDOŚT VODY Z TECHNICKÉHO HLEDISKA	14
4.1	Vápenato-uhličitánová rovnováha	14
4.2	Inkrustace v potrubí	15
4.3	Koroze v potrubí	16
4.3.1	Koroze betonu.....	16
4.3.2	Koroze kovů.....	16
5	ÚPRAVA TVRDOŘTI PITNÉ VODY	17
5.1	Ztvrzování	17
5.1.1	Metoda přímého ztvrzování	17
5.1.2	Metoda nepřímého ztvrzování	17
5.1.3	Další metody zvyšování tvrdořti.....	18

5.2	Změkčování	18
5.2.1	Termická dekarbonizace	19
5.2.2	Dekarbonizace kyselinou	19
5.2.3	Dekarbonizace srážením vápnem	19
5.2.4	Iontová výměna	20
5.2.5	Srážení vápnem a sodou	21
5.2.6	Srážení hydroxidem sodným a sodou	21
5.2.7	Srážení fosforečnany.....	22
5.2.8	Odstranění Ca a Mg ve formě komplexů.....	23
5.2.9	Membránové procesy.....	23
6	KRITICKÉ ZHODNOCENÍ REŠERŠE	25
7	KONKRÉTNÍ SPOTŘEBIŠTĚ.....	28
7.1	Mokrý–Horákov.....	28
7.1.1	Skupinový vodovod Pozořice	28
7.1.2	Postoj obyvatel k tvrdosti pitné vody.....	32
7.1.3	Možné způsoby snížení tvrdosti.....	33
7.2	Jastrzębie–Zdrój (Polsko)	36
7.2.1	Výběr technologie pro úpravu pitné vody.....	37
8	ZÁVĚR.....	38
9	POUŽITÁ LITERATURA.....	40
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	43
	SEZNAM TABULEK	44
	SEZNAM OBRÁZKŮ	45
	SUMMARY	46
	SEZNAM PŘÍLOH.....	47
	PŘÍLOHY.....	48

1 ÚVOD

Pokud jde o kvalitu pitné vody, pozornost je věnována především dodržení stanovených limitů u toxických látek (například pesticidů, dusičnanů, dusitanů, těžkých kovů aj.), jejichž přítomnost ve vodě rozhodně není ze zdravotního hlediska žádoucí. Díky tomu však unikají většímu zájmu látky přirozeně se ve vodě vyskytující, které nejsou jedovaté, avšak také mohou mít výrazný vliv na lidské zdraví. [5]

Jako příklad takových látek lze uvést vápník a hořčík. Jedná se o minerály, které tvoří nezanedbatelnou složku mineralizace vody. Sumární koncentrací vápníku a hořčíku je definován významný ukazatel jakosti pitné vody – tvrdost vody.

Tvrdost je jednou z vlastností pitné vody, která je v současnosti velice citlivě vnímána odběrateli. Vysoký obsah minerálů a solí způsobuje nežádoucí zanášení potrubí, baterií, rychlovarných konvic a dalších spotřebičů, což představuje jistou finanční zátěž spojenou s údržbou a opravami.

Na druhou stranu vápník i hořčík patří mezi biogenní prvky a jejich dostatečný příjem je nezbytný pro správné fungování organismu. Dlouhodobý deficit ze zdravotního hlediska potřebných látek může mít srovnatelně negativní efekt jako nadlimitní příjem látek toxických. [5]

Cílem práce je diskutovat tvrdost vody, která je na jednu stranu původce značných obtíží technické povahy, na druhou stranu látky způsobující tvrdost jsou žádoucí ze zdravotního hlediska. V práci je zahrnut jednak pohled ze strany provozovatelů vodáren, kteří jsou vázáni příslušnými předpisy, a jednak pohled spotřebitelů vnímajících projevy tvrdé vody jako nežádoucí jev.

2 TVRDOŚT VODY

Už koncem 18. století bylo pozorováno, že pokud je zelenina vařena ve vodě s vysokým obsahem vápníku a hořčíku, zůstává delší dobu tvrdá. Odtud pravděpodobně pochází i označení „tvrdá“ a „měkká“ voda. První metodu ke stanovení tvrdosti vody, která spočívala ve srážení mýdla, si patentoval chemik Clark roku 1874. [1, 12]

2.1 VYMEZENÍ POJMU

Pro pojem „tvrdost vody“ nenajdeme v literatuře jednotnou definici. Z technologického hlediska se jedná o všechny ionty kovů s vyšším nábojovým číslem, které nejsou žádoucí v provozních vodách. Kromě vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) se jedná například i o železo (Fe) nebo mangan (Mn). Dnes je však častěji prosazováno hledisko analytické, podle něhož tvrdost vody popisuje celkovou koncentraci kovů alkalických zemin, především vápníku (Ca) a hořčíku (Mg). [1]

Za zmínku stojí, že označení obsahu vápníku a hořčíku souhrnným termínem „tvrdost vody“ není ideální, protože nesprávně připisuje oběma prvkům stejné vlastnosti a vlivy. Například vznik usazenin v potrubí způsobuje převážně vápník, jelikož vápenaté soli jsou oproti hořečnatým výrazně méně rozpustné. Naopak hořčík působí agresivně na beton. Termín je u nás dnes používán spíše z tradičních důvodů. Tuto skutečnost potvrzuje také fakt, že existují obory, které toto označení nepoužívají (a nikdy nepoužívaly), protože si uvědomují, že vápník a hořčík mají odlišné vlastnosti a že vlastnosti vody nejsou závislé na jejich sumární koncentraci, nýbrž na zastoupení každého z nich. V mezinárodních ISO normách nebo v německých DIN normách se termín také již nevyskytuje. [1, 4]

2.1.1 Jednotky

Stejně, jako se literatura jednoznačně neshoduje na vymezení tvrdosti vody jako pojmu, není jednotná ani ohledně používaných jednotek. Vlastnost můžeme vyjádřit například ve stupních německých ($^{\circ}\text{dH}$), anglických ($^{\circ}\text{eH}$) nebo francouzských ($^{\circ}\text{fH}$). V zahraniční literatuře je běžně využíván ekvivalent CaCO_3 ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). U nás se tvrdost nejčastěji stanovuje jako látkové množství vápníku a hořčíku dohromady ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). [4]

Tab. 2.1 Převody některých jednotek tvrdosti [7]

	$^{\circ}\text{dH}$	$^{\circ}\text{fH}$	$^{\circ}\text{eH}$	$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$	$\text{mval}\cdot\text{l}^{-1}$	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$
$^{\circ}\text{dH}$	1.000	0.560	0.799	5.608	2.804	0.056
$^{\circ}\text{fH}$	1.785	1.000	1.425	10.009	5.004	0.100
$^{\circ}\text{eH}$	1.252	0.702	1.000	7.022	3.511	0.070
$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$	0.178	0.100	0.142	1.000	0.500	0.010
$\text{mval}\cdot\text{l}^{-1}$	0.357	0.200	0.285	2.000	1.000	0.020
$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$	17.848	10.000	14.254	100.087	50.044	1.000

2.1.2 Kategorie tvrdości

Míru tvrdości lze vyjádřit několika stupni, ani zde však nejsou hranice určeny jednoznačně. World Health Organization (WHO) udává, že pokud je koncentrace CaCO_3 pod $60 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, voda je označována jako měkká. Při obsahu $60\text{--}120 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ uhličitanu se jedná o vodu mírně tvrdou, při $120\text{--}180 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ tvrdou a při více jak $180 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ velmi tvrdou. [8]

Převážně z technologického hlediska byla stanovena stupnice rozlišující na základě celkové koncentrace Ca a Mg velmi měkkou (do $0,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), měkkou ($0,7\text{--}1,25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), středně tvrdou ($1,26\text{--}2,50 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), tvrdou ($2,51\text{--}3,75 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) a velmi tvrdou vodu (nad $3,75 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). [4, 13]

Stupně tvrdości klasifikované na vodárenských portálech jsou uvedeny v tabulce 2.2. Opět se jedná o sumární koncentraci Ca a Mg.

Tab. 2.2 Stupně tvrdości vody [12]

Kategorie vody	$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$
velmi měkká	< 0.70
měkká	$0.70\text{--}1.30$
středně tvrdá	$1.30\text{--}2.10$
dosti tvrdá	$2.10\text{--}3.20$
tvrdá	$3.20\text{--}5.30$
velmi tvrdá	> 5.30

2.1.3 Dělení tvrdości

Ve starší literatuře se můžeme setkat s dělením tvrdości podle obsahu kationtů a k nim přidělených aniontů. Chybně se tak rozlišovala chloridová, dusičnanová nebo síranová tvrdość. V dnešní době se v odborných textech upouští také od rozdělování tvrdości na přechodnou a stálou nebo uhličitanovou a neuhličitanovou. [1]

Uhličitanová tvrdość odpovídá poloviční koncentraci hydrogenuhličitanů, protože 1 mmol HCO_3^- váže přibližně $0,5 \text{ mmol}$ vápníku nebo hořčíku. Hydrogenuhličitanu jsou látky při běžných podmínkách ve vodě dobře rozpustné. Při vysoké teplotě však klesne koncentrace CO_2 , naruší se vápenato-uhličitanová rovnováha a dojde k vysrážení uhličitanu vápenatého ve formě vodního kamene na stěnách. Proto je tato tvrdość označována také jako přechodná. [4, 14, 21]

Neuhličitanovou tvrdość způsobují kationty vápníku a hořčíku navázané například na sírany, chloridy, dusičnany nebo křemičitany. Tato tvrdość se v závislosti na změně tlaku a teploty nemění, proto je nazývána jako stálá. [14]

2.2 VÝSKYT VÁPŇÍKU A HOŘČÍKU VE VODÁCH

Obecně by se dalo říct, že v podzemních vodách je koncentrace látek způsobujících tvrdość výrazně vyšší. Existují však i povrchové zdroje bohaté na obsah takových látek. [8]

Přítomnost vápníku a hořčíku v přírodních vodách je důsledek rozkladu hořečnatých a vápenatých hlinitokřemičitanů (anortit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, chlorit $\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, aj.) a rozpouštění různých minerálů, jako například vápence (CaCO_3), dolomitu ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), magnezitu (MgCO_3) nebo sádrovce ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). [1]

Vápník nebo hořčík je do vody přidáván i uměle. Pro neutralizaci kyselin z průmyslu se do odpadních vod přidává vápno, vápenec, dolomit nebo magnezit. Odkyselování při úpravě podzemních vod se provádí přidáním hydroxidu vápenatého nebo filtrací přes vápenec či magnezit. [1]

Ve vodách málo nebo středně mineralizovaných se vápník objevuje převážně ve formě jednoduchých iontů Ca^{2+} , obdobně hořčík jako Mg^{2+} . Ve vodách s vyšší koncentrací hydrogenuhličitanů a síranů vznikají iontové asociáty, např. $[\text{CaHCO}_3]^+$ nebo $[\text{CaOH}]^+$. V silně alkalickém prostředí se objevují hydrokomplexy $[\text{CaOH}]^+$ a $[\text{MgOH}]^+$. [1]

V dešťových vodách, u kterých ještě nedošlo ke znečištění, koncentrace hořčíku a vápníku obvykle nepřekročí hodnotu $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Ve vodách prostých podzemních a povrchových se množství vápníku pohybuje řádově v rozmezí desítek až několika stovek $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, obsah hořčíku bývá běžně od jednotek po několik desítek $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Vlivem omezené rozpustnosti některých minerálů koncentrace vápníku obvykle nepřekročí $1000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ani v minerálních vodách. [1]

Hořčík je oproti vápníku ve vodách zastoupen v podstatně menší míře. V přírodních podzemních vodách se jeho koncentrace pohybuje od $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ po $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Horní hranice je ovšem dosažena velice zřídka. [8]

Podle některých studií je podobně jako absolutní obsah Ca a Mg důležitý i jejich vzájemný poměr ve vodě či stravě. V prostých podzemních a povrchových vodách se poměr hmotnostních koncentrací Ca ku Mg pohybuje okolo 4, někdy se ale může blížit i k 10. Vzhledem k tomu, že se vzrůstajícím obsahem vápníku klesá vstřebávání hořčíku, je za optimum považován poměr $\text{Ca} : \text{Mg} = 2 : 1$. [1, 4]

2.3 TVRDOST JAKO UKAZATEL JAKOSTI PITNÉ VODY

2.3.1 Legislativní požadavky

Pitná voda je podle zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů, brána jako „veškerá voda v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda, která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů, které svým určením přicházejí do styku s potravinami nebo lidským tělem, a k dalším účelům lidské spotřeby, a to bez ohledu na její původ, skupenství a způsob jejího dodávání.“ Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, doplňuje, že „pitná voda musí mít takové fyzikálně-chemické vlastnosti, které nepředstavují ohrožení veřejného zdraví.“

Vyhláška č. 252/2004 Sb. zároveň předepisuje hodnoty jednotlivých ukazatelů jakosti pitné vody. Stanovení koncentrace mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů se provádí úplným nebo kráceným rozbořem. Ukazatele kráceného rozboru uvedené v příloze č. 5 výše zmíněného legislativního předpisu je možné rozšířit o ukazatele, které mohou být ovlivněny materiálem potrubí, jímž je voda vedena.

Na základě zdravotního významu jednotlivých závazných ukazatelů kvality pitné vody jsou stanoveny následující limitní hodnoty:

Nejvyšší mezní hodnota (NMH) – hodnota zdravotně závažného ukazatele jakosti pitné vody, v důsledku jejíhož překročení je vyloučeno použití vody jako pitné, neurčí-li orgán ochrany veřejného zdraví na základě zákona jinak. [2]

Mezní hodnota (MH) – hodnota ukazatele jakosti pitné vody, jejíž překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní riziko. Není-li u ukazatele uvedeno jinak, jedná se o horní hranici rozmezí přípustných hodnot. [2]

Doporučená hodnota (DH) – nezávazná hodnota stanovící minimální žádoucí koncentraci, přijatelnou koncentraci, nebo rozmezí koncentrací dané látky. [3]

Množství vápníku ve vodách, u nichž je při úpravě obsah Ca uměle snižován, musí splňovat hygienický limit, který je mezní hodnotou stanoven na $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Jedná se o hranici minima, avšak tendence by měla být taková, že pokud je to možné, snažíme se dosáhnout ze zdravotního hlediska optimálního rozmezí $40\text{--}80 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [2]

Obdobně jako pro vápník je stanovena mezní hodnota pro hořčík na $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Opět platí, že pokud to okolnosti umožňují, snažíme se koncentraci hořčíku udržet v doporučeném rozmezí $20\text{--}30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [2]

Optimum sumární koncentrace vápníku a hořčíku je v rozmezí vyhláškou doporučených hodnot $2,0\text{--}3,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. [2]

Výše uvedené hodnoty jsou stanoveny z hlediska vlivu minerálů, konkrétně vápníku a hořčíku, na lidské zdraví. Optimální hodnoty z hlediska technologického se liší a je velmi obtížné, ne-li nemožné, najít kompromis pro oba přístupy.

2.3.2 Vliv tvrdosti na senzorické vlastnosti

Díky vysokému obsahu vápníku a hořčíku mohou být senzorické vlastnosti vody zhoršené. Například na hladině čaje, kávy či jiných nápojů připravovaných z tvrdé vody se může tvořit nežádoucí povlak. [4]

Vysoká tvrdost může mít negativní vliv na chuť vody samotné, ale záleží také na obsahu ostatních minerálů, jako je třeba železo nebo mangan. Obecně hořčík ovlivňuje chuť negativně, vápník právě naopak. Chuťový práh vápníku je od $100\text{--}300 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, ale pro někoho jsou akceptovatelné i vyšší hodnoty, přibližně do $500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Chuťově nepřijatelná je voda obsahující hořčík v koncentraci nad $170 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Navíc kombinace s chloridovými nebo síranovými ionty způsobuje hořkou chuť. [4, 8]

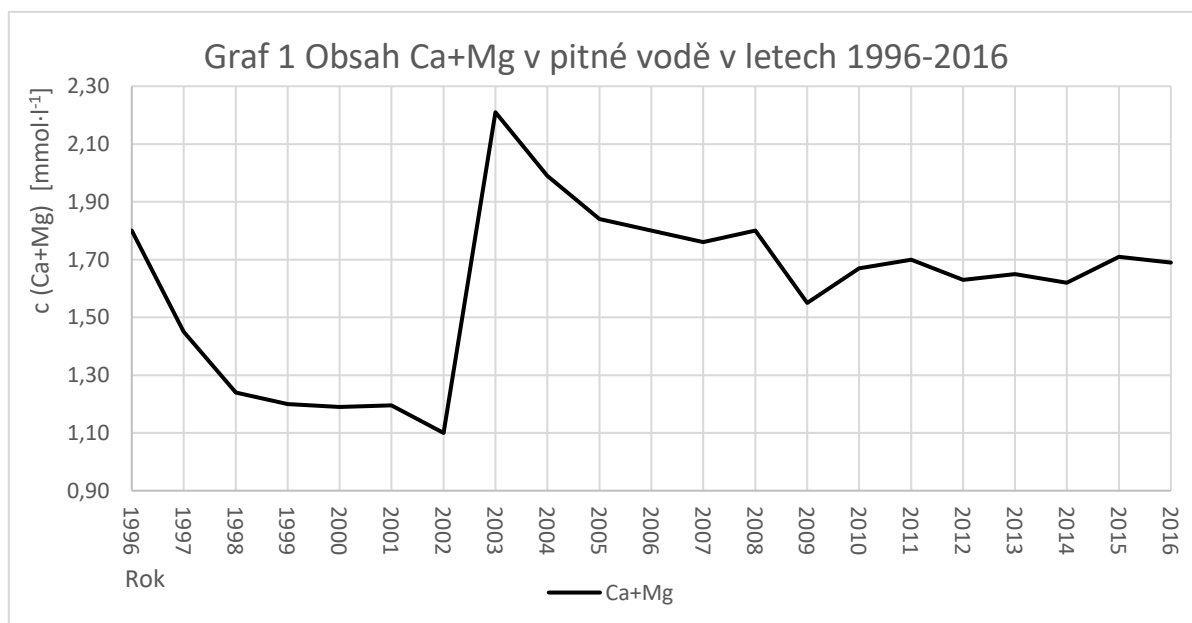
Nevyhovující z hlediska senzoričké vlastnosti je pro většinu spotřebitelů i velmi měkká voda, která se vyznačuje až mýdlovou chutí. Proto se při produkci silně demineralizované vody (například voda získaná odsolením mořské vody) uměle přidávají soli pro zlepšení chuti. [4]

Jak již bylo naznačeno v předchozích odstavcích, chuť vody je senzoričká vlastnost, jejíž hodnocení se může lišit v závislosti na konkrétním spotřebiteli. Například na základě experimentů z Japonska, které se zabývaly hodnocením chuti alkalické elektrolyzované vody běžně užívané pro pitné účely v japonských domácnostech, byla jako chuťově příjemnější hodnocena voda s koncentrací $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ Ca oproti elektrolyzované vodě s obsahem vápníku pod $9 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ nebo nad $75 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Nicméně, stejně příjemnou chuť jako elektrolyzovaná voda s obsahem Ca kolem $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ měla dle hodnocení i voda přírodní, která nebyla upravena v elektrolyzérch a obsahovala $50\text{--}80 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ vápníku. [25]

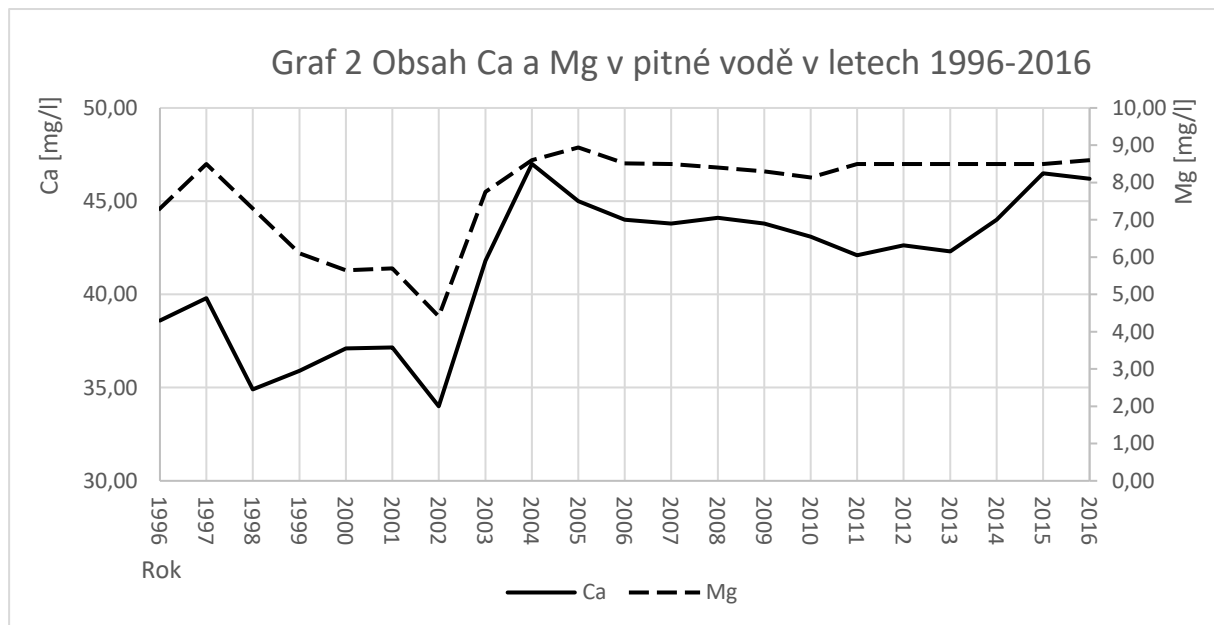
2.4 MONITORING TVRDOSTI VODY NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY V LETECH 1996–2016

Státní zdravotní ústav (SZÚ) v rámci Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí vydává za každý rok zprávu o kvalitě pitné vody. Do roku 2003 byly zprávy zpracovány na základě výsledků z 30 až 35 vybraných krajských a okresních měst. Díky změně zákona o ochraně veřejného zdraví musí být od roku 2003 všechny rozborů pitné vody provedené dle příslušného právního předpisu zaznamenány do centrální databáze, takže pro zprávy od roku 2004 jsou již k dispozici výsledky prakticky ze všech veřejných vodovodů v České republice. [6]

Graf 1 zobrazuje sumární koncentrace vápníku a hořčíku v pitné vodě od roku 1996 do 2016. Tvrdość se snižovala do roku 2002 na $1,10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, následující rok výrazně vzrostla na $2,21 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ a od té doby opět převládá klesající tendence. V současnosti se obsah látek pohybuje pod $1,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, což je pod spodní hranici vyhláškou doporučeného rozmezí.



Graf 2 popisuje stejné časové období, tedy roky 1996–2016, ale znázorněné koncentrace vápníku a hořčíku byly stanoveny pro každý prvek samostatně. Z grafu je patrné, že obsah vápníku v pitné vodě během deseti let kolísal výrazněji než obsah hořčíku, který je od roku 2005 téměř konstantně na hodnotě 8,5 mg·l⁻¹. V současnosti se koncentrace vápníku v pitné vodě pohybuje kolem 46,2 mg·l⁻¹.



Hodnoty v grafu 1 i v grafu 2 jsou hodnoty mediánů koncentrací příslušných ukazatelů. Jako zdroj dat byly použity zprávy o kvalitě pitné vody, které vydává za každý rok SZÚ.

3 VÁPŇÍK A HOŘČÍK ZE ZDRAVOTNÍHO HLEDISKA

Vápník a hořčík patří mezi důležité biogenní prvky, které mají přímý či nepřímý zdravotní význam. Nedostatečný příjem těchto látek může mít negativní dopad na lidské zdraví obdobně jako vystavení organismu nadlimitnímu množství toxických látek. [5]

3.1 DOPORUČENÝ DENNÍ PŘÍJEM

Oba minerály, vápník i hořčík, patří mezi biogenní prvky a mají tedy nezanedbatelný vliv na lidské zdraví. Hlavní zdroj představuje strava, avšak dostupné materiály ukazují, že díky stravovacím návykům obyvatel ve většině zemí je denní příjem minerálů z jídla nedostatečný. Dlouhodobý deficit může následně způsobovat zdravotní problémy, proto byly na národní i mezinárodní úrovni na základě doporučeného denního příjmu stanoveny hodnoty minima, které musí být dodržovány. [9]

V České republice je vyhláškou č. 225/2008 Sb., kterou se stanoví požadavky na doplňky stravy a na obohacování potravin, určená doporučená denní dávka (DDD) 800 mg vápníku a 375 mg hořčíku. Nejvyšší přípustné množství, které ještě není zdravotně závadné, je 2500 mg vápníku a 400 mg hořčíku.

Lékařský institut USA (IOM – United States Institute of Medicine) popisuje referenční příjem vitamínů a minerálů čtyřmi hodnotami:

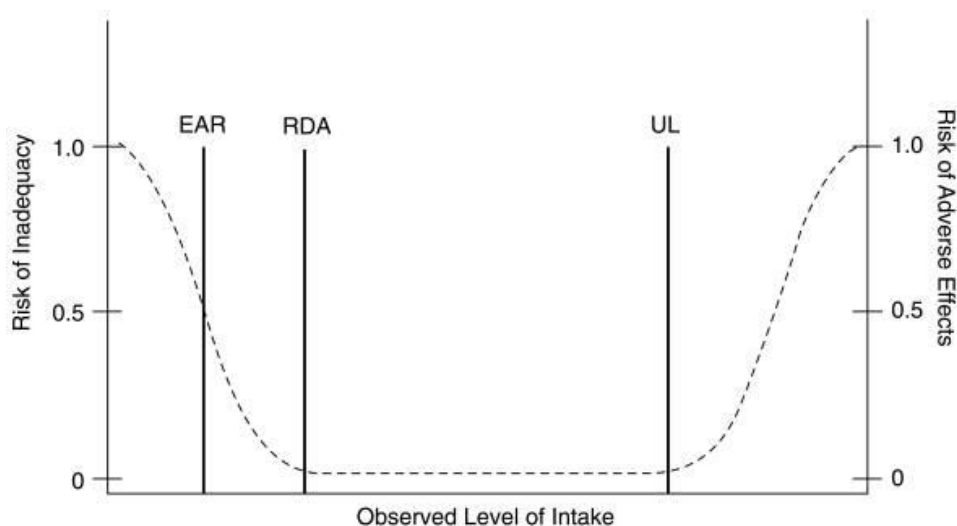
EAR (Estimated Average Requirement) – množství adekvátní pro 50 % jedinců dané věkové skupiny nebo pohlaví;

RDA (Recommended Dietary Allowance) – průměrné množství, které vyhovuje požadavkům na denní příjem 97–98 % jedinců z dané věkové skupiny;

AI (Adequate Intake) – adekvátní denní příjem zdravých jedinců bez ohledu na věkovou skupinu nebo pohlaví, hodnota se používá, pokud není dostatek dat pro určení hodnot předchozích;

UL (Tolerable Upper Intake Level) – maximální množství, které není závadné ani při dlouhodobějším příjmu. [9]

Z obrázku č. 3.1 je patrné, že při množství definovaném hodnotou EAR hrozí riziko nedostatku u 50 % osob v dané věkové skupině. Oproti tomu u RDA je riziko podstatně nižší, jedná se o pouhé 2–3 %. Riziko nedostatku mezi RDA a UL je blízké 0. Pokud roste množství obsažených minerálů nad úroveň UL, roste i riziko nežádoucích účinků. [11]



Obr. 3.1 Hodnoty popisující referenční příjem dle IOM [11]

Referenční denní příjem se liší v závislosti na věku, pohlaví nebo etapě mateřství, ale zároveň záleží i na konkrétním jednotlivci, protože skutečná potřeba minerálů je u každého člověka individuální. Hodnoty stanovené pro jednotlivé kategorie uvádí tabulka č. 3.1. Referenční denní příjem Ca a Mg dle IOM.

Tab. 3.1 Referenční denní příjem Ca a Mg dle IOM [9]

Skupina	Ca (mg·d ⁻¹)	Mg (mg·d ⁻¹)		
	AI	AI	EAR	RDA
0-6 měsíců	210	30		
7-12 měsíců	270	75		
1-3 roky	500		65	80
4-8 let	800		110	130
9-13 let	1300		200	240
14-18 let	1300		340/300*	410/360*
19-50 let	1000		330/255*	400/310*
> 50 let	1200		350/265*	400/310*
těhotenství				
< 18 let	1300		335	400
19-30 let	1000		290	350
31-50 let	1000		300	360
kojení				
< 18 let	1300		300	360
19-30 let	1000		255	310
31-50 let	1000		265	320

*M/Ž

3.2 VÝZNAM A VYUŽITELNOST VÁPNIKU A HOŘČÍKU OBSAŽENÝCH V PITNÉ VODĚ

Díky stravovacím návykům obyvatel ve většině zemí je běžné, že množství přijatého vápníku a hořčíku v potravě je pod hranicí doporučeného denního příjmu. I přes to, že se koncentrace látek obsažených ve vodě mění v závislosti na zdroji, mají minerály přijaté z pitné vody nezanedbatelný význam. Průměrný denní příjem hořčíku z pitné vody se pohybuje v rozmezí 2,3–52,1 mg v závislosti na tvrdosti vody v dané oblasti. [8]

V dnešní době je mezi laickou veřejností rozšířen názor, že lidský organismus neumí minerály přijaté z pitné vody nijak využít a že je jimi pouze „zanášen“. Jedná se o informace podporované a rozšiřované firmami, které vyrábí demineralizovanou vodu, i přes to, že nejsou potvrzené jedinou studií. Naopak existují studie, které dokazují, že příjem minerálů z vody je stejně dobrý nebo dokonce lepší než z mléčných produktů. [4]

Couzyho studie z roku 1995 porovnává vstřebatelnost vápníku z mléka a vody. Experiment, kdy ženy ve věku 21–36 let pily po dobu několika dnů vodu bohatou na vápník nebo mléko, ukázal, že vstřebatelnost vápníku z vody je stejná jako z mléka. [8]

Podle meta-analýzy dostupných dat z období 1966–1998, kterou provedli H. Böhmer a H. Müller v roce 2000, je vstřebatelnost vápníku z mineralizované vody dokonce větší než z mléčných výrobků. [4]

Výsledkem Sabatierovy studie z roku 2002 za účasti deseti žen, které pily vodu s obsahem $110 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ hořčíku, bylo zjištění, že dochází ke vstřebání 50 % podané dávky minerálu. Využitelnost hořčíku přítomného v tvrdé vodě potvrzuje mnoho dalších studií. Například lze uvést Rubenowitzovu studii z roku 1998 nebo Thomasovu z roku 2000. Výsledkem obou experimentů byl nižší výskyt či nižší intenzita migrén ve sledované skupině pacientů, jimž byla podávána voda bohatá na hořčík. [4]

Vstřebatelnost vápníku z pitné vody je přibližně stejná jako z potravy a pohybuje se okolo 30 % z přijatého množství. Využitelnost hořčíku z potravy dosahuje stejně jako u vápníku 30–35 %, z vody se však vstřebá přibližně 40–60 %. Vyšší podíl je způsoben volnou iontovou formou ve vodě obsažených minerálů. [4, 8]

Při vaření potravin v měkké vodě může dojít k výrazným ztrátám minerálních látek, naopak při přípravě v tvrdé vodě jsou ztráty minimální, u vápníku může dokonce dojít k obohacení vařené potraviny. [4]

3.2.1 Fyziologický význam vápníku

Celkový obsah vápníku v lidském těle se pohybuje kolem 1200 g, z toho 99 % se nachází v kostech a zubech. Vápník je nezbytný pro svalové kontrakce (včetně srdeční), přenos nitrobuněčných informací či srážení krve. Podle francouzské případové studie z roku 1994 byl výskyt neurologických poruch ve stáří v oblastech s obsahem $\text{Ca} > 0,75 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ o 20 % nižší než v oblastech s koncentrací $\text{Ca} < 0,75 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Meta-analýza zahrnující přibližně 40 tisíc osob

prokázala obrácený vztah mezi koncentrací vápníku v potravě a hypertenzí. Podle epidemiologické studie z Taiwanu vápník obsažený v pitné vodě snižuje riziko předčasného porodu. [4, 8]

Dalším pozitivním projevem ve vodě (i v potravě) obsaženého vápníku je jeho antitoxický účinek. S toxickými prvky (Cd, Pb, ...) tvoří nevstřebatelné sloučeniny a do určité míry zabrání prostupu toxinů ze střeva do krve. V menší míře má obdobný účinek i hořčík. [4]

Nedostatečný příjem vápníku může zvyšovat riziko osteoporózy (řídnutí kostní dřeně), tvorby ledvinových kamenů, některých typů rakoviny, ischemické srdeční choroby, snížení reakce na inzulin a obezity. [8]

Při nadbytečném příjmu vápníku dojde u zdravých jedinců k vyloučení přebytku v ledvinách. Přebytečný vápník může negativně ovlivnit vstřebávání ostatních látek (železo, zinek, hořčík aj.) ve střevech, proto je doporučeno nepřekračovat hranici maximálního přípustného množství ($2500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). [8]

3.2.2 Fyziologický význam hořčíku

Hořčík je důležitý prvek jako kofaktor pro více než 300 enzymatických reakcí včetně glykolýzy, metabolismu ATP, transportu prvků (Ca, Na, K, ...) přes membrány, syntézy proteinů a nukleových kyselin, svalových kontrakcí a dalších. Celkový obsah v těle dosahuje přibližně 25 g Mg, 60 % z toho se nachází v kostech. [4, 8]

Nedostatek minerálu zvyšuje riziko různých patologických stavů, jako jsou například cévní spasmus, hypertenze, srdeční arytmie, arterioskleróza či akutní infarkt myokardu. Deficit může být příčinou snížené citlivosti na inzulin. [4, 8]

Přebytečný obsah hořčíku v těle může způsobovat hypermagnezémii. Nemoc způsobí buďto opravdu silné dávky hořčíku nebo nedostatečná vylučovací funkce ledvin. Zvýšený příjem minerálu se také může projevit projímavými účinky. Příčinou nadbytečného příjmu minerálu jsou často doplňky stravy, nikoli pitná voda. [8]

3.2.3 Nepříznivé zdravotní účinky tvrdé vody

Neexistuje žádný přímý důkaz, že by zvýšená tvrdost nepříznivě ovlivňovala lidské zdraví. Pouze kombinace hořčíku řádově ve stovkách $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ zároveň s vyšším obsahem síranů může výjimečně způsobit průjmová onemocnění. U vod vysoce mineralizovaných byly pozorovány nepříznivé účinky, ale podle obsahu minerálních látek se už jednalo o vody minerální, nikoli pitné. [4]

Vody s koncentrací Ca a Mg vyšší než $5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ mohou podpořit vznik cholelitiázy, urolitiázy, artrózy a dalších. Diskutuje se i o zvyšování rizika vzniku atopického ekzému u dětí ve školním věku. Zde se však jedná o účinek tvrdé vody při vnější aplikaci, nikoli při užívání. [4]

4 TVRDOŚT VODY Z TECHNICKÉHO HLEDISKA

Velmi tvrdá voda není žádoucí kvůli možné inkrustaci minerálů v potrubí, což vede ke zkrácení jeho životnosti. Navíc snižuje rozpustnost mýdla nebo pracích prostředků a tím zvyšuje jejich spotřebu. Na druhou stranu ani velmi měkká voda není ideální, protože působí agresivně na povrch materiálu a způsobuje jeho korozi. [4]

4.1 VÁPENATO-UHLIČITANOVÁ ROVNOVÁHA

Vápenato-uhličitanovou rovnováhu lze popsat jako stav, kdy přidáním CaCO_3 do vodného roztoku nedojde ke změně koncentrace žádné z látek, které se na rovnováze podílí. [21]

Uhličitan vápenatý jako složka maltovin, cementů nebo v přírodní formě jako vápenec je za běžných podmínek ve vodě velmi málo rozpustný. Disociaci CaCO_3 ve vodě při teplotě $25\text{ }^\circ\text{C}$ popisuje rovnice 4.1.

$$c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) = K_s = 10^{-8,35} \quad (4.1)$$

Pokud je však přítomen volný oxid uhličitý (CO_2), který s vodou tvoří kyselinu uhličitou (H_2CO_3), dochází k reakci podle rovnice 4.2 za vzniku hydrogenuhličitanu vápenatého. Hydrogenuhličitan je oproti uhličitanu ve vodě velmi dobře rozpustný.



Kyselina uhličitá je v závislosti na pH ve vodě disociována ve dvou stupních:

$$c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCO}_3^-) = K_1 \cdot c(\text{H}_2\text{CO}_3) \quad (4.3)$$

$$c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCO}_3^{2-}) = K_2 \cdot c(\text{HCO}_3^-) \quad (4.4)$$

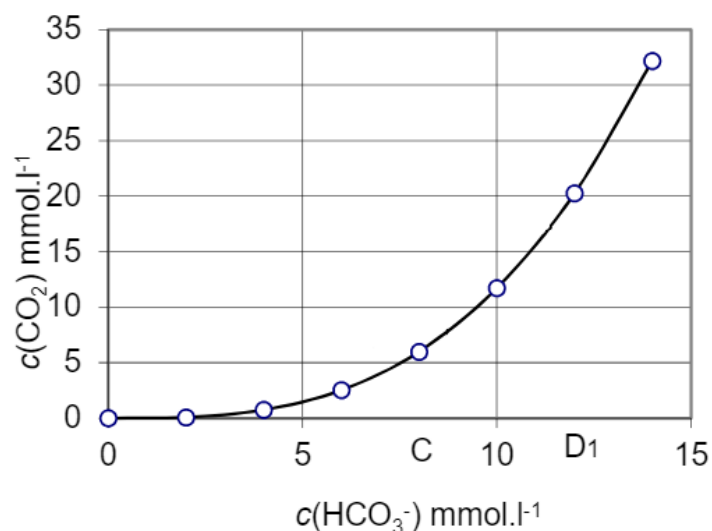
Hodnoty disociačních konstant při teplotě $25\text{ }^\circ\text{C}$ jsou $K_1 = 10^{-6,35}$ a $K_2 = 10^{-10,33}$.

Při kontaktu vody s obsahem H_2CO_3 a vápence (rovnice 4.2) dochází k vytvoření rovnovážného stavu ve smyslu rovnic 4.1, 4.3 a 4.4. Vyloučením $c(\text{HCO}_3^{2-})$ a $c(\text{H}^+)$ získáme vztah 4.5.

$$c(\text{CO}_2) = c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 10^{4,37} \cdot c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{HCO}_3^-)^2 \quad (4.5)$$

Rovnice 4.5 vyjadřuje vliv koncentrace volného CO_2 ve vodě na přeměnu nerozpustného uhličitanu na rozpustný hydrogenuhličitan.

Křivka vápenato-uhličitanové rovnováhy (viz obr. 4.1) tedy vyjadřuje vyvážený stav mezi hydrogenuhličitanem na jedné straně rovnice a vodou, oxidem uhličitým a uhličitanem vápenatým na druhé straně rovnice. Voda, v níž je dosaženo této rovnováhy, nemá inkrustační ani agresivní vlastnosti. [14, 15]



Obr. 4.1 Vápenato-uhličitanová rovnováha [15]

Plocha nad křivkou vápenato-uhličitanové rovnováhy vykreslené na obrázku 4.1 znázorňuje stav, kdy je obsah CO_2 vyšší než rovnovážná koncentrace a při kontaktu CaCO_3 s vodou dochází k jeho rozpouštění podle rovnice 4.2. V takovém případě se jedná o vodu s agresivním účinkem. Působením agresivní vody na potrubí roste její tvrdość, navíc dochází ke znehodnocování materiálu korozí. [14, 15]

Plocha pod křivkou vyjadřuje nerovnovážný stav, kdy je koncentrace CO_2 nižší než rovnovážné množství a při němž dochází k vylučování CaCO_3 podle rovnice 4.2 ve směru z pravé strany na levou. Voda s takovými vlastnostmi se označuje jako inkrustující. Následkem je snižující se tvrdość a zároveň dochází k nežádoucímu zanášení potrubí. [14, 15]

4.2 INKRUSTACE V POTRUBÍ

Příčinou inkrustace v potrubí jsou vápenaté a hořečnaté soli obsažené ve vodě. V závislosti na dalších faktorech, jako jsou pH nebo alkalita, vytváří usazeniny voda s tvrdością vyšší než $200 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (ekvivalent CaCO_3). Avšak více než sumární koncentrace látek způsobujících tvrdość nás zajímá množství samotného vápníku, který je z hlediska tvorby usazenin rozhodující. [1, 4]

Přítomnost hydrogenuhlíčanů tvoří problém hlavně u vody, kde dochází ke snížení obsahu oxidu uhličitého (CO_2). Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.3, zvyšování teploty způsobuje snižování koncentrace CO_2 , hydrogenuhlíčitany se mění na uhličity a dochází k jejich vysrážení ve formě vrstvy vodního kamene na stěně potrubí, varných nádob či bojlerů. Díky tomu dochází k tvorbě inkrustů a vzniku problémů v technickém odvětví, například usazeniny na stěnách snižují účinnost tepelných výměníků. [4, 8]

Z technologického hlediska je žádoucí, aby bylo ve vodě dosaženo stavu rovnovážného nebo mírně inkrustujícího. Určité množství solí ve vodě je potřebné pro vznik ochranné vrstvy v potrubí. Minimální potřebná koncentrace je $0,35 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$ a $0,7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ HCO}_3^-$.

Požadovaného stavu je možné dosáhnout různými metodami stabilizace vody, například přidáním uhličitanových a vápenatých iontů nebo odstraněním přebytečného agresivního oxidu uhličitého. [14]

4.3 KOROZE V POTRUBÍ

Korozivní působení vody na potrubí představuje důležitý faktor z hlediska hodnocení kvality vody. Pokud ve vodním prostředí není ustavena rovnováha popsána v kapitole 4.1, hrozí korozivní působení na povrch potrubí. [21]

Koroze je častou příčinou problémů řešených v distribučních systémech. Se stupněm narušení materiálu vzrůstá drsnost potrubí a hydraulické tření, což se následně projeví vyššími náklady spojenými s čerpáním dopravované vody. Neefektivní jsou i úniky, které zapříčiňují ztráty vody a tlaku. [24]

Další problém koroze představují vzniklé produkty, které se akumulují v distribučním systému. Jednak dochází k nežádoucímu zanášení potrubí a jednak sedimentované částice slouží jako štít bakteriím a snižují tak účinek desinfekčních prostředků. Přítomné bakterie následně působí zhoršení kvality vody, především chuťových a pachových vlastností. Nežádoucí projevy představují také vznik slizu na povrchu potrubí a biogenní koroze. [24]

4.3.1 Koroze betonu

Při koncentraci CO_2 vyšší, než je rovnovážná hodnota, reaguje přebytečný oxid uhličitý s CaCO_3 za vzniku hydrogenuhlíčanů, které jsou ve vodě velmi dobře rozpustné. Díky tomu dochází k vyplavování CaCO_3 z betonu, tím se narušuje povrch potrubí a dochází k degradaci materiálu. [15]

Při zvýšené koncentraci hořčíku ve vodě tento prvek nahrazuje vápník obsažený v křemičitanech a hlinitokřemičitanech vápenatých přítomných v betonu. Dochází k reakci s hydroxidem vápenatým ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) za vzniku hydroxidu hořečnatého ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) a uvolnění Ca^{2+} . Vápenaté ionty jsou takto z betonu vyluhovány a jejich místo zaujímají ionty hořčíku. Hořečnaté ionty mají však oproti iontům vápníku menší poloměr, proto dochází ke snížení pevnosti betonu. [21]

4.3.2 Koroze kovů

Nestabilizovaná měkká voda působí agresivně na kovový povrch potrubí. Jednak se narušováním materiálu vlivem koroze snižuje jeho životnost a jednak dochází k uvolňování těžkých kovů (měď, kadmium, zinek olovo aj.) do vody. Přítomnost těžkých kovů, hlavně olova a kadmia, je spojená se zvýšeným zdravotním rizikem. Zinek, měď a železo jsou příčinou zabarvených skvrn na zařízení a zároveň mohou negativně ovlivňovat chuť dopravované vody. [8, 24]

5 ÚPRAVA TVRDOSTI PITNÉ VODY

Velmi tvrdá voda rozhodně není žádoucí, avšak ze zdravotního hlediska není vyhovující ani voda měkká. Proto by se mělo s koncentrací minerálů obsažených ve vodě nakládat s rozvahou. Pokud ovšem koncentrace vápníku a hořčíku přesahuje hranici maximálního přípustného limitu, nebo množství látek nevyhovuje z hlediska technických požadavků, je třeba jejich koncentraci snížit. Takový proces se nazývá změkčování. Pokud je koncentrace vápníku a hořčíku nižší, než požadujeme, je třeba opačného procesu, který se označuje jako ztvrzování.

5.1 ZTVRZOVÁNÍ

Ztvrzování neboli stabilizace se týká ve většině případů vod z povrchových zdrojů, protože se jedná o vody měkké s nízkou koncentrací oxidu uhličitého. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, měkká voda působí agresivně na trubní materiál, především na ocel a beton, a způsobuje jeho korozi. Navíc měkká voda nevyhovuje ani z hlediska organoleptického ukazatele – chuti. Při procesu ztvrzování je třeba upravovanou pitnou vodu obohatit o ionty Ca^{2+} a HCO_3^- a zároveň zvýšit koncentraci přímým nebo nepřímým přidáním CO_2 . [16]

5.1.1 Metoda přímého ztvrzování

Do upravované vody je společně s oxidem uhličitým přidáván oxid vápenatý (CaO), který může být buď ve formě vápenného mléka nebo vápenné vody. Reakce je popsána rovnicí 5.1.



Voda je obohacována o CO_2 pomocí jemnobublinného injektoru, který je umístěn v bočním proudu. Ve stejném proudu později dochází k mísení vody s vápenným mlékem či vápennou vodou. Vzniklá směs je homogenizována ve satorovém mísiči a následně přivedena zpět do hlavního proudu. [16]

Při stabilizaci vody prováděné dávkováním vápna a oxidu uhličitého je třeba pro zvýšení koncentrace HCO_3^- o $1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ přidat 44 mg CO_2 a 56 mg CaO resp. 74 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$. [17]

5.1.2 Metoda nepřímého ztvrzování

Nepřímá metoda je založena na reakci CaCO_3 s kyselinou sírovou (H_2SO_4) podle rovnice 5.2.



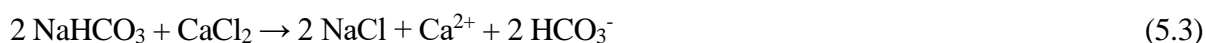
Následuje proces odkyselení uvolněného CO_2 , který reaguje s přidáním CaO podle rovnice 5.1. I zde může být oxid vápenatý přimícháván buď ve formě vápenného mléka, nebo vápenné vody. [16]

Douprava se provádí tak, že se smísí jemně namletý vápenec s kyselinou sírovou a vodou v rychlomísiči s dobou zdržení okolo 2–3 minut. Následně se nechá ve vločkovací nádrži s dobou sdržení 30 minut vyvločkovat síran vápenatý (CaSO_4). Do vody odtékající

z vločkovací nádrže je dávkován hydroxid vápenatý ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ve formě vápenné vody, který reakcí s volným CO_2 vytvoří hydrogenuhličitan vápenatý ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). [16]

5.1.3 Další metody zvyšování tvrdosti

Z dalších metod lze uvést přidání CO_2 a následnou filtraci upravované vody přes bazický materiál. U této metody je potřeba oxidu uhličitého nižší, voda jím nesmí být přesycována. Zvýšení tvrdosti je možné i přimísením hydrogenuhličitanu sodného či solí vápníku. Obvykle je volen hydrogenuhličitan sodný (NaHCO_3), chlorid vápenatý (CaCl_2) nebo síran vápenatý (CaSO_4). Ke zvýšení obsahu vápníku o $1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ je nutné přidat 111 mg CaCl_2 nebo 136 mg CaSO_4 . Probíhající děj popisuje rovnice 5.3. [17, 20]



Předchozí text popisuje metody ztvrdování vody založené na navýšení koncentrace vápníku. Vlastnosti vody však více než celková koncentrace vápníku a hořčíku ovlivňuje vzájemný poměr těchto látek. Zároveň může být v některých případech žádoucí zvýšení tvrdosti přidáním Mg z důvodu velmi nízké koncentrace CO_2 , což znesnadňuje ztvrdování dávkováním CaCO_3 . [1]

Ztvrdování pitné vody je možné provádět přidávkem hořečnatých solí. Může se jednat například o chlorid hořečnatý (Mg_2Cl) nebo síran hořečnatý (MgSO_4). Chemikálie se na trhu vyskytují pod různými obchodními názvy (chlorid hořečnatý hexahydrát technický, síran hořečnatý sedmivodý, síran hořečnatý technický heptahydrát aj.). Zvyšování tvrdosti dávkováním hořečnatých solí je potvrzeno použitím v praxi (kapitola 7.2). [18]

5.2 ZMĚKČOVÁNÍ

Vysoká tvrdost je příčinou řady technických problémů. Kromě zanášení potrubí a usazování na stěnách kotlů v podobě vodního kamene snižuje účinnost teplotních výměníků. Nežádoucí je také v některých odvětvích průmyslu, například v textilním, koželužském nebo potravinářském. [20]

K úpravě koncentrace vápníku a hořčíku přítomných ve vodě lze využít některý z mnoha existujících způsobů. Některé metody množství minerálů sniží, jiné je dokáží odstranit úplně.

U technologických vod používaných například v teplárnách se provádí dekarbonizace za účelem částečného odstranění vápníku a hořčíku z vody. Jedná se o odstranění těchto látek navázaných v hydrogenuhličitanových sloučeninách, které jsou příčinou inkrustace v potrubí rozvádějícím teplou vodu. Dekarbonizace může být provedena termicky, srážením hydroxidem, nebo působením kyseliny. [20]

Úplného odstranění vápníku a hořčíku z vody lze dosáhnout chemickým srážením za vzniku málo rozpustných sloučenin. Použití srážedla v závislosti na formě odstraňovaných látek uvádí tabulka 5.1. Nežádoucí minerály lze také odstranit ve formě komplexů, pomocí iontové výměny nebo membránovými procesy. [20]

Tab. 5.1 Použití srážedel v závislosti na formě vápníku a hořčíku ve vodě

Srážedlo	Forma Ca ²⁺ a Mg ²⁺
Ca(OH) ₂	převážně uhličitanová
Ca(OH) ₂ a Na ₂ CO ₃	uhličitanová a neuhličitanová
NaOH a Na ₂ CO ₃	uhličitanová a neuhličitanová
NaOH	převážně uhličitanová
Na ₂ CO ₃	převážně neuhličitanová
Na ₃ PO ₄	uhličitanová a neuhličitanová

5.2.1 Termická dekarbonizace

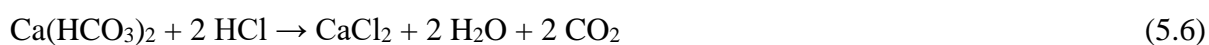
Termická dekarbonizace je vhodné řešení pro úpravu vod obsahujících vysoké koncentrace vápníku a hořčíku v podobě hydrogenuhličitanů. Provádí se zahřátím upravované vody na bod varu. Následkem tohoto procesu dochází k rozkladu hydrogenuhličitanu na uhličitan a oxid uhličitý podle rovnic 5.4 a 5.5. [20]



Uhličitan hořečnatý (MgCO₃) je ve vodě rozpustná sloučenina, která se však při dalším varu přemění na málo rozpustný hydroxid hořečnatý Mg(OH)₂. Pokud by bylo třeba odstranit hořčík z vody úplně, upravovaná voda by musela být alkalizovaná na pH > 10. [20]

5.2.2 Dekarbonizace kyselinou

Při této metodě dekarbonizace se hydrogenuhličitanové sloučeniny vystaví působení silné minerální kyseliny, například může být použita kyselina sírová (H₂SO₄) nebo kyselina chlorovodíková (HCl). Rozklad hydrogenuhličitanu vápenatého (Ca(HCO₃)₂) popisují rovnice 5.6 a 5.7. Obdobně dochází k rozkladu i u hydrogenuhličitanu hořečnatého (Mg(HCO₃)₂). Množství dávkované kyseliny se volí tak, aby byla zbytková koncentrace HCO₃⁻ < 1 mmol·l⁻¹.

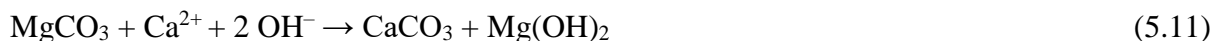
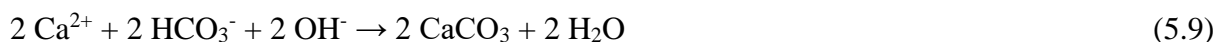


U této metody je však třeba počítat s vyššími provozními náklady, nutnou kontrolou a obsluhou dávkovacího zařízení. Další nevýhodou představuje možný vysoký zbytkový obsah solí. Přítomné chloridy vápníku a hořčíku zvyšují nebezpečí koroze. [20]

5.2.3 Dekarbonizace srážením vápnem

Srážení vápnem je finančně nejméně nákladná metoda, která se používá při úpravě vody pro chladicí okruhy, nebo tam, kde je třeba odstranit z vody především hydrogenuhličitan vápenatý. Přídavkem vápna se zároveň dosáhne snížení koncentrace CO₂. Zbytková koncentrace vápníku

ve vodě se pohybuje kolem $0,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Probíhající procesy jsou popsány rovnicemi 5.8, 5.9 pro vápenaté sloučeniny a rovnicemi 5.10 a 5.11 pro hořečnaté sloučeniny. [20]



Při určování potřebné dávky je třeba zohlednit čistotu vápna. Většinou se jedná o navýšení stanoveného množství o 10–20 %. Karbonizaci ovlivňuje i teplota. S rostoucí teplotou klesá rozpustnost vznikajících sraženin a proces je účinnější. [20]

5.2.4 Iontová výměna

Iontová výměna je metoda uplatňující se v různých technických odvětvích. V technologii vody se používá nejen pro odstranění vápníku, hořčíku nebo hydrogenuhličitanů z vody, ale také třeba pro deionizaci, demineralizaci, desilikaci, odstraňování dusičnanů, organických látek a dalších. [20]

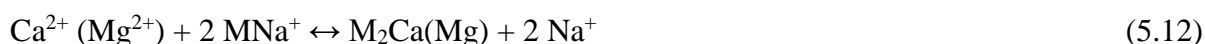
Ionexy, neboli měniče iontů, jsou vysokomolekulární látky, které na svém povrchu nesou disociovatelné funkční skupiny. Při disociaci těchto skupin dochází k uvolňování opačně nabitých protiiontů, které jsou následně vázány ke zbytku funkční skupiny slabými silami opačných elektrických nábojů. Za vhodných podmínek jsou protiionty vyměnitelné za jiné ionty, které se vyskytují ve vodném roztoku společně s ionexy. [21]

Ionexy mohou mít přírodní i syntetický původ. Jako příklad přírodních látek lze uvést zeolity (podvojně křemičitaný hlinitosodný s obecným složením $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot x \text{SiO}_2 \cdot y \text{H}_2\text{O}$). Mezi syntetické ionexy se řadí kondenzační nebo polymerační produkty fenolů, aminů, styrenů aj. [20]

Látky se rozdělují na katexy, které vyměňují kationty, protože jejich funkční skupiny mají záporný náboj, a anexy, které vyměňují anionty a jejich skupiny mají kladný náboj. Existují silně kyselé katexy, slabě kyselé katexy, silně zásadité anexy a slabě zásadité anexy. [20, 21]

Pro dekarbonizaci vody se jako náplň kolony používá katex v H^+ cyklu, který je schopen zachycovat ionty a uvolňovat odpovídající anionty až dokud pH upravované vody neklesne na hodnotu 5 až 6. Za těchto podmínek dochází k uvolňování iontů HCO_3^- . Kationty vázané na anionty silných kyselin (například dusičnany, sírany, chloridy aj.) se nevymění. [20]

Pro odstranění vápníku a hořčíku z vody se používají silně kyselé katexy Na^+ cyklu, které tvoří náplň ionexových kolon. Výměnu schematicky popisuje rovnice 5.12.



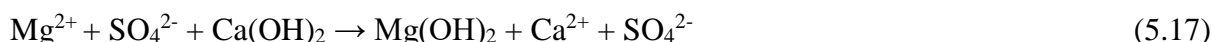
Ve směru zleva doprava probíhá výměna, ve směru zprava doleva probíhá regenerace. Náplň v koloně se regeneruje 1–2 hodiny 3x denně. Zbytková koncentrace v upravované vodě je pod hranicí $0,015 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. [20]

Pokud je obsah vápníku a hořčíku v upravované vodě velmi vysoký, provádí se před katexovou kolonou také dekarbonizace chemickým srážením vápnem. [20]

Iontová výměna představuje velmi účinnou technologii, která není extrémně náročná na provoz. Limitující je však problematická likvidace regeneračních roztoků, které obsahují velké množství solí. [22]

5.2.5 Srážení vápnem a sodou

Výhodou této metody je její univerzálnost. Hydroxid vápenatý ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) z upravované vody odstraní uhličitánové formy kationtů vápníku a hořčíku a neuhličitánové formy kationtů hořčíku ve smyslu následujících rovnic: [20]



Neuhličitánové formy obou kationtů jsou vysráženy uhličitánem sodným (Na_2CO_3). Srážecí proces je popsán rovnicemi 5.18 a 5.19. [20]



Stejně jako u dekarbonizace vápnem se i zde musí počítat s vlivem čistoty použitého vápna. Stanovená dávka se proto zvyšuje o 5–10 %. [20]

Průběh a účinnost reakcí ovlivňuje teplota. Zbytkové koncentrace v závislosti na rozdílných parametrech provozu jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Tab. 5.2 Parametry provozu – srážení vápnem a sodou [21]

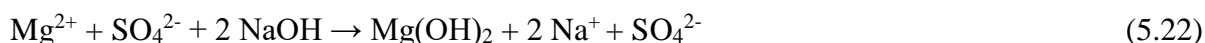
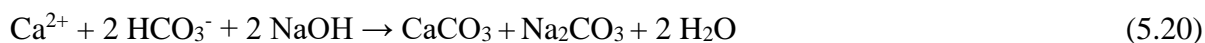
parametry provozu	jednotka	za horka (80 °C)	za chladu
reakční doba	h	1–2	3–6
zbytková konc. Ca+Mg	mmol·l ⁻¹	0.15–0.25	0.5

5.2.6 Srážení hydroxidem sodným a sodou

Metoda srážení hydroxidem sodným a sodou je vhodná pro úpravu vody, která obsahuje vysokou koncentraci vápníku a hořčíku a kde je převládajícím minerálem hořčík. Možné je užití

také ve vodách, kde jsou kationty vápníku a hořčíku navázány na anionty silných minerálních kyselin (H_2SO_4 , HCl). [20]

Hydroxid vápenatý je v této metodě nahrazen hydroxidem sodným. Díky tomu vzniká kromě sraženin CaCO_3 a $\text{Mg}(\text{OH})_2$ také uhličitan sodný (Na_2CO_3), který reaguje s neuhličitanovými složkami tvrdosti. Celý proces srážení popisují následující rovnice:



V porovnání s dávkováním hydroxidu vápenatého vzniká při této metodě méně kalu. Na druhou stranu se jedná o finančně náročnější způsob. [20]

5.2.7 Srážení fosforečnany

Srážení dávkováním fosforečnanů patří mezi neúčinnější metody. K úpravě vody se používá $\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$ (hexametafosfát) nebo $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Volba fosforečnanu závisí na chemickém složení vody. Vznikající fosforečnan vápenatý ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) a fosforečnan hořečnatý ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$) jsou látky ve vodě velmi málo rozpustné. Disociační konstanta dosahuje při teplotě 25 °C hodnot $K_s = 1 \cdot 10^{-25}$ pro fosforečnan vápenatý a $K_s = 1,68 \cdot 10^{-24}$ pro fosforečnan hořečnatý. Srážecí proces popisují rovnice 5.25 a 5.26.



Reakční doba potřebná pro účinné srážení se při teplotě kolem 80 °C pohybuje v rozmezí od 10 do 30 minut. Běžná dávka $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ na odstranění 1 $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ vápenatých a hořečnatých kationtů je 250–300 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Zbytková koncentrace vápníku a hořčíku dosahuje při teplotě 20 °C hodnoty přibližně 0,1 $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. [20]

Tab. 5.3 Parametry provozu – srážení fosforečnany [21]

parametry provozu	jednotka	za horka (80 °C)	za chladu
zbytková konc. Ca+Mg	$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$	0.03	0.1

Hlavní výhodou této metody je, že přidáním jedné sloučeniny z vody odstraníme všechny rozpuštěné formy vápníku a hořčíku včetně některých dalších látek. Vzniklá sraženina je snadno separovatelná a upravená voda nemá sklon způsobovat korozi. Kvůli ceně je však tato metoda většinou kombinovaná s metodou srážení vápnem a sodou. [20]

5.2.8 Odstranění Ca a Mg ve formě komplexů

Ve vodě s obsahem disociovaných iontů kovů můžeme vytvořit nedisociované komplexy neboli cheláty působením organických komplexotvorných činidel. Příklad takových látek představují Syntrony s označením A, B, C, D. Pro úpravu vody je nejvhodnější Syntron B. Jedná se o čtyřsodnou sůl kyseliny ethylendiaminotetraoctové (Na_4EDTA). [20]

Výhodou použití chelátů je jednoduchost a obsluha dávkování. Navíc takto upravená voda nevytváří sraženiny a není tedy potřeba je nějakým způsobem odstraňovat. Při stanovování potřebné dávky se vychází z předpokladu, že na 1 mol Syntronu B se váže 1 mol Ca^{2+} a Mg^{2+} . [20]

5.2.9 Membránové procesy

Membránové procesy zahrnují mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu. Metody využívají separační schopnosti semipermeabilních membrán zachycovat částice určitých velikostí, které jsou ve vodě přítomny. Obvykle se rozlišují membrány symetrické, asymetrické a kompozitní. [20, 23]

Membrány mohou být vytvořeny z přírodních (acetátová celulóza) nebo syntetických materiálů (polyamid). V současnosti lze použít i membrány keramické na bázi Al_2O_3 nebo ZrO_2 . Jejich výhodou je mechanická, chemická, tepelná a mikrobiologická stálost a snadná regenerace. Nevýhodou představuje náročná příprava, značná hmotnost a poměrně vysoká cena. [23]

Mikrofiltrace (MF) je proces, pomocí kterého lze z vody odstranit heterogenní částice o velikosti 0,1–10 μm . [22]

Pomocí *ultrafiltrace (UF)* při tlaku v rozmezí 0,1–0,6 MPa lze separovat částice, jejichž velikost se pohybuje mezi 0,005–0,1 μm . Ve většině případů se jedná o organické látky s molekulovou hmotností 10^3 – 10^6 , bakterie a viry. Ultrafiltrace může nahradit klasickou desinfekci chlorem. [23]

Nanofiltrace (NF) při tlaku 0,5–0,7 MPa z upravované vody odstraní organické látky, jejichž molekulová hmotnost je v rozmezí 500–1000. Obsah bivalentních iontů (Ca^{2+} , Mg^{2+}) klesá o 85–95 %. [23]

Reverzní osmóza (RO) umožňuje při tlacích vyšších než 5 MPa z vody odstranit rozpuštěné soli i organické látky, jejichž částice jsou menší než 0,001 μm . [23]

V tabulce 5.4 je uveden přehled membránových procesů a jejich dosažitelný stupeň separace pro jednotlivé látky či organismy. Ionty vápníku a hořčíku lze tedy částečně odstranit nanofiltrací a zcela odseparovat reverzní osmózou. Takto upravenou vodu však nelze kvůli téměř nulovému obsahu minerálů použít pro pitné účely.

Tab. 5.4 Látky odstraňované z vody membránovými procesy [23]

Odstraňované látky / Membránový proces	MF	UF	NF	RO
Suspendované látky	C	C	C	C
Prvoci	C	C	C	C
Bakterie	C	C	C	C
Viry	P	C	C	C
Železo, mangan	D	D	C	C
Huminové látky	-	P	C	C
CHSK	-	-	P	C
Syntetické org. Látky - pesticidy	-	-	P	C
Vápník + hořčík	-	-	P	C
Dusičnany	-	-	-	C
Amoniak	-	-	-	C

Pozn.: C – kompletní odstranění, D – v závislosti na chemické formě, P – částečné odstranění

6 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ REŠERŠE

Termín „tvrdost vody“ popisuje jeden z ukazatelů jakosti pitné vody. Jedná se o celkovou koncentraci kovů alkalických zemin a jejich sloučenin, přičemž nejvýznamnější zástupce představují prvky vápník a hořčík. Sumární koncentrace těchto látek může být vyjádřena v různých jednotkách v závislosti na konkrétní literatuře. U nás je celková koncentrace Ca a Mg vyjadřována nejčastěji v $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, v zahraničních zdrojích se můžeme často setkat s vyjádřením tvrdosti v $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ jako ekvivalent CaCO_3 . [4, 5]

Na základě celkové koncentrace vápníku a hořčíku můžeme vodu označit jako velmi měkkou (do $0,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), měkkou ($0,7\text{--}1,25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), středně tvrdou ($1,26\text{--}2,50 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), tvrdou ($2,51\text{--}3,75 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) nebo velmi tvrdou (nad $3,75 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Hraniční hodnoty jednotlivých kategorií jsou orientační a opět se mohou v závislosti na literárním zdroji mírně lišit. [5, 13]

Na základě rešerše je možné říct, že pitná voda z podzemního zdroje je tvrdá, naopak voda z povrchového zdroje je spíše měkká. Existují však i výjimky. Podzemní zdroje jsou ovlivněny především geologickými vlastnostmi prostředí a množstvím rozpuštěného CO_2 . Povrchové vody mohou být významně ovlivněny průmyslem v dané oblasti. Nejvýznamnější podíl na přítomnosti vápníku a hořčíku v přírodních vodách představuje rozpouštění minerálů (vápenec, dolomit, magnezit aj.) a dalších sloučenin obsahujících tyto prvky. Jako příklad antropogenního původu Ca a Mg ve vodě lze uvést používání vápna pro neutralizaci kyselin v průmyslu. [1, 8]

Vyšší tvrdost se projevuje zhoršením sensorických vlastností, tvorbou nežádoucích inkrustů v potrubí a zanášením spotřebičů, jako jsou varné konvice nebo bojler. Usazeniny vznikají ve vodě s tvrdostí přesahující hodnotu $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (odpovídající $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), přičemž rozhodující je obsah vápníku. [1, 4]

Na druhou stranu tvrdší voda představuje významný zdroj některých biogenních prvků, mezi které se řadí právě i vápník a hořčík. Vzhledem ke stravovacím návykům většiny populace příjem těchto minerálů v potravě zdaleka nedosahuje hodnoty doporučeného denního příjmu a konzumace tvrdé pitné vody alespoň částečně kompenzuje deficit Ca a Mg. [9]

Dlouhodobě nedostatečný příjem biogenních látek může mít negativní dopad na lidské zdraví obdobně jako vystavení organismu nadlimitnímu množství látek toxických. Z tohoto důvodu jsou na základě doporučeného denního příjmu vyhláškou č. 252/2004 Sb. stanoveny minimální přípustné koncentrace těchto minerálů v pitné vodě, ve které je obsah látek uměle snižován, na $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pro vápník a na $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pro hořčík. Dále legislativa udává doporučené rozmezí $40\text{--}80 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pro Ca, $20\text{--}30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pro Mg a $2,0\text{--}3,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ pro sumární koncentraci Ca a Mg. [5]

Vstřebatelnost vápníku z pitné vody, obdobně jako z potravy, se pohybuje kolem 30 % z celkového přijatého množství. Podíl využitého hořčíku z pitné vody dosahuje až 60 %, což je téměř dvojnásobek přijatého množství ze stravy. [8]

Velmi měkká voda není kromě zdravotního hlediska žádoucí ani z hlediska technického. Nízká koncentrace látek způsobujících tvrdost je příčinou agresivního působení vody, jehož

následkem je koroze potrubí distribučního systému. S narušením materiálu se zvyšuje drsnost povrchu a dochází k navýšení nákladů spojených s dopravou vody. Dále dochází k únikům, které jsou příčinou ztráty vody a tlaku. Problém představují i produkty koroze, které jednak zanáší potrubí a jednak slouží jako štít bakteriím, čímž je snižován účinek desinfekčních prostředků. [21, 24]

Z rešerše vyplývá, že extrémně tvrdá voda rozhodně není žádoucí, avšak ani měkká voda není ze zdravotního hlediska vyhovující. V případě potřeby je možné uměle regulovat množství vápníku, hořčíku, případně dalších látek, které mají na tvrdost vliv. Pokud dochází ke zvýšení jejich koncentrace, jedná se o proces ztvrzování, v opačném případě hovoříme o změkčování.

Zvýšení koncentrace Ca lze dosáhnout jednak přímou metodou ztvrzování, kdy je do upravované vody jemnobublinným injektorem dávkován oxid uhličitý a následně přidán oxid vápenatý ve formě vápenné vody či vápenného mléka, a jednak nepřímou metodou ztvrzování, jejíž základem je reakce uhličitánu vápenatého s kyselinou sírovou a následná reakce uvolněného oxidu uhličitého s nadávkovaným vápnem. Tvrdost může být zvýšena také filtrací vody přes bazický materiál v podobě hydrogenuhličitánu sodného, chloridu vápenatého nebo síranu vápenatého. [16, 17]

Kromě jednotlivých prvků má vliv na vlastnosti vody i poměr vápníku a hořčíku, proto je v některých případech žádoucí zvýšení koncentrace Mg. Pro ztvrzování se používají hořečnaté soli, jako příklad lze uvést síran hořečnatý nebo chlorid hořečnatý. [18]

Volba metody pro změkčení vody závisí na formě, v níž jsou látky způsobující tvrdost přítomny. Pokud se jedná o vápník a hořčík převážně v podobě hydrogenuhličitánů, lze pro úpravu vody využít termickou dekarbonizaci. Jedná se o způsob úpravy, při kterém je voda zahřáta na bod varu. Následkem toho dojde k rozkladu hydrogenuhličitánu na nerozpustný uhličitán a uvolněný oxid uhličitý. Při delším varu lze snížit i koncentraci hořčíku. [20]

Pro odstranění hydrogenuhličitánů lze využít také dekarbonizaci kyselinou nebo srážením vápnem. Při kyselinové dekarbonizaci jsou hydrogenuhličitánové sloučeniny vystaveny působení minerální kyseliny (H_2SO_4 , HCl). Nevýhodou jsou vyšší provozní náklady, požadavky na obsluhu, kontrolu a bezpečnost dávkovacího zařízení a dále také vyšší koncentrace zbytkových solí, které mohou způsobovat korozi. Dekarbonizace srážením vápnem je finančně nejméně náročná metoda. Při stanovení potřebné dávky je však třeba zohlednit čistotu vápna. [20]

Mezi další metody změkčování vody se řadí srážení vápnem a sodou. Výhodou metody je její univerzálnost. Dochází ke snížení koncentrací karbonátových i nekarbonátových sloučenin. Obdobně jako při dekarbonizaci je i zde třeba zohlednit čistotu použitého vápna, proto se výpočtem stanovena dávka navyšuje o 5-10 %. Pokud v pitné vodě převažuje hořčík, nahrazuje se vápno hydroxidem sodným. Výhodou této metody je nižší produkce kalu, na druhou stranu se jedná o finančně nákladnější variantu. [20]

Mezi efektivní způsoby změkčování patří také srážení fosforečnany. Jedná se o jednu z nejefektivnějších metod, při které lze dávkováním fosforečnanů dosáhnout zbytkové koncentrace Ca a Mg $0,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Metoda je však finančně náročná. [20]

Částečného a úplného odstranění minerálů z vody lze dosáhnout membránovými procesy, konkrétně nanofiltrací a reversní osmózou. Takto demineralizovaná voda však už není pro svůj nízký obsah minerálů vhodná pro pitné účely. [23]

7 KONKRÉTNÍ SPOTŘEBIŠTĚ

V následující části práce jsou popsána dvě spotřebišť. V prvním případě se jedná o obec Mokrá–Horákov, kde je dodávaná pitná voda tvrdá. Kapitola obsahuje popis lokality včetně postoje obyvatel k vlastnostem pitné vody a návrhu způsobu snížení tvrdosti. Ve druhém případě jde o popis polského spotřebišť Jestrzębie–Zdrój, které je zde uvedeno jako příklad spotřebišť, ve kterém bylo třeba řešit naopak ztvrdování pitné vody.

7.1 MOKRÁ–HORÁKOV

Mokrá–Horákov je obec s 2 768 obyvateli, která se rozkládá v Jihomoravském kraji jako část okresu Brno–venkov. Území o velikosti 12,16 km² tvoří součást Dražanské vrchoviny a zasahuje do chráněné krajinné oblasti Moravský kras. Průměrná nadmořská výška se pohybuje kolem 330 m n. m.



Obr. 7.1 Poloha obce Mokrá–Horákov

Lokalitu pitnou vodou zásobuje skupinový vodovod Pozořice, který provozuje Vodárenská akciová společnost a. s., divize Brno–venkov. Veškeré informace popisující SV Pozořice v následující kapitole jsou převzaty z hygienické přílohy provozního řádu pro provoz skupinového vodovodu Pozořice z roku 2015.

7.1.1 Skupinový vodovod Pozořice

Skupinový vodovod Pozořice zásobuje pitnou vodou kromě obce Mokrá–Horákov také Pozořice, Sivice, Tvarožná, Viničné Šumice, Ochoz, Jířkovice a Kovalovice. Zdrojem pitné vody pro uvedená spotřebišť je podzemní voda ze studny v katastrální části Mokrá (v obci

Mokrá–Horákov) a vrty v oblasti Říčky. Celkový počet obyvatel zásobovaných SV Pozořice je uvedený v tabulce 7.1. Uvedená data jsou aktualizována k 31. 12. 2017.

Tab. 7.1 Aktualizovaný počet zásobovaných obyvatel k 31. 12. 2017

Oblast vodovodního zdroje	Spotřebišť	Počet obyvatel	Počet zásob. obyvatel	Voda k realizaci (m ³ .d ⁻¹)
Mokrá, Říčky	Mokrá-Horákov	2768	2662	350
	Pozořice	2257	2050	170
	Sivice	1089	1019	59
	Tvarožná	1279	1015	58
	Viničné Šumice	1340	1157	158
	Koválovice	635	435	30
	Ochoz	1382	693	58
	Jířkovice	909	887	113
	Celkem	11659	9918	996

Ze zmíněných podzemních zdrojů je zásobováno celkem 9918 obyvatel vodovodní sítí dosahující celkové délky 76 533 m. Na území SV Pozořice se nachází několik klíčových objektů pro zásobování pitnou vodou. Jedná se o mateřské školy v obcích Jířkovice, Ochoz, Pozořice, základní školy v obcích Pozořice a Mokrá a také o výrobu cukroví v Tvarožné. Situace vodovodního systému SV Pozořice je v příloze této práce. [30]

Vodní zdroj Mokrá

Jedná se o studnu v obci, která je původním zdrojem pitné vody pro obecní vodovod. Zájmové území se nachází v okrajové části Moravského krasu, nemá však negativní dopad na množství a kvalitu podzemní vody.

Okolí zdroje je svažitě, upravené jako park a oplocené pro zamezení vstupu nepovolaným osobám. Studna, čerpací stanice a jejich okolí prošlo v letech 2002-2003 rekonstrukcí provedenou provozovatelem vodovodu.

Změnu povolení k odběru vody vydal rozhodnutím Městský úřad Šlapanice Svazku obcí pro kanalizace a vodovody Říčky dne 15. 6. 2012. Maximální povolené množství odběru je 7,0 l·s⁻¹. Průměrně odebírané množství vody ze zdroje je 4,5 l·s⁻¹.

Vývoj jakosti a množství podzemní vody je v současnosti stabilní, okolní zástavba nemá negativní vliv, je však třeba sledovat rozvoj obce, způsob likvidace odpadních vod a odpadů a v rámci obecné ochrany vod sledovat vznik bodových zdrojů ohrožení. [30]

Vodní zdroj Mokrá–Říčky II

Vodní zdroj Mokrá–Říčky II představují vrty HV 201 a HV 107, které se nachází na levém břehu toku Říčky. Zájmové území leží na okraji Moravského krasu, projevuje se zde tedy i krasová propustnost horninového prostředí a nelze přesně vymezit infiltrační oblast zdroje.

Okolí je převážně zalesněné, částečně i zatravněné. Vzhledem k tomu, že je oblast turisticky navštěvovaná, nachází se zde několik objektů souvisejících s tímto využitím. Jedná se především o restaurace, ubytování a objekty individuální rekreace.

Změnu povolení k odběru vody vydal rozhodnutím Městský úřad Šlapanice Svazku obcí pro vodovody a kanalizace Šlapanicko dne 15. 6. 2012. Maximální povolené množství odběru je $7,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

V 90. letech byla v původně využívaných hlubinných vrtech V2 a V2a umístěných níže po toku Říčky (Mokrá – Říčky I) zjištěna přítomnost trichlorethenu a tetrachlorethenu. Ve zdroji Mokrá – Říčky II stopy látek zjištěny nebyly. Protože se ale jedná o okraj krasové oblasti, je v tomto případě zásadním prvkem prevence monitoring a jeho vyhodnocování. Jedním z monitorovaných objektů je i povrchová voda v toku Říčky. [30]

Vodní zdroj Mokrá–Říčky I

Jedná se o hlubinné vrty V2 a V2a (hluboké kolem 340 m) v blízkosti Bělkova mlýna na břehu toku Říčky. Kvůli zjištění přítomnosti trichlorethenu a tetrachlorethenu v devadesátých letech byly vrty mimo provoz. V roce 2005 proběhla rekonstrukce čerpací stanice Říčky, při níž byla do ČS umístěna stripovací kolonie pro snižování koncentrace trichlorethenu a tetrachlorethenu na limit stanovený vyhláškou č. 252/2004 Sb. v platném znění ($10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

Změnu povolení k odběru vody vydal rozhodnutím Městský úřad Šlapanice Svazku obcí pro vodovody a kanalizace Šlapanicko dne 5. 3. 2008. Maximální povolené množství odběru je $15,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

V roce 2015 byl v toto jímacím území vybudován nový vrt HV 301 o hloubce 233 m s předpokládanou vydatností $8\text{--}9 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Povolení k odběru vody bylo vydáno Svazu obcí pro vodovody a kanalizace Šlapanicko rozhodnutím Městského úřadu Šlapanice dne 7. 7. 2015. Maximální povolené množství odběru je $9,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. [30]

Složení surové vody

Složení surové vody odpovídá požadavkům stanoveným vyhláškou MZd. č. 252/2004 Sb. v platném znění.

Mokrá

- Mangan se pohybuje v rozmezí $< 0,001\text{--}0,006 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- Obsah železa nepřesáhne $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- **Vápník a hořčík je v rozmezí $2,84\text{--}4,43 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.**
- pH vody je v rozmezí $6,8\text{--}7,6$.

Mokrá–Říčky II, vrt 107, vrt 201

- Mangan se pohybuje v rozmezí $< 0,001–0,006 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- Obsah železa nepřesáhne $0,06 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- **Vápník a hořčík je v rozmezí $3,84–4,64 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.**
- pH vody je v rozmezí $6,7–7,4$.

Mokrá–Říčky I, vrt V2, V2a

- Mangan se pohybuje v rozmezí $< 0,020–0,050 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- Obsah železa se pohybuje v rozmezí $0,002–0,24 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- **Vápník a hořčík je v rozmezí $4,70–4,80 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.**
- pH vody je v rozmezí $6,7–7,4$.

Mokrá–Říčky I, vrt HV 301

- Mangan se pohybuje pod mezí stanovitelnosti $< 0,020 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- Obsah železa se pohybuje pod mezí stanovitelnosti $< 0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- **Vápník a hořčík je v rozmezí $4,50–5,00 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.**
- pH vody je v rozmezí $6,9–7,1$.

Z uvedených hodnot koncentrace vápníku a hořčíku je zřejmé, že tvrdost dopravované vody SV Pozořice je značná. Příčinou je poloha jednotlivých podzemních zdrojů pitné vody, které se nachází v krasové oblasti, kde geologické podloží tvoří především vápence. [30]

Technologie úpravy vody

Surová voda z jímacího území Mokrá a Mokrá–Říčky II neprochází žádnou úpravou. Jímaná voda je pouze desinfikována dávkováním chlornanu sodného (NaClO).

Surová voda z jímacího území Mokrá–Říčky I je upravována ve stripovací nádrži umístěné na čerpací stanici Říčky. Maximální výkon nádrže je $13 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Vstupní koncentrace pro tetrachlorethen je maximálně $15 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ a pro trichlorethen maximálně $100 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$.

Tab. 7.2 Používané chemické přípravky a dávkování

Název objektu	Místo dávkování	Desinfekce	Zařízení
ČS Mokrá	sběrná studna	NaClO	PROMINENT
VDJ Mokrá	akum. nádrž	NaClO	GRUDFOS ALLDOS

Provozní kontrolu technologického zařízení pro zdravotní zabezpečení vody provádí pracovníci provozu Pozořice 3x týdně. Při kontrole je sledována funkčnost dávkovacích přístrojů, těsnost spojů, funkčnost uzavíracích armatur, nastavení parametrů dávkování chlornanu sodného.

U stripovací nádrže se provádí vizuální kontrola stavu, vizuální kontrola chodu ventilátoru a provádí se výměna granulovaného aktivního uhlí (GAU) 1x za 3 měsíce.

V akumulární nádrži na čistou vodu je prováděna vizuální kontrola kvality vody a kontrola zdravotního zabezpečení pomocí chlorkolorimetru. [30]

Kontrola jakosti vody ve vodovodní síti

Na základě vyhlášky č. 252/2004 Sb. je ročně prováděno 7 krácených a 2 úplné rozbory. Pět odběrných míst je vybíráno náhodně, čtyři místa jsou trvalá. [30]

Akumulace a vodovodní síť

Akumulární nádrže SV Pozořice jsou zhotoveny z železobetonu a jsou opatřeny nátěry, které mají atesty hlavního hygienika na styk s pitnou vodou. Stejně podmínky splňuje i materiál celé vodovodní sítě.

Celková délka vodovodní sítě dosahuje 76 533 m, z toho 15 293 m tvoří potrubí z litiny, 55 651 m potrubí z PVC a PE, 377 m potrubí z azbestocementu a 5 252 m potrubí ocelové. [30]

7.1.2 Postoj obyvatel k tvrdosti pitné vody

Pro získání informací ohledně vnímání tvrdosti vody obyvateli zásobovanými pitnou vodou ze SV Pozořice byl v jednom ze spotřebišť, konkrétně v obci Mokrá–Horákov, proveden průzkum ve formě dotazníku. Základ pro vyhodnocení představuje vyjádření dvaceti obyvatel z části obce Mokrá. Otázky pokládané během průzkumu jsou uvedeny v příloze.

Vzhledem k odpovědím na první otázku z příloženého dotazníku lze předpokládat, že lidé v Mokrě jsou obeznámeni se skutečností, že je v jejich lokalitě voda tvrdá. Z hlediska vnímání této skutečnosti lze obyvatele rozdělit do dvou skupin.

První skupinu představují lidé, kteří tvrdou vodu vůbec nevnímají jako problém. Často se jedná o spotřebitele žijící v této lokalitě, podle jejich vlastních slov, celý život nebo jeho značnou část, kteří si na vodu zvykli a projevy vysokého obsahu minerálů přijali jako její přirozenou součást.

Druhá skupina dotázaných vnímá komplikace spojené s tvrdostí jako problém, který by bylo vhodné řešit. Mezi nejčastěji zmíněné nežádoucí projevy patří usazování vodního kamene v rychlovarných konvicích a zanášení praček. I přes tyto nepříjemnosti však nikdo z dotázaných neohodnotil tvrdost jako problém na stupnici 1 až 5, kde 1 nepředstavuje problém a 5 znamená významný problém, stupněm vyšším než 3.

Určitou toleranci vysokého obsahu minerálů v pitné vodě ze strany spotřebitelů pravděpodobně podporují vyhovující organoleptické vlastnosti. Na výbornou chuť pitné vody upozorňovalo kolem 70 % dotázaných i přes to, že přímo tato otázka nebyla součástí dotazníku.

Z průzkumu také vyplynulo, že významná část obyvatel nemá představu, jakým způsobem (a pokud vůbec) lze regulovat množství vápníku a hořčíku obsaženého v pitné vodě. Zároveň

si nikdo z dotázaných přímo neuvědomuje spojitost mezi látkami způsobujícími tvrdost a jejich pozitivním vlivem na lidské zdraví.

Průzkum tedy potvrdil, že spotřebitelé vnímají nežádoucí projevy tvrdosti hlavně skrze usazování vodního kamene v rychlovarných konvicích, bojlerech, pračkách a dalších spotřebičích běžně používaných v domácnostech a že obsah minerálů způsobujících tvrdost, především vápníku, pozitivně ovlivňuje chuť pitné vody. Za další přínos lze považovat poznatek, že spotřebitelé nemají ve většině případech povědomí o žádném z pozitivních vlivů látek způsobujících tvrdost pitné vody.

7.1.3 Možné způsoby snížení tvrdosti

Skupinový vodovod Pozořice zásobuje spotřebiště pitnou vodou, která vzhledem k sumární koncentraci vápníku a hořčíku dosahující téměř $5,0 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ spadá do kategorie tvrdá (až velmi tvrdá) voda. Navzdory očekávání nepředstavuje tato skutečnost pro obyvatele dotčených obcí až tak významný problém. Negativně je tvrdost vnímána hlavně kvůli zanášení praček a bojlerů vodním kamenem, i tak je však dodávaná pitná voda velice kladně hodnocena pro svoje sensorické vlastnosti, především chuť. Plošné odstraňování vápníku a hořčíku z pitné vody jeví jako neefektivní a zbytečné také proto, že právě tyto prvky představují minerály potřebné pro správné prospívání organismu.

Možné řešení problému představuje douprava vody přímo u spotřebitele. V současnosti je na trhu dostupné velké množství zařízení na změkčení pitné vody. Tato zařízení fungují buď na principu fyzikálním, nebo chemickém. V prvním případě úpravou nedochází ke změně chemického složení vody, mění se pouze některé vlastnosti. Jedná se hlavně o magnetickou či elektromagnetickou úpravu vody. Tyto technologie se však nedoporučují pro úpravu vody určené pro pitné účely. Ve druhém případě se jedná o technologie založené na principu iontové výměny, při nichž dochází ke změně chemického složení vody. [26]

Pro úpravu vody přímo u spotřebitele lze využít změkčovací zařízení navržená na menší průtoky, která jsou určena pro jednotlivé spotřebiče. Technologie umožňuje eliminovat nežádoucí usazování vodního kamene ve spotřebičích, ale zároveň spotřebitele neochuzuje o zdraví prospěšné minerály, které konzumací pitné vody přijímá.

Změkčovací zařízení – KOWA spol. s.r.o.

Firma KOWA spol. s.r.o. nabízí změkčovací zařízení určená pro změkčování vody v domácnostech v několika výkonových řadách. Jedná se o BS 10, BS MIKRO, BS SILVER, BS GOLD, BS ECO, BS MAXI. [27]

Principem technologie je zachycování iontů Ca a Mg na speciální filtrační náplni, kterou tvoří iontoměničová pryskyřice, a jejich náhrada sodíkovými ionty. Regenerace náplně probíhá přímo ve změkčovači pomocí roztoku NaCl (solanky). Regenerace probíhá automaticky buď po dosažení určitého objemu vody, nebo po uplynutí určitého časového úseku. Obsluha spočívá pouze v občasné dosypání regenerační soli. [27]

Změkčovací zařízení BS 10 a BS MIKRO představují alternativu k vodárenským způsobům úpravy vody, kde je také využíván princip iontové výměny, akorát ve větším měřítku.

Změkčovací zařízení typ BS 10

Jedná se o kompaktní kabinetní změkčovače pro malé průtoky $0,2-0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, které jsou určeny pro ochranu jednotlivých spotřebičů (bojlery, pračky, myčky) před usazováním vodního kamene. Ovládání je poloautomatické nebo plně automatické, řízené časem nebo objemem. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce 7.3. [27]

Tab. 7.3 Technické parametry pro typ BS 10 [27]

	BS HR34	VB SVR34	VB34
Typ řídicí hlavy	RX poloautomat	SVR34 časové a objemové řízení	VB34 časové a objemové řízení
Připojení	3/4"	3/4"	3/4"
Rozměry v x š x h	670 x 360 x 200 mm		680 x 360 x 200 mm
Množství pryskyřice	5 l		
Průtok	$0.2 - 0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		

Změkčovací zařízení typ BS 10 MIKRO

Jedná se o kompaktní kabinetní změkčovače pro průtoky $0,8-1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ určené k zabudování do kuchyňské linky. Ovládání je plně automatické, řízené objemem nebo časem. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce 7.4. [27]

Tab. 7.4 Technické parametry pro typ BS 10 MIKRO [27]

	30 - VR34	50 - VR34
Typ řídicí hlavy	VR34 časové a objemové řízení	VR34 časové a objemové řízení
Připojení	3/4"	3/4"
Rozměry v x š x h	600 x 250 x 480 mm	600 x 300 x 530 mm
Množství pryskyřice	8 l	12.5 l
Průtok	$0.8 - 1.2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$1.0 - 1.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

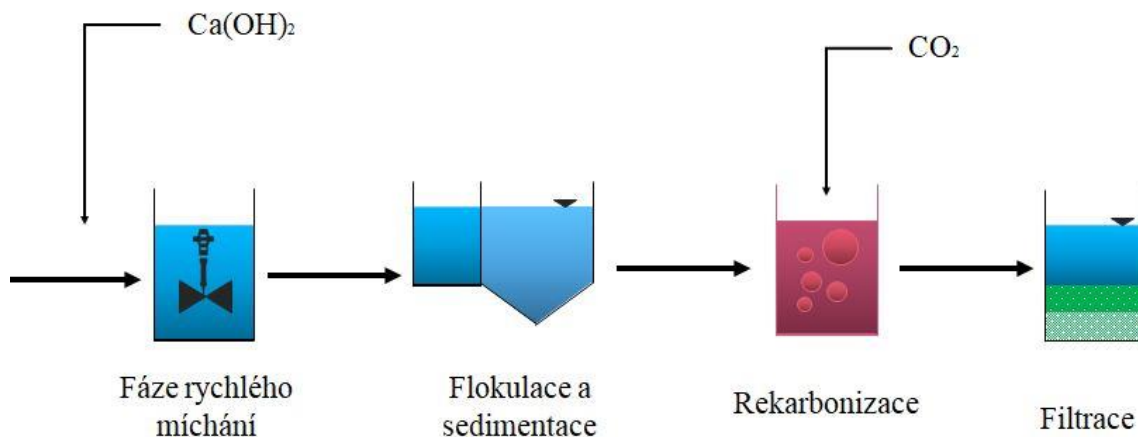


Obr. 7.2 BS 10 a BS 10 MIKRO [27]

Dekarbonizace srážením vápnem

Možné řešení regulace tvrdosti pitné vody ze strany vodárenské společnosti představuje srážení hydroxidem sodným (vápnem). Metoda je vhodná především pro snížení obsahu hydrogenuhličitanových sloučenin.

Technologie dekarbonizace se skládá z několika fází. Po nadávkování vápna přichází rychlé míchání, pak následuje flokulace a sedimentace, rekarbonizace a filtrace. Pořadí je patrné ze schématu na obrázku 7.3. [28]



Obr. 7.3 Schéma technologie srážením vápnem

Hodnota pH surové vody z vrtů v Mokré a v oblasti Řičky se pohybuje v rozmezí od 6,7 do 7,6. Po přidání vápna ve formě vápenného mléka či vápenné vody dojde k jeho zvýšení. Pro průběh srážení je rozhodující právě hodnota pH. Optimální hodnota pH pro vysrážení CaCO_3 je 10 (pro MgCO_3 až 11), při které probíhá srážení ve významu rovnic 5.7 a 5.8. U nižší hodnoty je dekarbonizace pouze částečná. Vysrážený uhličitan lze odseparovat v sedimentační nádrži. Následně je vhodné nadávkováním CO_2 snížit pH, optimálně na hodnotu kolem 8,4, aby se zabránilo srážení CaCO_3 mimo reaktor. Poslední fázi změkčení vody tvoří závěrečná filtrace. Jako filtrační materiál lze využít antracit a písek. [28]

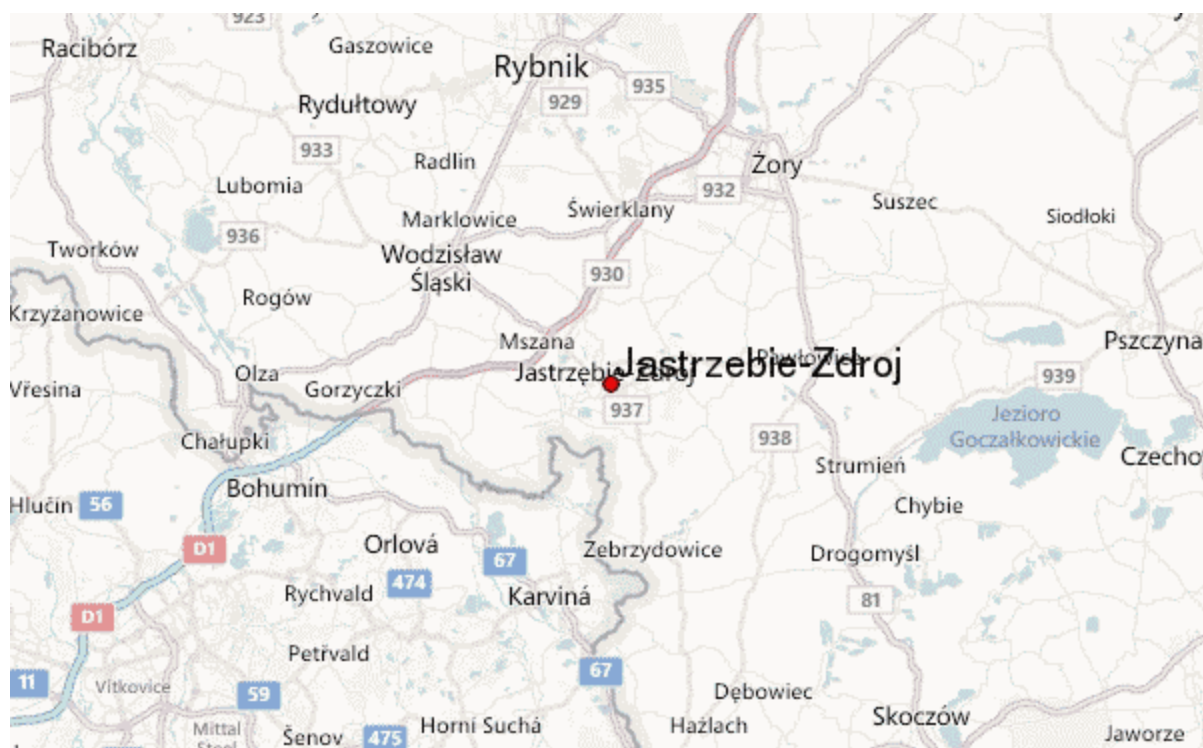
Při změkčování pitné vody je vhodné dodržet optimální rozmezí koncentrací Ca a Mg stanovené vyhláškou MZd. č. 252/2004 Sb. Při kombinaci popsané technologie s dávkováním sody pro snížení nekarbonátové tvrdosti lze dosáhnout zbytkové koncentrace až $0,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, nabízejí se tedy dvě možnosti:

První možností je, že výše popsaným způsobem dekarbonizace bude upravena veškerá voda určená pro SV Pozořice. Pokud by byla výsledná koncentrace Ca a Mg příliš nízká a nevyhovovala tak legislativně stanoveným podmínkám, lze upravit dávku vápna tak, aby pH nevzrostlo až na hodnotu 10 a dekarbonizace proběhla jen částečně.

Alternativu představuje snížení tvrdosti dávkováním vápna v kombinaci s dávkováním sody, která eliminuje tvrdost způsobenou nekarbonátovými sloučeninami vápníku a hořčíku, přičemž by tímto způsobem byla upravena voda pouze z některého zdroje. Následně by se změkčená pitná voda smíchala s vodou neupravenou a tímto způsobem by bylo dosaženo finální koncentrace vápníku a hořčíku.

7.2 JASTRZĘBIE–ZDRÓJ (POLSKO)

Jastrzębie–Zdrój je městský okres v jižní části Polska ve Slezském vojvodství přímo u hranic s Českou republikou. Na rozloze 85,44 km² žije téměř 100 000 obyvatel.



Obr. 7.4 Poloha města Jastrzębie–Zdrój [29]

Pitnou vodu do spotřebiště dodávají Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s. Jedná se o společnost, která zajišťuje dodávku pitné vody na území bývalých okresů Frýdek–Místek, Karviná, Nový Jičín a Opava. Na základě smluv distribuuje vodu také do Ostravy, Hlučína, Studénky a několika dalších obcí včetně části Olomouckého kraje a právě i příhraniční oblasti Polské republiky–Jastrzębie–Zdrój. [19]

Pitnou vodu dodává v množství kolem 100 l·s⁻¹ přivaděč s DN 500 a délkou 10 km, který vede z vodojemu Karviná na česko-polskou hranici. Na polském území pokračuje vodovodní řád dlouhý 6 km. [18]

Společnost se setkala s požadavkem polského spotřebiště na zvýšení tvrdosti dodávané vody. Rozhodnutí nepocházelo přímo od odběratele, ale souviselo s vyhláškou polského Ministerstva zdravotnictví č. 937 ze 4. září 2000, podle níž se musí sumární koncentrace hořčíku a vápníku

pohybovat v rozmezí 60–500 mg·l⁻¹ CaCO₃. Tvrdost ve vodě dodávané Ostravským oblastním vodovodem dosahovala pouze 50 mg·l⁻¹ CaCO₃. [18]

7.2.1 Výběr technologie pro úpravu pitné vody

Vzhledem k nízké přirozené koncentraci CO₂ byla vyloučena možnost zvýšení obsahu vápníku přidáním většího množství vápenatého hydrátu. Z časových a investičních důvodů nebylo vhodné ani ztvrdování zvýšením koncentrace oxidu uhličitého a následným vápněním. Možné řešení představovala dodatečná úprava vody dávkováním rozpustných vápenatých nebo hořečnatých solí, a to pouze do vody určené pro zmíněné spotřebiště. [18]

Na trhu byly v odpovídajícím množství a kvalitě k dostání chlorid vápenatý, chlorid hořečnatý a síran hořečnatý pod následujícími obchodními názvy:

- chlorid hořečnatý hexahydrát technický,
- chlorid vápenatý práškový potravinářský,
- síran hořečnatý sedmivodý,
- chlorid hořečnatý krystalický hexahydrát čistý,
- síran hořečnatý technický heptahydrát.

Uvedené chemikálie byly podrobeny testům, zda splňují požadavky vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 37/2001 Sb., která stanoví hygienické požadavky na výrobky přicházející do přímého styku a na úpravu vody. Hygienický atest nezískal pouze síran hořečnatý sedmivodý. [18]

Na základě laboratorních testů, dobré rozpustnosti a přijatelné ceny byl nakonec vybrán jako nejvhodnější chlorid hořečnatý krystalický (MgCl₂·6H₂O). Jednoduché dávkovací zařízení, které tvořily rozpouštěcí nádrže a dávkovací čerpadlo, bylo umístěno na přítok do vodojemu Karviná. Aby při poruchách nedocházelo k předávkování, čerpadlo bylo řízeno v závislosti na přítoku do vodojemu. [18]

Popsanou úpravou vody bylo dosaženo zvýšení obsahu hořčíku z průměrné hodnoty 3 mg·l⁻¹ na 4,5 mg·l⁻¹, což odpovídá navýšení o 50 %. Chlorid hořečnatý tedy zabezpečil dodržení legislativně stanoveného limitu. Vzhledem k tomu, že zvyšování tvrdosti bylo požadováno na základě vyhlášky, nikoli potřeby odběratele, limit zanikl společně se změnou polské legislativy. [18]

8 ZÁVĚR

Pojmem „tvrdost vody“ je nejčastěji označována sumární koncentrace kovů alkalických zemin, především vápníku a hořčíku. I přes to, že je pro kvalitu vody rozhodující především poměr jednotlivých prvků, nikoliv celková koncentrace, jedná se o vžitý termín, se kterým se v literatuře často setkáváme. V České republice je tvrdost nejčastěji uváděna v německých stupních nebo v $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. V anglicky psané literatuře převládá ekvivalent CaCO_3 v $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Na základě obsahu vápníku a hořčíku lze pitnou vodu zařadit do kategorie velmi měkká, měkká, středně tvrdá, dosti tvrdá, tvrdá nebo velmi tvrdá. Vzhledem k formě, v níž jsou látky způsobující tvrdost přítomné, lze rozlišovat uhličitánovou (přechodnou) a neuhličitánovou (stálou) tvrdost. Uhličitánovou tvrdost představují hydrogenuhličitánové sloučeniny, které lze odstranit varem.

Původ vápníku a hořčíku ve vodách je buď přirozený, vlivem rozkladu minerálů v geologickém podloží (anortit, vápenec, dolomit, magnezit aj.), nebo antropogenní, kdy se může jednat například o následek průmyslové výroby. Neznečištěné dešťové vody obsahují méně než $1\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ Ca a Mg. Množství těchto minerálů v přírodních vodách se pohybuje řádově v desítkách až stovkách $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Obecně platí, že vody povrchové jsou spíše měkké a vody podzemní spíše tvrdé.

Cílem práce je diskutovat tvrdost vody. Vysoká tvrdost na jednu stranu přináší obtíže spojené se zanášením potrubí a spotřebičů v domácnostech. Následkem je zkracování životnosti potrubí a spotřebičů nebo nižší účinnost teplotních výměníků. Opravy představují finanční zátěž pro odběratele.

Na druhou stranu měkká voda způsobuje korozi materiálu, proto představuje častou příčinu problémů řešených v distribučních systémech. Narušováním povrchu potrubí se zvyšuje jeho drsnost a hydraulické tření. Výsledkem jsou vyšší náklady na čerpání dopravované vody. Problém představují i produkty vzniklé korozi, které jednak tvoří nežádoucí usazeniny a jednak snižují účinnost desinfekčních prostředků vůči bakteriím.

Zároveň patří oba minerály, vápník i hořčík, mezi biogenní prvky. Vápník představuje hlavní složku kostí a zubů a mimo jiné je nezbytný pro svalové kontrakce a přenos nitrobuněčných informací. Hořčík je nepostradatelný pro více než 300 enzymatických reakcí. Jeho nedostatek zvyšuje riziko různých patologických stavů (například hypertenze). Hlavním zdrojem pro organismus potřebných látek by měla být potrava, avšak díky stravovacím návykům je příjem těchto minerálů nedostatečný. Díky přítomnosti Ca a Mg v pitné vodě její konzumace snižuje tento deficit. Mnoho studií dokazuje, že příjem vápníku a hořčíku z vody tvoří nezanedbatelný podíl celkového příjmu.

Denní příjem by neměl dlouhodobě převyšovat 2500 mg vápníku a 400 mg hořčíku. Nadbytek může způsobit projímavé účinky či negativně ovlivňovat vstřebávání ostatních prvků. Často jsou příčinou nadlimitního příjmu Ca a Mg doplňky stravy, nikoli pitná voda.

Součástí této práce tvoří i přehled možností ztvrdování a změkčování vody. Ohledně ztvrdování je v kapitole 5.1 popsána metoda přímého a nepřímého ztvrdování nebo také metoda filtrace upravované vody přes bazický materiál. Pro možnost změkčování jsou v kapitole 5.2 uvedeny způsoby dekarbonizace (termická, kyselinou, srážením vápnem) a také iontová výměna, srážení vápnem a sodou, srážení hydroxidem sodným a sodou, srážení fosforečnany, odstraňování Ca a Mg ve formě komplexů a membránové procesy.

Na závěr je popsáno spotřebišťe Mokrá–Horákov, v němž odběratelé vnímají tvrdost jako nežádoucí jev. Tuto skutečnost potvrdil i průzkum provedený formou dotazníku. Kapitola 7.1 obsahuje kromě popisu lokality také nástin možného řešení vzniklé situace. Pro doplnění je uveden příklad spotřebišťe, kde bylo z legislativních důvodů třeba vodu naopak ztvrdovat.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 3. přepracované vydání. Praha: VŠCHT, 1999, 568 s. ISBN 8070803401.
- [2] *Vyhláška 252/2004 Sb.: kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*. In: Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2004.
- [3] *Zákon 258/2000 Sb.: o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů*. In: Praha, 2000.
- [4] KOŽÍŠEK, František. *Zdravotní význam "tvrđosti" pitné vody* [online]. 2003, [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <http://www.vak.cz/soubory/tvrđost.pdf>
- [5] KOŽÍŠEK, František. *Health signifance of drinking water calcium and magnesium* [online]. 2003 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/hardness.pdf>
- [6] *Monitoring pitné vody, SZÚ* [online]. Státní zdravotní ústav [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/monitoring-pitne-vody>
- [7] *Prevod jednotiek tvrđosti vody – Transcom Technik. Transcom Technik* [online]. © 2007-2018 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.transcom.sk/prevod-jednotiek/prevod-jednotiek-tvrđosti-vody/>
- [8] *Hardness in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality* [online]. WHO press, World Health Organization, ©2011 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/hardness.pdf
- [9] *Calcium and magnesium in drinking-water: public health significance*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, c2009. ISBN 9789241563550. Dostupné z: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43836/1/9789241563550_eng.pdf
- [10] *Vyhláška 225/2008 Sb., kterou se stanoví požadavky na doplňky stravy a na obohacování potravin*. In: Praha , 2008.
- [11] *Dietary reference intakes: for calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D, and fluoride*. Washington, D.C.: National Academy Press, c1997. ISBN 0-309-06350-7. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK109825/>
- [12] *Tvrđost vody*. In: *Vodovod.info* [online]. 2013, 20. únor 2014 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/extra/tema/248-tvrđost-vody#.Wppt8ejOXIU>
- [13] *Tvrđost vody*. In: *Pražské vodovody a kanalizace* [online]. ©2018 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/vlastnosti-vody/tvrđost-vody/>

- [14] SKÁKAL, Oldřich. *Vliv tvrdosti vody na technologie zpracování pokrmů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012, 81s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/23285>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav analýzy a chemie potravin. Vedoucí práce Pospíšil, Michal.
- [15] MALÁ, Jitka. *Chemie a technologie vody: M05 Laboratorní cvičení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015.
- [16] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství: Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia* [online]. Brno: VUT v Brně, 2006 [cit. 2018-03-06]
- [17] GRÜNWARD, Alexander. *Vodárenství*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. Technická knihnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-902460-7-9.
- [18] KYNCL, Miroslav. *Zvyšování obsahu hořčíku v pitné vodě* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://www.smv.cz/res/data/014/001649.pdf>
- [19] Kde působíme – SMVAK. *Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s.* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://www.smvak.cz/web/guest/kde-pusobime>
- [20] GRÜNWARD, Alexander. *Zdravotně inženýrské stavby 40: úprava vody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01658-7
- [21] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. 2., dopl. vyd. Brno: ARDEC, c2006. ISBN 80-86020-50-9
- [22] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Příručka provozovatele úpravny pitné vody*. Líbeznice: Medim, c2005. ISBN 80-239-4565-3
- [23] BIELA, Renata a Josef BERÁNEK. *Úprava vody a balneotechnika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2563-6
- [24] LETTERMAN, Raymond D. *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, c1999. ISBN 0070016593
- [25] KOSEKI, Masamichi, Sumiko FUJIKI, Yoshinori TANAKA, Hiroyuki NOGUCHI a Toshikazu NISHIKAWA. Effect of Water Hardness on the Taste of Alkaline Electrolyzed Water. *Journal of Food Science* [online]. 2005, **70**(4), S249-S253 [cit. 2018-03-18]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb07197.x. ISSN 00221147. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07197.x>
- [26] KOŽÍŠEK, František. *Státní zdravotnický ústav* [online]. Praha: Státní zdravotnický ústav, 2002, 2011 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/stanovisko-narodniho-referencniho-centra-nrc-pro-pitnou-vodu>
- [27] Změkčovače vody pro domácnosti. *KOWA spol. s.r.o.* [online]. 2013-2015 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.jakupravitvodu.cz/Zmekcovace-pro-domacnosti-c6_0_1.htm

-
- [28] Water Treatability Database: Precipitative Softening. *US EPA* [online]. [cit. 2018-05-15].
Dostupné z: <https://iaspub.epa.gov/tdb/pages/treatment/treatmentOverview.do?treatmentProcessId=-2062922688>
- [29] Guía Urbano de Jastrzebie-Zdrój: Jastrzebie-Zdrój Mapa de ubicación. In: *Weather-forecast.com* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://es.weather-forecast.com/locations/Jastrzebie-Zdroj>
- [30] VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST a. s. *Provozní řád pro provoz skupinového vodovodu Pozořice: Hygienická přiloha*. 2015

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

°dH	...	Stupeň německý
°eH	...	Stupeň anglický
°fH	...	Stupeň francouzský
°C	...	Stupeň Celsia
WHO	...	World Health Organization
NMH	...	Nejvyšší mezní hodnota
MH	...	Mezní hodnota
DH	...	Doporučená hodnota
SZÚ	...	Státní zdravotní ústav
DDD	...	Doporučená denní dávka
IOM	...	United States Institute of Medicine
EAR	...	Estimated Average Requirement
RDA	...	Recommended Dietary Allowance
AI	...	Adequate Intake
UL	...	Tolerable Upper Intake Level
ISO	...	International standards organization
DIN	...	Deutsche indutrie norm
K _s	...	Disociační konsanta
pH	...	Záporný dekadický logaritmus koncentrace H ⁺ iontů
MF	...	Mikrofiltrace
UF	...	Ultrafiltrace
NF	...	Nanofiltrace
RO	...	Reversní osmóza
SV	...	Skupinový vodovod
MZd.	...	Ministerstvo zdravotnictví
ČS	...	Čerpací stanice
VDJ	...	Vodojem
GAU	...	Granulované aktivní uhlí
PVC	...	Polyvinylchlorid
PE	...	Polyethylen

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Převody některých jednotek tvrdosti [7].....	4
Tab. 2.2 Stupně tvrdosti vody [12].....	5
Tab. 3.1 Referenční denní příjem Ca a Mg dle IOM [9].....	11
Tab. 5.1 Použití srážedel v závislosti na formě vápníku a hořčíku ve vodě	19
Tab. 5.2 Parametry provozu – srážení vápnem a sodou [21]	21
Tab. 5.3 Parametry provozu – srážení fosforečnanu [21]	22
Tab. 5.4 Látky odstraňované z vody membránovými procesy [23].....	24
Tab. 7.1 Aktualizovaný počet zásobovaných obyvatel k 31. 12. 2017.....	29
Tab. 7.2 Používané chemické přípravky a dávkování.....	31
Tab. 7.3 Technické parametry pro typ BS 10 [27].....	34
Tab. 7.4 Technické parametry pro typ BS 10 MIKRO [27]	34

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1	Hodnoty popisující referenční příjem dle IOM [11]	11
Obr. 4.1	Vápenato-uhličitanová rovnováha [15].....	15
Obr. 7.1	Poloha obce Mokrá–Horákov	28
Obr. 7.2	BS 10 a BS 10 MIKRO [27]	34
Obr. 7.3	Schéma technologie srážení vápnem	35
Obr. 7.4	Poloha města Jastrzębie–Zdrój [29].....	36

SUMMARY

In the first part of the bachelor thesis a water hardness is described. To be precise, the first chapter establishes and works with the definition of water hardness, a total concentration of calcium and magnesium. Information about units of hardness, categories of hardness and types of hardness are included. It also contains data about a presence of calcium and magnesium in natural water and assessment of hardness as an indicator of drinking water quality. At the end of this chapter figures detailing water hardness between years 1996–2016 in the Czech Republic are added.

Next part deals with the presence of calcium and magnesium in drinking water and with its significance for our health, physiological significance of calcium and magnesium, as well as their adverse health effects included.

The following chapter describes the hardness of water from a technical point of view. It means mainly a carbonate–calcium balance and also corrosion effects and settling of calcium carbonate, which are related.

The next part of the thesis provides an overview of water hardening and water softening methods. The technology of hardening, one of the processes of water treatment, is divided into two main methods – direct and indirect method of hardening. Methods of softening include thermal, acid or precipitation decarbonisation, lime-soda precipitation, sodium hydroxide precipitation or phosphates precipitation. Membrane processes are also described in this chapter.

In the final, practical part of the bachelor thesis, two locations are described. The first one, Mokrá–Horákov is an example of a village, where hard water is distributed. The chapter contains description of the site, the inhabitant's opinion on it and also a proposal of how to lower the high presence of calcium and magnesium. The second one is a Jastrzębie-Zdrój which an example of a location where water hardening was applied.

SEZNAM PŘÍLOH

Dotazník na téma tvrdost vody.....	48
Situace vodovodního systému SV Pozořice.....	49

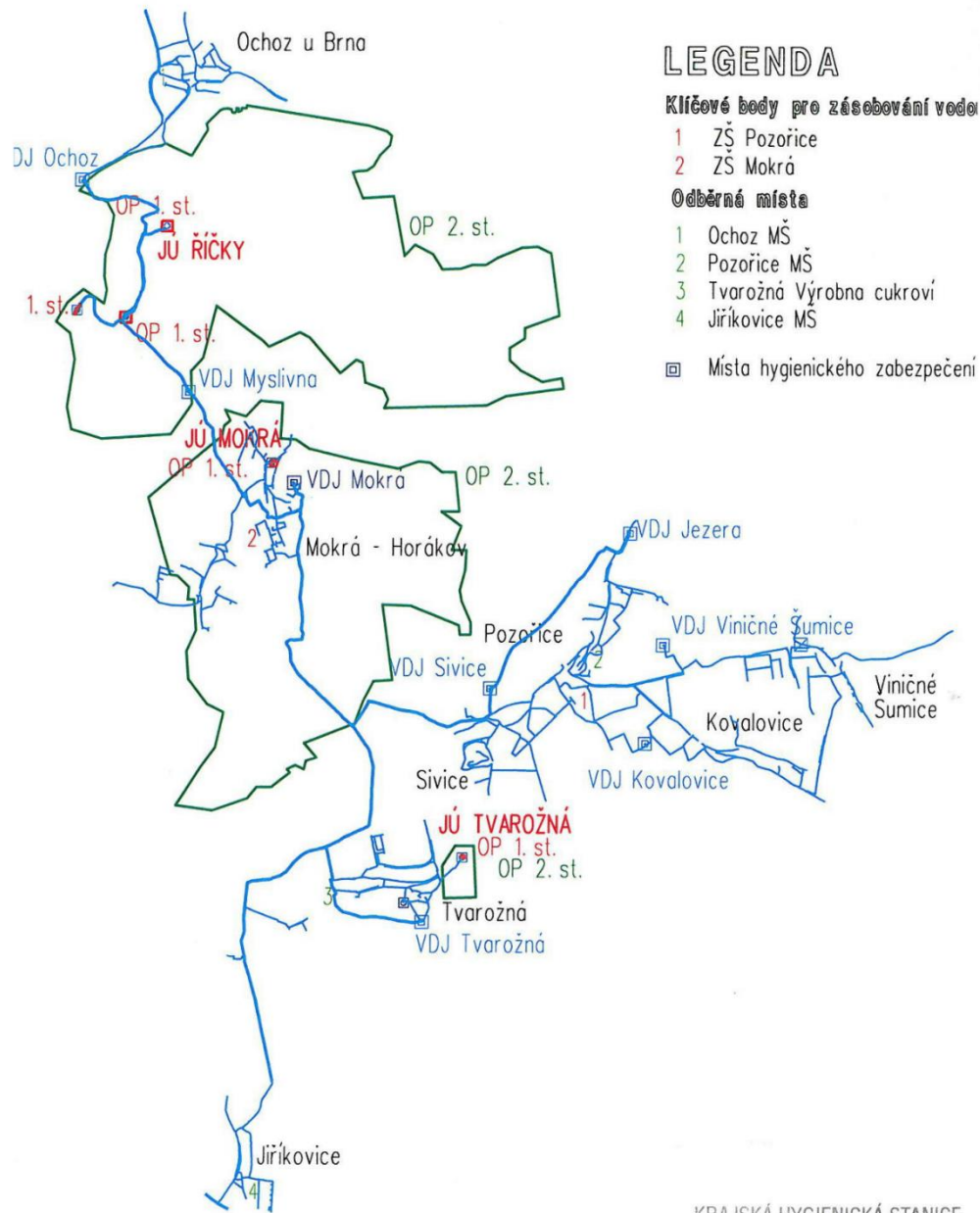
PŘÍLOHY

DOTAZNÍK NA TÉMA TVRDOST VODY

MOKRÁ–HORÁKOV, 10. 5. 2018

1. Myslíte si, že máte tvrdou vodu?
2. Pijete vodu z vodovodu? (Pokud ne, proč?)
3. Pozorujete nežádoucí projevy tvrdé vody? Jaké?
4. Jak moc vnímáte tvrdou vodu jako problém? (1-vůbec, 5-velmi)
5. Myslíte si, že je třeba tvrdost v této lokalitě upravit?
6. Myslíte si, že má tvrdá voda nějaké pozitivní vlivy? Jaké?
7. Jak často čistíte rychlovarnou konvici od vodního kamene?

SITUACE VODOVODNÍHO SYSTÉMU SV POZOŘICE



LEGENDA

Kliĉov body pro zásobování vodu

- 1 ZŠ Pozořice
- 2 ZŠ Mokr

Odbrn msta

- 1 Ochoz MŠ
- 2 Pozořice MŠ
- 3 Tvarořn Vrobn cukrov
- 4 Jirkovice MŠ

□ Msta hygienického zabezpeĉen

KRAJSK HYGIENICK STANICE

Jihomoravského kraje se sídlem v Brně

Jeřbkov 4, 602 00 Brno

-136-