

Ovlivňování kvality dopravované pitné vody depozicemi

Prof. Ing. Alexander Grünwald, CSc, Ing. Bohumil Šťastný, Ing. Karla Vlčková, Ing.

Jitka Zeithammerová, Ing. Kateřina Baslová, Ing. Marek Slaviček

Katedra zdravotního inženýrství FSv, ČVUT v Praze

Na kvalitu dodávané pitné vody jsou při hromadném zásobování obyvatelstva kladeny vysoké nároky. Jejich splnění přitom ovlivňuje nejen výběr vhodného zdroje surové vody, způsob její úpravy a dezinfekce, ale také v nemalé míře stav a provoz distribuční sítě. Vžila se představa přirovnávat distribuční síť k velkokapacitnímu reaktoru, v němž mohou za určitých podmínek probíhat různé procesy chemické, fyzikálně-chemické i biologické. Dopad těchto procesů na kvalitu dopravované vody je většinou negativní. Projevuje se nejčastěji zhoršením některých senzorických vlastností vody (zákal, barva, chuť), zvýšením obsahu těžkých kovů (např. železa a manganu), tvorbou vedlejších produktů dezinfekce (např. trihalogenmethanů a chloroctvých kyselin), bakteriální rekontaminací atd.

Výše uvedené procesy ovlivňuje celá řada faktorů. Kromě fyzikálně-chemických vlastností dopravované vody k nim patří zejména druh a koncentrace dezinfekčního činidla, materiál potrubí, stav distribuční sítě, hydraulické poměry v systému a další.

Kvalitu dopravované a distribuované pitné vody mohou ovlivňovat i depozice. Tyto se ukládají zejména v důsledku hydraulických změn jak v samotném potrubí tak ve vodojemech.

Jejich tvorba má řadu příčin. Patří k nim zejména:

- a/ Neúplné odstranění částic během úpravy surové vody,
- b/ uvolňování jemných částic z náplně filtrů,
- c/ srážení hydratovaných oxidů kovů,
- d/ tvorba uhličitanu vápenatého,
- e/ dodatečná flokulace,
- f/ bakteriální rekontaminace,
- g/ koroze.

Kvalitu dopravované vody může do určité míry zhoršit také externí kontaminace, související především s poškozením a výměnou distribučních potrubí.

V důsledku změn hydraulických poměrů může v distribuční síti docházet k občasnému uvolnění zejména lehčích částic depozic do proudící vody a k jejich transportu až ke spotřebiteli. Tím mohou organické látky, které tvoří součást depozic negativně ovlivnit biostabilitu dopravované vody.

Gauthier et al (1) zjišťovali koncentraci nerozpuštěných látek ve směsi z odkalování reálného distribučního systému. Koncentrace částic velikosti nad 100 μm se pohybovala od 0,2 do 3,5 mg.l^{-1} a částic velikosti pod 100 μm od 10 do 110 mg.l^{-1} .

Poměr C_{org}/N_c kolísal u částic velikosti pod 100 μm od 4,7 do 6,8 ($n=4$), u částic velikosti nad 100 μm od 4,6 do 11,2 ($n=8$).

Ztráta žiháním se u sedimentů z vodojemů pohybovala od 5,9 do 28 % ($n=13$) a v hrubší frakci depozic z potrubí (nad 100 μm) od 11 do 20%.

Zjišťováno bylo také osídlení depozic různými organismy. Mikroskopická pozorování odebraných vzorků potvrdila ve všech přítomnost nematod, vířníků, nálevníků a bezbarvých bičíkovců. Invertebrata byla zjišťována u většiny vzorků. V šesti z osmi vzorků byla zjištěna přítomnost makroskopických korýšů a ojediněle gastropoda. Průměrný počet bakterií činil v uvedených vzorcích po 14-denní kultivaci $2,7 \pm 1,3 \cdot 10^8$ KTJ.g⁻¹ (n=11). Pouze 4% bakterií rostoucích na agarových deskách bylo možno počítat po třech dnech inkubace. Vysoká hustota bakterií byla zjištěna i v nejjemnější frakci částic velikosti pod 100 µm, usazených v potrubí.

Testováním depozic na spotřebu volného aktivního chloru byly zjištěny značné rozdíly. Hodnota spotřeby se pohybovala v daném případě od 21 do 91 mg Cl₂ na 1 g sušiny NL. Testy přitom byly prováděny se stejným množstvím depozic (20 mg) a se stejnou dávkou chloru (2 mg.l⁻¹). Zjištěné hodnoty rychlostní konstanty kolísaly od 0,08 do 0,82 d⁻¹.

Ve své práci jsme se zaměřili na zjištění charakteristik depozic, odebíraných z různých míst dálkového přivaděče ÚV Plav - Tábor (2). Celková délka přivaděče je přibližně 80 km.

Označení vzorků odebíraných pracovníky Jihočeských vodovodů a kanalizací a.s. v průběhu roku 1999 je uveden v tab 1.

Tab. 1. Označení odběrových míst vzorků depozic

Vzorek č.	Den odběru	Popis odběrového místa
1	23.3	Včelná Č.B. - shybka zásobovacího řadu (pravá část),
2	23.3.	Včelná Č.B. - shybka zásobovacího řadu (levá část),
3	2.6.	první kalník za VDJ Sv. Anna, směr VDJ Čekanice
4	2.8.	dtto, první podíl odkalu, 3,5 min., rezavá suspenze,
5.	2.8.	dtto, druhý podíl odkalu, 3,5 min., černá suspenze,
6.	4.10.	první kalník za VDJ Sv. Anna, před VDJ Čekanice,
7.	4.10.	kalník Sezimovo Ústí (pod letním kinem), před VDJ Sv. Anna

Hlavní charakteristiky odebraných depozic zjištěné jejich fyzikálně-chemickým rozбором jsou uvedeny v tab. 2. Rozbor byl prováděn podle jednotných metod (3).

Tab. 2. Hodnoty vybraných ukazatelů fyzikálně-chemického rozboru depozic.

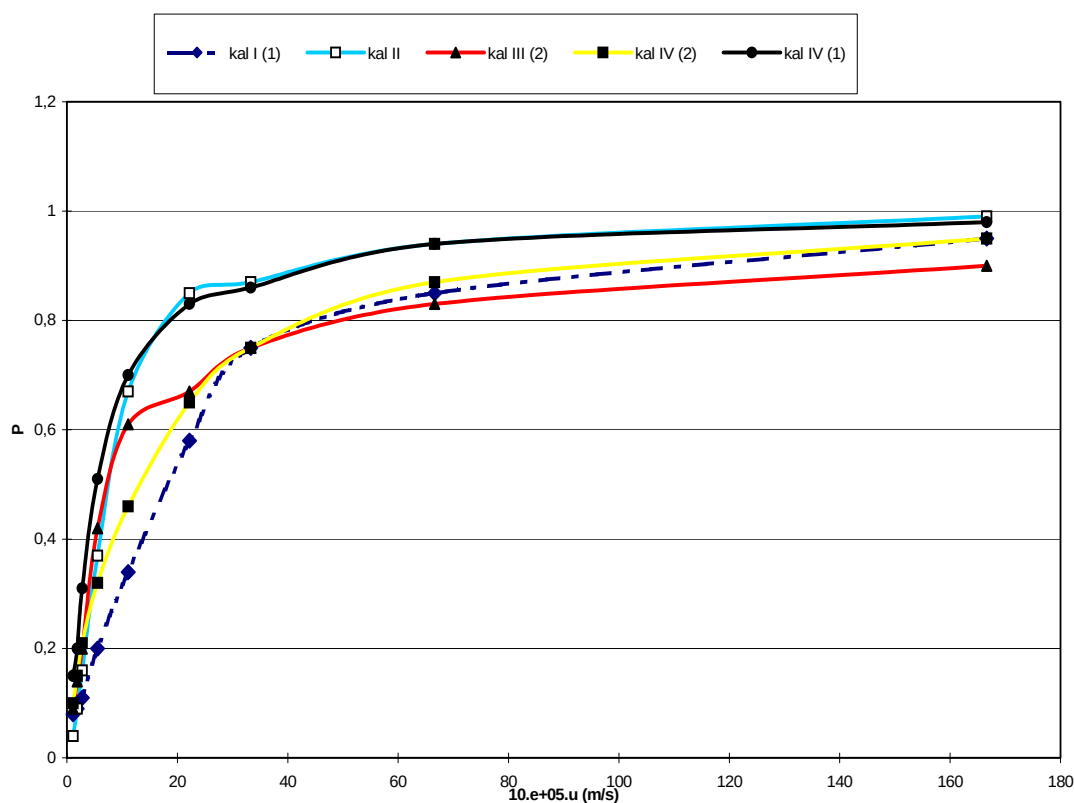
Vzorek č.	1	2	3	4	5	6	7
Veškeré látky (mg.l ⁻¹)	618	281	554	188	410	615	706
Ztráta žiháním (%)	11,4	8,9	4,5	8,5	4,4	10,0	9,6
Nerozpuštěné látky (mg.l ⁻¹)	397	84	378	53	260	436	525
Ztráta žiháním (%)	7,8	0	0	3,8	0,8	7,8	8,2
CHSK _{Mn} směs (mg.l ⁻¹)	8,0	2,6	3,6	1,4	3,1	4,5	6,2
CHSK _{Mn} nerozp. látky (mg.l ⁻¹)	1,4	0,6	1,2	0,4	1,5	1,0	1,8
CHSK _{Mn} (% NL)	0,35	0,71	0,31	0,75	0,57	0,22	0,34
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0,083	0,085	-	0,052	0,070	0,049	0,045
Fe (mg.g ⁻¹ NL)	240,3	63,0	-	67,9	504,2	285,3	258,4
Fe (% NL)	24,0	6,3	-	6,8	50,4	28,5	25,8

Z tab. 2 je zřejmé, že obsah nerozpuštěných látek v odebraných vzorcích byl nízký - pohyboval se od 53 do 525 mg.l⁻¹. Jak naznačují hodnoty ztrát žiháním (0 - 8,2%), převládaly ve všech vzorcích látky anorganického původu. Uvedený poznatek potvrzují i specifické hodnoty CHSK_{Mn} (2,29 - 7,54 mg.g⁻¹NL) odpovídající obsahu 0,22 - 0,75% NL.

Značná část nerozpuštěných látek byla tvořena železem. Přitom jeho obsah byl ve vzorcích depozic značně proměnlivý. Pohyboval se od 6,3 do 50,4 %NL. Tato proměnlivost zřejmě v daném případě nesouvisela jen s polohou místa odběru vzorku, ale i se stářím depozice.

Sedimentační analýzou, prováděnou standardním způsobem ve válci objemu 3000 ml (4), byla zjištěna ve vzorcích odebraných depozic velká podobnost. Z vypočítaných hodnot sedimentačních rychlostí vyplynulo, že rychlostí 166,6.10⁻⁵ m.s⁻¹ a nižší sedimentovalo 90 - 99 % NL, rychlostí 66,6.10⁻⁵ m.s⁻¹ a nižší 83-94 % NL, rychlostí 22,2.10⁻⁵ m.s⁻¹ a nižší 58 - 85 %NL a rychlostí 11,1.10⁻⁵ m.s⁻¹ a nižší 34 - 70 % NL. Pod 50 % NL sedimentovalo rychlostí 5,55.10⁻⁵ m.s⁻¹ a nižší. Výsledky sedimentační analýzy jsou graficky vyjádřeny na obr. 1.

Obr. 1. Průběh sedimentačních křivek



Orientačními pokusy, které předcházely podrobnějšímu výzkumu, byla zjišťována spotřeba aktivního chloru depozicemi. Ověření bylo provedeno se vzorkem, v němž byl obsah NL 397 mg.l⁻¹ a specifická hodnota CHSK_{Mn} 3,52 mg.g⁻¹ (vzorek 1).

Do skleněných zábrusových lahví objemu 2 l byl k definovanému objemu vzorku 1 přidán roztok chlornanu sodného tak, aby počáteční koncentrace aktivního chloru ve

směsi byla přibližně 2,0 mg.l⁻¹. Jednotlivé vzorky pak byly uchovávány ve tmě a po uplynutí příslušné reakční doby v nich byla stanovena zbytková koncentrace aktivního chloru. Výsledky chloračních pokusů jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3. Výsledky chloračních pokusů se vzorkem 1

Pokus 1		Pokus 2		Pokus 3	
Reakční doba (h)	Cl ₂ (mg.l ⁻¹)	Reakční doba (h)	Cl ₂ (mg.l ⁻¹)	Reakční doba (h)	Cl ₂ (mg.l ⁻¹)
0	2,2	0	2,2	0	2,0
1,5	1,6	3,0	2,2	2,0	1,6
2,0	1,6	4,0	2,2	4,0	1,5
18,0	1,6	30,0	1,5	7,0	1,5
24,0	1,5	-	-	-	-

Jak naznačují výsledky orientačních pokusů, k nejvyšší spotřebě volného aktivního chloru docházelo v průběhu dvou až tří hodin od přidání roztoku chlornanu sodného ke vzorku. V dalším průběhu pokusů byly již změny koncentrace Cl₂ zanedbatelné. Tak např. u pokusu 1 činil rozdíl ve spotřebě mezi 18 a 24 hodinou pouhou jednu desetinu mg.l⁻¹ aktivního chloru, u pokusu 2 činila spotřeba chloru od okamžiku jeho přidání ke vzorku po třicátou hodinu jen 0,7 mg.l⁻¹. Výsledky provedených pokusů potvrzují dřívější závěry nejen o velmi nízkém obsahu organických látek ve vzorcích z uvedeného přiváděče pitné vody, ale také o absenci dalších látek, podléhajících chemické oxidaci.

Na deterioraci kvality dopravované pitné vody se mohou podílet i některé vedlejší produkty její dezinfekce. Jedná se především o trihalogenmethany a chlorované deriváty kyseliny octové.

Oddělenými pokusy byla sledována tvorba vybraných vedlejších produktů dezinfekce v závislosti na dávce volného aktivního chloru při konstantní reakční době. Pokusy byly provedeny s nerozpuštěnými látkami, izolovanými filtrací ze vzorku depozice č.4 při teplotě 20°C, pH 7,85 a reakční době 72 h(2). K resuspendovaným nerozpuštěným látkám v destilované vodě byl jednorázově přidán definovaný objem roztoku chlornanu sodného a v dílčích vzorcích, odebíraných v určitých časových intervalech, byla sledována tvorba chloroformu, bromdichlormethanu, monochloroctové kyseliny (MCAA), dichloroctové kyseliny (DCAA) a trichloroctové kyseliny (TCAA). Výsledky pokusu jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4. Tvorba vedlejších produktů dezinfekce při chloraci vzorku depozice

DL - detekční limit, SL - limit kvantitativní stanovitelnosti

Dávka Cl ₂ (mg.l ⁻¹)	Zbytkový Cl ₂ (mg.l ⁻¹)	c (μg.l ⁻¹)				
		CHCl ₃	CHBrCl ₂	MCAA	DCAA	TCAA
0,5	0,12	23,3	0,86	<DL	2,69	<SL
1,0	0,15	47,4	1,47	<DL	8,98	<SL
2,0	0,16	117,6	2,88	<DL	19,8	11,22

Jak je z tab. 4 zřejmé, vzrůstal obsah všech chlorovaných organických sloučenin v resuspendovaném vzorku depozice s dávkou chloru. Nejvyšším přírůstkem se vyznačoval chloroform, u něhož došlo již s dávkou chloru $1,0 \text{ mg.l}^{-1}$ po 72 hodinách k překročení MHPR ($30 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$). Z uvedeného vyplývá, že zejména resuspendované depozice mohou ovlivňovat jak spotřebu volného aktivního chloru tak kvalitu dopravované pitné vody.

Závěr:

Depozice v distribučních systémech jsou důsledkem usazování částic nerozpuštěných látek různého původu, zejména v místech s nejnižší rychlostí proudění vody. Mohou zvyšovat spotřebu volného aktivního chloru a také vést k tvorbě vedlejších produktů dezinfekce, zejména trihalogenmethanů a chlorovaných derivátů kyseliny octové. Včasné odkalování systémů dopravy a distribuce pitné vody tato rizika podstatně snižují.

Literatura

- 1/ Gauthier V., Gérard B., Portal J.M., Block J.C., Gatel D.: Organic matter as loose deposits in a drinking water distribution system. Water Res. 33, 4, 1999, 1014-1026
- 2/ Grünwald A. et al.: Výzkum možnosti ekologické a ekonomické úpravy a dopravy pitných vod. Výroční zpráva úkolu č. 6996 K1440, FSv, ČVUT v Praze, prosinec 1999
- 3/ Horáková M., Lischke P., Grünwald A.: Chemické a fyzikální metody analýzy vod. SNTL Praha 1989
- 4/ Pitter P., Tuček F., Chudoba J., Žáček L. et al: Laboratorní metody v technologii vody. SNTL Praha, 1983

Výzkum byl realizován v rámci projektu NAZV EPO960006655 a výzkumného záměru CEZ: J04/98:211100002.