

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta chemická

Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí



RNDr. Jaroslav Mega

**POTENCIÁL TVORBY TRIHALOGENMETHANŮ
JAKO CITLIVÝ NÁSTROJ
PRO HODNOCENÍ JAKOSTI VODY**

TRIHALOGENMETHANE FORMATION POTENTIAL
AS A SENSITIVE TOOL FOR WATER QUALITY ASSESSMENT

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Chemie životního prostředí

Školitel: Prof. Ing. Ladislav Žáček, DrSc.
Doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.

Oponenti: Prof. RNDr. Lumír Sommer, DrSc.
Prof. Ing. Václav Janda, CSc.
Doc. Ing. Josef Hejzlar, CSc.

Datum obhajoby: 30. 3. 2004

Poděkování

Děkuji Prof. Ing. Ladislavu Žáčkovi, DrSc., za kolegiální přístup, cenné rady a trpělivost při vedení mé práce, vedení chemické fakulty Vysokého učení technického v Brně za vytvoření dobrých pracovních podmínek a svým kolegům a studentům za morální i faktickou podporu zejména v závěrečných fázích mé práce.

KLÍČOVÁ SLOVA: potenciál tvorby trihalogenmethanů, hodnocení jakosti vody, úprava vody, huminové látky, koagulace, ozonizace, dekonvoluce UV-VIS spekter

KEY WORDS: trihalomethane formation potential, water quality assessment, drinking water treatment, humic substances, coagulation, ozonation, UV-VIS spectra deconvolution

Disertační práce je uložena na Oddělení vědy a výzkumu FCH VUT v Brně

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
2 OBECNÁ ČÁST	5
2.1 Podmínky vzniku THM ve vodě.....	6
2.2 Stanovení potenciálu tvorby trihalogenmethanů	7
2.3 Vývoj metody stanovení THM FP	7
2.4 Stanovení trihalogenmethanů	7
2.5 Použití metody stanovení THM FP	7
2.6 Souhrn obecných poznatků.....	8
3 CÍL PRÁCE.....	8
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	8
4.1 Metodika	8
4.1.1 Použité přístroje a zařízení	8
4.1.2 Technologické testy.....	9
4.2 Výsledky a diskuse	10
4.2.1 Stanovení THM a THM FP	10
4.2.2 Kinetika tvorby THM za podmínek testu THM FP	10
4.2.3 Úprava vody se zvýšeným obsahem huminových látek	11
5 ZÁVĚR.....	14
6 POUŽITÁ LITERATURA.....	15
7 SEZNAM OBRÁZKŮ	17
8 ZÁKLADNÍ ŽIVOTOPISNÁ DATA AUTORA.....	18
9 ABSTRACT	19
10 PŘÍLOHA.....	20

1 ÚVOD

Nález chloroformu a dalších trihalogenmethanů v pitné vodě obrátil před lety zájem odborné veřejnosti na problematiku vedlejších produktů desinfekce pitné vody. Obavy o lidské zdraví pak vyvolaly potřebu lepšího poznání osudu organických látek přírodního původu při styku s desinfekčními prostředky používanými v praktickém vodárenství. V odborné literatuře se postupně objevily práce zabývající se identifikací nejrůznějších vedlejších produktů desinfekce pitné vody a souvislostmi mezi jakostí vody a technologickými postupy její úpravy s ohledem na tvorbu trihalogenmethanů a dalších vedlejších produktů desinfekce pitné vody. Pozornost byla věnována studiu množství a rozdělení vedlejších produktů desinfekce pitné vody a rovněž vývoji technologických postupů a jejich modifikací se zřetelem na snižování obsahu vedlejších produktů desinfekce v pitné vodě. Celé toto úsilí posléze celosvětově vyústilo do konkrétních závazných pokynů a doporučení pro úpravu vody z povrchových zdrojů a pro hygienické zabezpečení upravené vody.

Při hledání vhodného analytického nástroje k posuzování změn jakosti vody při její úpravě na vodu pitnou jsem v přípravném stádiu [1] této práce věnoval pozornost i stanovení potenciálu tvorby trihalogenmethanů (THM FP) za standardních podmínek. Za relativně velkou výhodou, při očekávaném zavedení této metody do širší technické praxe v České republice, jsem považoval skutečnost, že díky mnohaletému úsilí našich předních pracovišť v daném oboru, se problematika spojená s výskytem trihalogenmethanů dostala do povědomí širší odborné veřejnosti a v určitém rozsahu i do zákonných norem. Stanovení THM FP dávalo reálnou naději, že bude využitelné jako nový nástroj se specifickou vypovídací schopností pro posuzování jakosti vody a jejích změn, právě se zřetelem na obsah těch organických látek přítomných ve vodě, jež snadno podléhají chemickým a biochemickým změnám.

K podpoře této myšlenky jsem považoval za nezbytné studium vlivu parametrů testu na množství vznikajících THM v modelových i reálných podmínkách a ověření praktické použitelnosti testu THM FP za různých technických podmínek a porovnání jeho vypovídací schopnosti oproti klasickým i jiným nově vyvíjeným postupům.

2 OBECNÁ ČÁST

Problém výskytu nežádoucích organických sloučenin chlóru vznikajících v procesu úpravy a desinfekce pitné vody se díky rozvoji analytických metod dostal do popředí všeobecného odborného zájmu na počátku sedmdesátých let. Od té doby se rozvíjejí jak metody samotné identifikace a chemického stanovení těchto látek, tak i technologické postupy umožňující předcházet jejich vzniku. Těžištěm prevence

vzniku nežádoucích vedlejších produktů desinfekce je odstranění (nebo alespoň výrazné snížení obsahu) takových organických látek, které snadno podléhají chemickým změnám - a to ještě dřív než přijdou do kontaktu s desinfekčními prostředky.

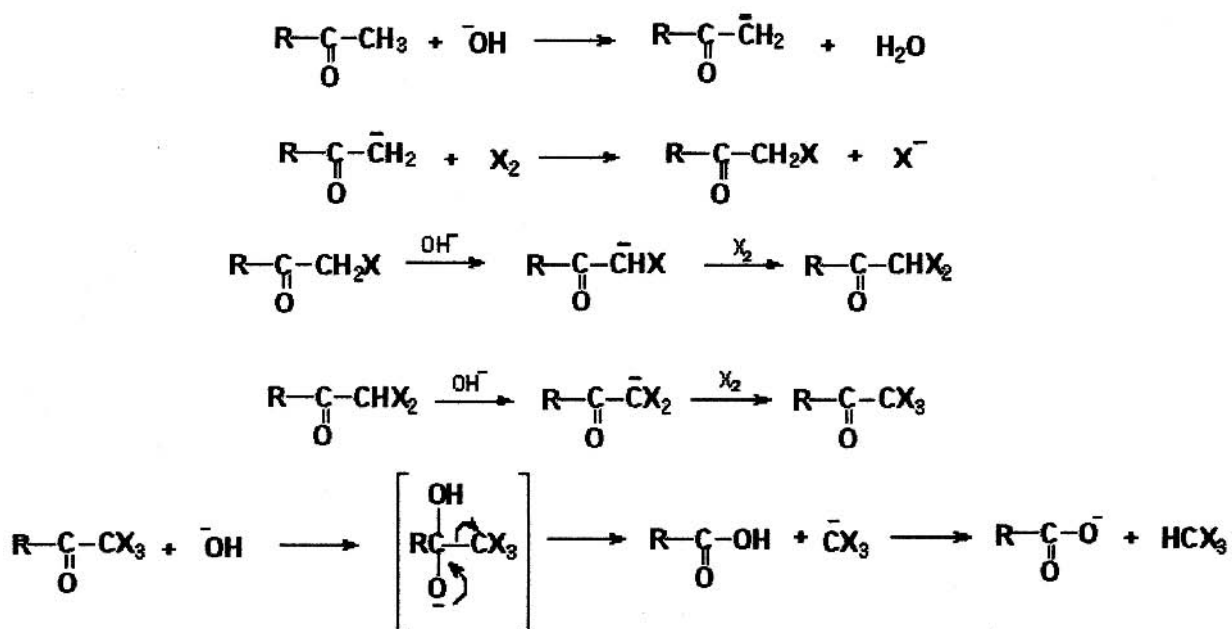
Pro potřeby sledování účinnosti různých druhů prevence vzniku zdraví škodlivých látek při úpravě pitné vody byla v průběhu let použita celá řada kritérií. Vedle stanovení obsahu trihalogenmethanů (THM) to byl i test stanovení maxima vzniku THM za podmínek simulujících poměry v konkrétní distribuční síti (SDS THM test).

Kvalitativně novým krokem v tomto směru byla koncepce stanovení potenciálu tvorby THM (THM FP) za standardních podmínek určených obecně bez ohledu na konkrétní situaci při úpravě a v rozvodu pitné vody.

2.1 PODMÍNKY VZNIKU THM VE VODĚ

Sledování výskytu THM v upravené vodě z různých zdrojů potvrdilo, že jen poměrně malá část nespecifických organických látek přítomných v upravované vodě může plnit roli prekursorů nežádoucích THM [2]. Toto zjištění vede přímo k vyslovení požadavku na nalezení vhodnějšího ukazatele jakosti vody pro podobné účely.

Oxidace organických látek působením halogenů v slabě alkalickém prostředí je poměrně složitý proces, kterým se odbourávají methylketony na karbonové kyseliny chudší o jeden atom uhlíku. Průběh samotné haloformové reakce lze pak vyjádřit následujícím způsobem:



Obr. 1. Haloformová reakce [3]

Přes četné snahy o předpověď tvorby THM, na základě informací o jakosti testované vody, prostřednictvím matematických modelů z posledních let [4], je však zřejmě nutno počítat s tím, že pro většinu případů si test stanovení potenciálu THM zachová empirický charakter usanční metody.

2.2 STANOVENÍ POTENCIÁLU TVORBY TRIHALOGENMETHANŮ

Vývoj metody prošel třemi stádii - od stanovení obsahu THM ve vodě ze sledovaného systému, přes test tvorby THM za podmínek simulujících poměry v tomto systému až po samotný test zaměřený na stanovení tvorby THM za standardních podmínek, umožňující poměrně vysoký stupeň zobecnění informací o výskytu prekursorů THM ve zkoušené vodě. Analytická koncovka, tj. stanovení koncentrace THM, nebývá obvykle spojena - při přiměřeném vybavení laboratoře – s většími potížemi.

2.3 VÝVOJ METODY STANOVENÍ THM FP

Z hlediska vývoje metody stanovení THM FP je všeobecně považována za fundamentální práce [5], v níž je potenciál tvorby THM charakterizován (na rozdíl od nejnovějšího chápání) jako měřítko obsahu nezreagovaných prekursorů THM za podmínek ve sledovaném systému, přičemž jeho hodnota je získána odečtením koncentrace THM v okamžiku odběru od konečné koncentrace THM ve vodě po příslušné době kontaktu.

Zvyšující se úroveň organického znečištění zdrojů vody v polovině osmdesátých let vedla k potřebě zavedení nových citlivějších ukazatelů jakosti vody, mj. i testu THM FP jako měřítka obsahu určité skupiny makromolekulárních látek ve vodě.

2.4 STANOVENÍ TRIHALOGENMETHANŮ

Pro stanovení trihalogenmethanů (THM) ve vodách užívaných úpravě na vodu pitnou a ve vodě upravené k zásobování pitnou vodou byla u nás zavedena příslušná ČSN [6], které lze přiměřeně použít pro stanovení THM a ostatních organických látek ve vodách i pro jiné účely spojené s hodnocením jakosti vody.

2.5 POUŽITÍ METODY STANOVENÍ THM FP

Studiem vlivu různých technologických zásahů při úpravě pitné vody na hladinu THM po desinfekci chlorem se zabývaly již například práce [7, 8 nebo 9].

Od zavedení maximální přípustné hladiny pro obsah THM v pitné vodě a od stanovení zásad prevence tvorby THM se vedle samotného stanovení THM začalo používat i různých modifikací stanovení potenciálu vzniku THM. V druhé polovině devadesátých let bylo možno zaznamenat poměrně značný nárůst výskytu prací, v nichž bylo k charakterizaci jakosti vody a jejích změn v průběhu různých procesů použito, mimo jiné, i potenciálu tvorby THM (například [10]).

2.6 SOUHRN OBECNÝCH POZNATKŮ

Metoda stanovení potenciálu tvorby trihalogenmethanů se v posledních letech vyhranila do dvou základních podob. První z nich (ve formě testu za podmínek simulujících poměry v konkrétním distribučním systému - SDS THM FP test) má smysl především pro sledování a hodnocení situace pro daný zdroj, technologii úpravy a systém rozvodu pitné vody a nalezne uplatnění především ve velkých úpravnách pitné vody vybavených potřebnou analytickou technikou a kvalifikovaným personálem.

Druhé pojetí (v podobě standardního testu založeného na principu maximálního postižení výskytu látek schopných poskytnout v konečné fázi trihalogenmethany) umožňuje posuzování jakosti vody z různých zdrojů z hlediska přítomnosti určité skupiny makromolekulárních látek, jež je jinými analytickými metodami (kromě nákladné a náročné specifické organické analýzy) těžko podchytitelná.

Rostoucí zájem odborné veřejnosti z posledních let o využití testu THM FP, jako jednoho z ukazatelů jakosti vody a jejích změn, podporuje reálné očekávání, že tato analytická metoda se postupem času změní v užitečný nástroj vodohospodářské chemie.

3 CÍL PRÁCE

Hlavním posláním této práce bylo shromáždění literárních i vlastních experimentálních výsledků, jež by umožnilo hodnotit metodu stanovení potenciálu tvorby trihalogenmethanů jako vhodný nástroj pro dokreslení informací o jakosti vody a jejích změnách.

Cílem této snahy bylo osvětlit přínos stanovení THM FP zejména při optimalizaci jednotlivých prvků vodárenské technologie a jejich sestav při eliminaci nespécifických organických látek (zejména při úpravě vody z povrchových zdrojů) a při jeho použití jako dalšího nástroje pro sledování a řízení procesu úpravy vody a jeho optimalizaci.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 METODIKA

4.1.1 Použité přístroje a zařízení

- *Plynový chromatograf* Hewlett – Packard 5700A, USA, 1974 s FID a vybavením pro stanovení THM, včetně datové stanice pro práci s CSW firmy DataApex, USA, 1997;

- *Spektrofotometr* PU 8720 UV/VIS (jednopaprskový) Philips, Nizozemí, 1989, s datovou stanicí (s originálním software);
- *Spektrofotometr* UV/VIS (jednopaprskový) Helios Gamma, Spectronics, Velká Británie, 2001, v základní verzi s datovou stanicí (se software Unicam Vision 32), sadou křemenných a skleněných kyvet tloušťky 10 a 50 mm;
- *Míchací zařízení* MK 6 (Gestra s.r.o. Sedloňov, ČR), 1997 (šestimístné míchací zařízení s elektronickou regulací otáček a automatikou vypínání chodu);
- *Generátor ozónu* Azcozon VMUS-4, Kanada, 1998 (4 g.hod⁻¹ O₃ při průtoku suchého vzduchu 5 l.min⁻¹; 8 g.hod⁻¹ O₃ při průtoku kyslíku 5 l.min⁻¹).

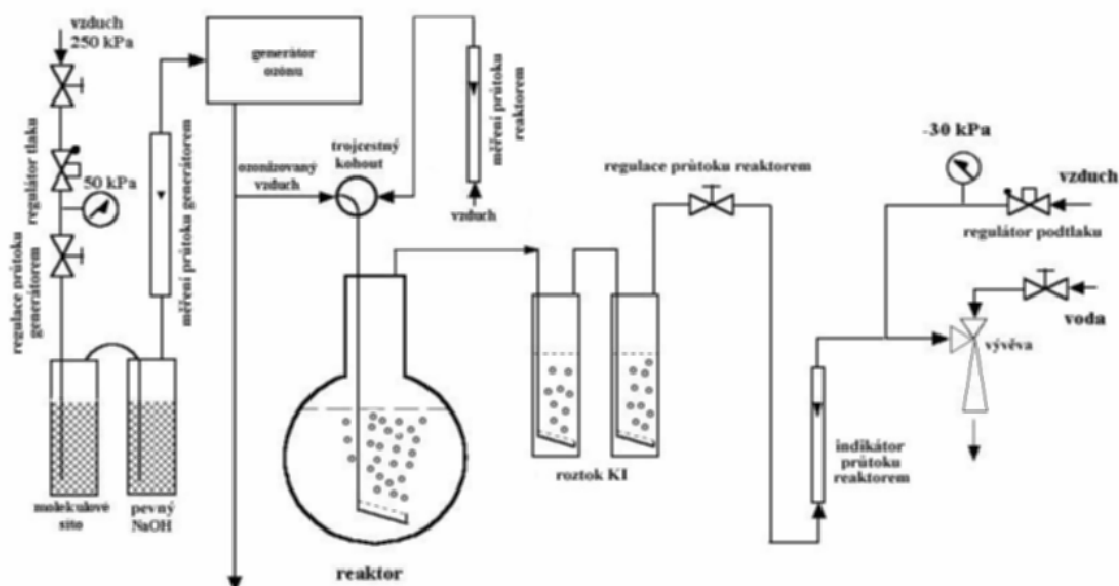
4.1.2 Technologické testy

Čiření

Při laboratorních koagulačních testech a jejich hodnocení byla respektována příslušná odvětvová technická norma [11].

Ozonizace

Pro laboratorní testy využívající k úpravě vody ozonizace byla sestavena původní technologická sestava, jejímž možností byla přizpůsobena volba konkrétních technologických parametrů při jednotlivých testech. Schématicky je znázorněná na následujícím obrázku:



Obr. 2. Ozonizace - schéma uspořádání zařízení pro laboratorní testy

4.2 VÝSLEDKY A DISKUSE

Práci na dané problematice jsem se věnoval (s určitými přestávkami) poměrně dlouhé časové období let 1994 až 2002. Dílčí výsledky byly shrnuty v pracích [12, 13, 14]. Určité metodické změny byly, pod mým vedením, paralelně ověřovány i v rámci diplomových prací zadaných na mém pracovišti [15, 16, 17, 18], jejichž témata navazovala na danou problematiku a ve vybraných aspektech ji rozvíjela. Předběžné výsledky těchto prací byly prezentovány formou přednášek [19 a 20].

4.2.1 Stanovení THM a THM FP

Výše uvedené technické vybavení laboratoře umožňovalo – v rozsahu koncentrací očekávaných při testech potenciálu tvorby trihalogenmethanů v běžných povrchových vodách - relativně spolehlivé stanovení THM. Při pracovním rozsahu koncentrace THM od 50 do 1100 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, použitím pro sledování THM FP, byly - při hodnocení podle ČSN ISO 8466-1 [21] a při určení detekčního limitu metody podle [22] - nalezeny plně vyhovující hodnoty charakteristik metody a jejího detekčního limitu.

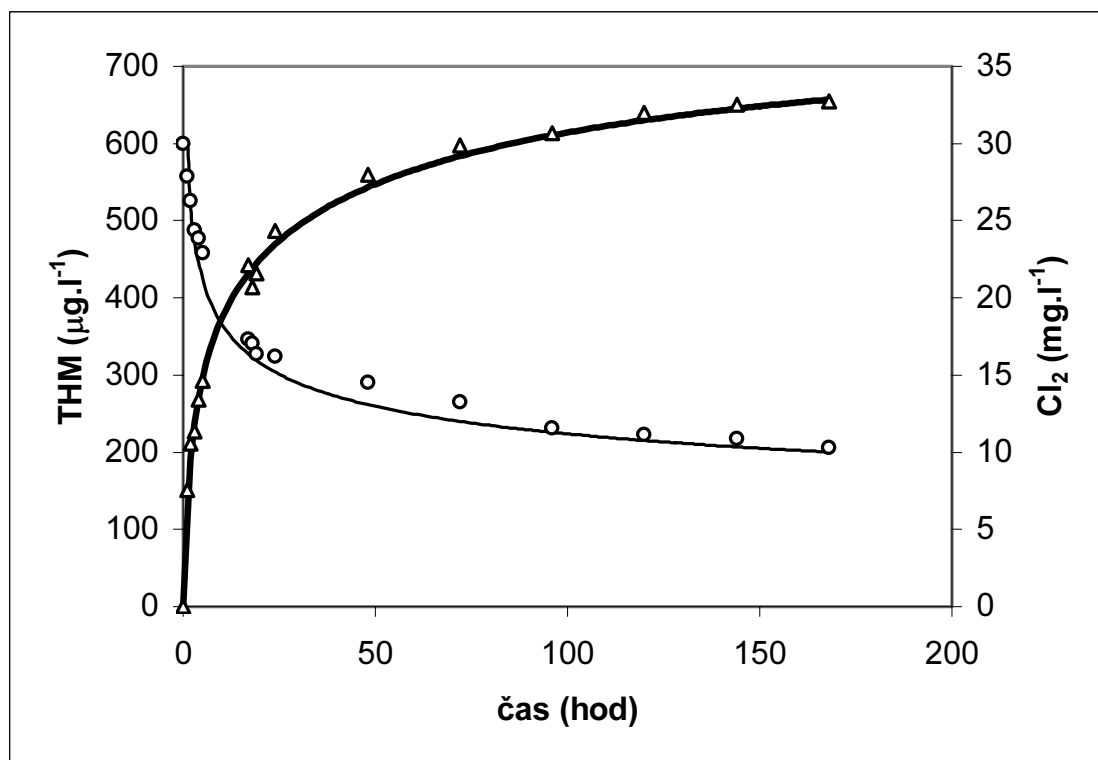
Při vlastní práci bylo použito vnitrolaboratorní modifikace testu THM FP optimalizovaného na technické podmínky pracoviště. V současné době je pro test THM FP již k dispozici příslušná oborová technická norma [23].

Kalibrace a hodnocení metody stanovení THM FP a určení jejích charakteristik je spojeno s obecným problémem referenčního materiálu. Za daných okolností lze výše zmíněné charakteristiky metody získat jen s využitím více či méně vhodných modelových organických látek a nalezené charakteristiky vztáhnout ke konkrétním podmínkám použitého modelu. Pro potřeby této práce byl pro tento účel (obdobně jako při orientačních testech) zvolen huminát sodný.

4.2.2 Kinetika tvorby THM za podmínek testu THM FP

Při studiu kinetiky chemických reakcí probíhajících při testu THM FP bylo možno sledovat prakticky pouze změny koncentrace volného chlóru a chloroformu. S ohledem na předpokládanou složitost předmětných procesů bylo pro zpracování výsledků použito zjednodušeného modelu, popisujícího průběh reakce jen velmi hrubě. Nicméně lze na základě získaných výsledků konstatovat, že tvorba THM odráží dobře obsah organických látek daného typu ve vodě a zvolené podmínky testu THM FP umožňují v širokém koncentračním rozmezí dosažení dostatečného stupně konverze srovnatelného s jinými usančními analytickými metodami.

Na následujícím obrázku jsou prezentovány výsledky charakteristické pro sledování procesu tvorby za zvolených experimentálních podmínek:



Obr. 3. Kinetika tvorby THM za podmínek testu THM FP

Ke zpracování dat prezentovaných na výše uvedeném obrázku bylo použito numerického modelu ve tvaru:

$$\frac{d(THM)}{dt} = k_1 \cdot [(HL^0) \cdot \exp(-k_2 \cdot t)] \cdot \{[(Cl_2^0) \cdot t^a]\}^b \quad (1)$$

kde (THM) , (HL) a (Cl_2) jsou hodnoty příslušných ukazatelů jakosti testované vody, vyjádřené u (THM) v $\mu\text{g.l}^{-1}$, u (HL) a (Cl_2) pak v mg.l^{-1} ; horní index 0 označuje počáteční hodnotu; t je čas v hodinách; k_1 , k_2 , a a b jsou parametry modelu ve významu konstant, získané nelineární regresi v prostředí MS Excel.

4.2.3 Úprava vody se zvýšeným obsahem huminových látek

Praktická použitelnost testu THM FP byla ověřována při hodnocení jakosti vody a jejích změn při její úpravě v laboratorním měřítku a orientačně i při hodnocení jakosti vody odebrané v klíčových fázích technologického postupu na vybraných úpravnách vody. S ohledem na očekávané využití testu THM FP, byla pozornost věnována vodě se zvýšeným obsahem huminových látek, a to jak při laboratorních pokusech s modelovou vodou, tak i při testování vzorků přírodní vody a vody z konkrétních úpraven pitné vody. Získané hodnoty THM FP byly porovnávány s jinými ukazateli jakosti vody, s cílem podtrhnout schopnost testu THM FP odrážet změny chemismu testované vody.

Číření

Výsledky koagulačních testů byly hodnoceny na základě $CHSK_{Mn}$, $CHSK_{Cr}$, THM FP, vybraných spektrálních charakteristik a zbytkové koncentrace použitého koagulantu. V průběhu práce bylo shromážděno poměrně značné množství dat, jež dokumentují vypovídací schopnost použitých kvalitativních kritérií (jak samotných, tak v kombinaci s ostatními).

Ozonizace

Na základě poznatků získaných při orientačních pokusech a v souladu s informacemi uváděnými v odborné literatuře, byla při experimentálním studiu působení ozónu na organické látky přírodního původu přítomné ve vodě, zaměřena pozornost zejména na hledání souvislostí mezi podmínkami ozonizace a THM FP.

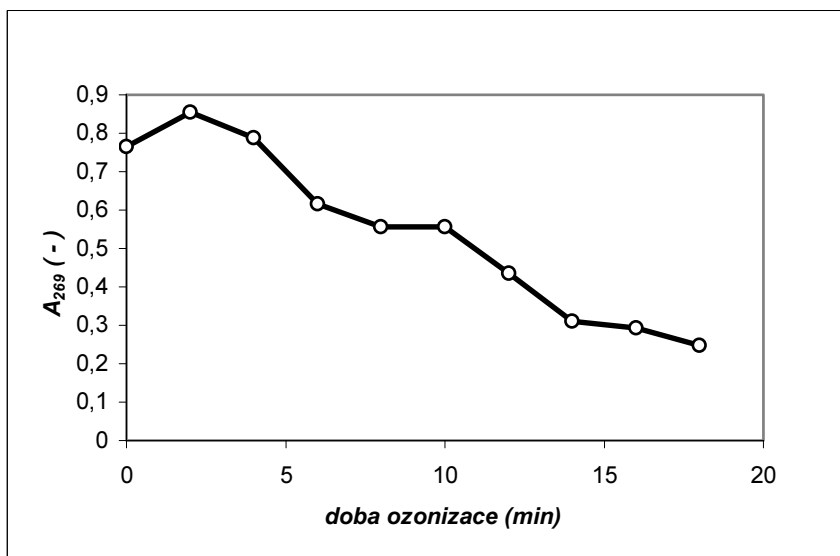
V širších souvislostech byla prostřednictvím UV-VIS spekter věnována pozornost podchycení změn kvality organických látek vlivem působení ozónu, s cílem zachytit případnou přítomnost nově vzniklých absorpčních pásů, příslušejících funkčním skupinám, jež by mohly vstupovat do haloformové reakce.

K dekonvoluci absorpčních pásů metodou nelineární regrese bylo jako modelu použito kombinace Gaussovy a Lorenzovy křivky (upraveno podle [24]):

$$A_{GL} = A_{max} \cdot \left\{ W_G \cdot \exp \left[-(\ln 2) \cdot \left[\frac{2 \cdot (\lambda - \lambda_{max})}{w} \right]^2 \right] + \frac{1 - W_G}{1 + \frac{4}{w} \cdot (\lambda - \lambda_{max})^2} \right\} \quad (2)$$

kde W_G je podíl (váha) Gaussovy křivky na celkovém výsledku (váha Lorenzovy křivky je pak $(1 - W_G)$), A_{max} je výška pásu (absorbance v maximu), w je pološířka (tj. šířka pásu v polovině jeho výšky), λ je vlnová délka a λ_{max} pak vlnová délka maxima pásu a A_{GL} je absorbance při vlnové délce λ .

Pro ilustraci uvádím pro A_{max} jednoho z takto získaných absorpčních pásů (s $\lambda_{max}=269$ nm), jenž by mohl mít vazbu na THM FP, následující obrázek:



Obr. 4. Závislost A_{269} na době ozonizace

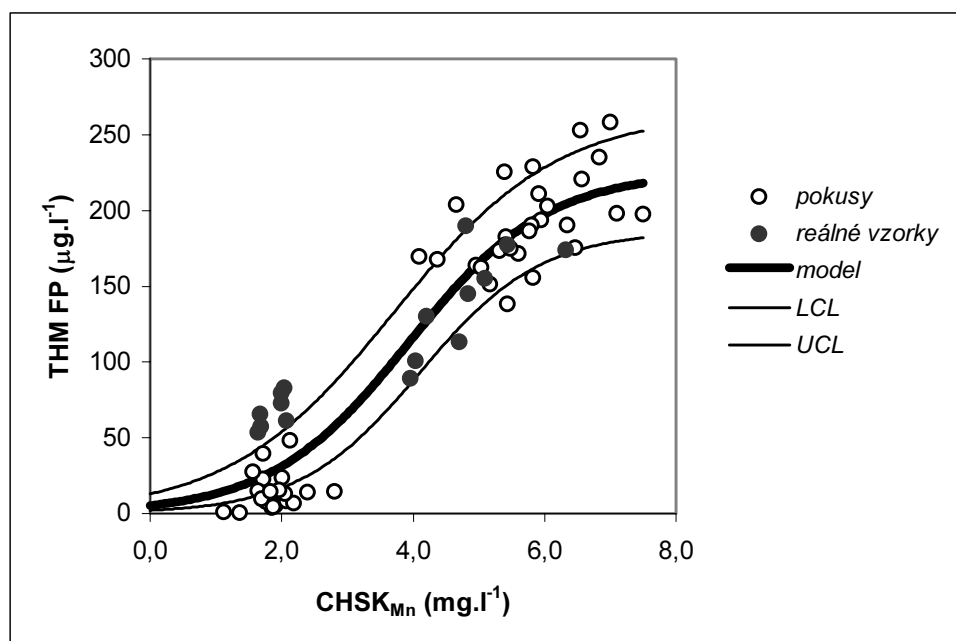
Čiření preozonizované vody

Požadavek eliminace původních i působením ozónu pozměněných organických látek v celkovém procesu úpravy vody vede logicky k následnému uplatnění čiření, jako základního a v daném směru osvědčeného standardního postupu. Za pozornost nepochybně stojí zjištění, že i v případech, kdy došlo v tomto technologickém uspořádání (při nedostatečné dávce ozónu) ke zvýšení hodnot $CHSK_{Mn}$ oproti prostému čiření, tak zvýšení hodnoty THM FP pozorováno nebylo. Při dostatečné dávce ozónu bylo dobře vedenou koagulací dosaženo u $CHSK_{Mn}$ srovnatelných a u THM FP, pak výrazně lepších konečných výsledků, než při prostém čiření.

Reálné vzorky vody

K dokreslení významu THM FP při hodnocení jakosti vody a jejích změn během přírodních i technologických procesů jsem porovnával hodnoty použitých ukazatelů jakosti vody při testování reálných vzorků povrchové vody i vzorků vody z vybraných úpraven. Lokality odběru reálných vzorků vody byly vybrány tak, aby se charakter organických látek přítomných v testované vodě, pokud možno, od sebe co nejvíce navzájem lišil (viz: Obr. 6 v příloze).

Na níže uvedeném obrázku jsou prezentována společně zpracovaná data, získaná jak při analýze reálných vzorků, tak při modelových pokusech*.



Obr. 5. Korelace mezi THM FP a $CHSK_{Mn}$

* **model** představuje logistická křivka ve tvaru $y=K/(1+\exp(a+bx))$, kde **K**, **a** a **b** jsou empirické konstanty, nalezené nelineární regresí, **LCL** a **UCL** jsou dolní resp. horní mez pásu spolehlivosti (pro zvolený model) na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$.

5 ZÁVĚR

Metodu stanovení potenciálu tvorby trihalogenmethanů (THM FP) považují za významný - a pro svoji citlivost cenný - nástroj k získávání informací o jakosti vody a jejích změnách pro potřeby vodárenské a čistotářské praxe. Na základě hodnocení shromážděných poznatků mohou konstatovat, že potřebnou perspektivu pro široké uplatnění v technické praxi má stanovení THM FP v pojetí standardního testu, jež umožňuje posuzování jakosti vody mezi jednotlivými zdroji a v delších časových řadách a je rovněž vhodné pro hodnocení účinnosti různých způsobů odstraňování organického znečištění vody a ke srovnávání takto získaných informací s poznatky dosaženými jinými způsoby. Výše zmíněné experimentální výsledky ukazují, že test THM FP vykazuje oproti jiným ukazatelům jakosti vody významně odlišnou odezvu na obsah organických látek přítomných ve vodě. V této souvislosti tedy test THM FP představuje prostředek k získání kvalitativně nových informací o jakosti vody a zejména o jejích změnách, během přírodních i technologických procesů, jež jsou prakticky využitelné při řešení konkrétních úkolů spojených se zlepšováním kvality vody v širším slova smyslu.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] J. Mega: Posouzení přínosu ozonizace na straně surové vody na úpravně vody ve Víru. Závěrečná zpráva VÚV TGM Praha, Brno 1993
- [2] J. M. Symons et al.: Treatment Techniques for Controlling Trihalomethanes in Drinking Water. EPA – 600/2-81-156. Environmental Protection agency, Cincinnati, Ohio, USA, 1981
- [3] D. J. Cram a G. S. Hammond: Organická chemie. Academia – nakladatelství ČSAV, Praha 1969, 889 s.
- [4] P. Westerhoff et al.: Mechanistic-based Disinfectant and Disinfectant By-Product Models. USEPA Grant # R 826831-01-0. Final Report. June 2002. Cincinnati, OH, USA
- [5] A. A. Stevens a J. M. Symons: Measurement of trihalomethane and precursor concentration changes. *Journ. Amer. Water Works Assn.*, **69**, 10, 546-554, 1977
- [6] ČSN 75 75 50: Jakost vod. Stanovení trihalogenmethanů. Český normalizační institut, Praha, 1991
- [7] J. J. Rook: Haloforms in drinking water. *Journ. Amer. Water Works Assn.*, **68**, 3, 168-172, 1976
- [8] J. J. Rook: Chlorination Reactions of Fulvic Acids in Natural Waters. *Environ. Sci. Technol.*, **11**, 5, 476-482, 1977
- [9] A. A. Stevens et al.: Chlorination of Organics in Drinking Water. *Journ. Amer. Water Works Assn.*, 11/1976, 615-621
- [10] P. C. Singer: Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water. Amer. Water Works Assn., ISBN: 0898679982, 450 s., 1999
- [11] TNV 75 5931: Laboratorní technologické zkoušky úpravy vody - Koagulace. Odvětvová technická norma vodního hospodářství. Hydroprojekt a.s., Odvětvové normalizační středisko, Praha, 1995
- [12] J. Mega: Modifikace a praktické ověření metody stanovení potenciálu tvorby trihalogenmethanů ve vodě (THM FP). Závěrečná zpráva VÚV TGM, Brno 1994
- [13] J. Mega: Podklad pro normalizaci testu stanovení potenciálu tvorby trihalogenmethanů (THM FP) pro hodnocení jakosti vody. Závěrečná zpráva VÚV TGM, Brno 1994
- [14] J. Mega: Potenciál tvorby THM - citlivý nástroj pro hodnocení jakosti vody. Sborník z konference „Pitná voda z údolních nádrží 1995“ (Tábor, 22. - 25.5. 1995). W&ET Team, České Budějovice 1995

- [15] P. Nasadil: Závislost potenciálu tvorby trihalogenmethanů na charakteru organických látek přítomných ve vodě. Diplomová práce (vedoucí J. Mega). FCH VUT v Brně, 56 s., 1998
- [16] D. Nováková: Hodnocení účinnosti úpravy vody – využití stanovení potenciálu tvorby trihalogenmethanů. Diplomová práce (vedoucí J. Mega). FCH VUT v Brně, 91 s., 2001
- [17] S. Martišková: Hodnocení účinnosti úpravy vody – využití spektroskopie v ultrafialové oblasti. Diplomová práce (vedoucí J. Mega). FCH VUT v Brně, 84 s., 2001
- [18] M. Březková: Využití UV-VIS spektroskopie při studiu úpravy vody se zvýšeným obsahem huminových látek. Diplomová práce (vedoucí J. Mega). FCH VUT v Brně, 62 s., 2002
- [19] J. Mega, P. Nasadil, D. Nováková: Potenciál tvorby trihalogenmethanů – citlivý nástroj hodnocení jakosti vody. 54. sjezd chemických společností „*Chemie nových materiálů pro 21. století*“, Brno, Česká republika, Chem. Listy, **96**, 506, 2002
- [20] J. Mega, D. Nováková, S. Martišková: THM FP as a tool for water treatment technology. Oral presentation. 2nd Meeting on Chemistry & Life. Session: Environmental Chemistry & Technology. Brno, Czech Republic, September 10-11th, 2002
- [21] ČSN ISO 8466-1 (75 70 31): Jakost vod. Kalibrace a hodnocení analytických metod a určení jejich charakteristik. Část 1: Statistické hodnocení lineární kalibrační funkce. Český normalizační institut, Praha, 1993
- [22] R. C. Graham: Data Analysis for the Chemical Sciences. VCH Publ. Inc., New York 1993
- [23] TNV 75 7549: Jakost vod - stanovení trihalomethanů (THM) za optimalizovaných (Potenciál THM) a úpravě přizpůsobených podmínek jejich vzniku (SRS-THM). Odvětvová technická norma vodního hospodářství. Hydroprojekt a.s., Odvětvové normalizační středisko, Praha, 2001
- [24] Z. Šťastný: Matematické a statistické výpočty v Microsoft[®] Excelu. Computer Press. Brno 1999, 254 s., 1999

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.	<i>Haloformová reakce [3].....</i>	6
Obr. 2.	<i>Ozonizace - schéma uspořádání zařízení pro laboratorní testy</i>	9
Obr. 3.	<i>Kinetika tvorby THM za podmínek testu THM FP</i>	11
Obr. 4.	<i>Závislost A_{269} na době ozonizace</i>	12
Obr. 5.	<i>Korelace mezi THM FP a $CHSK_{Mn}$.....</i>	13
Obr. 6.	<i>Přehled lokalit odběru reálných vzorků.....</i>	22

8 ZÁKLADNÍ ŽIVOTOPISNÁ DATA AUTORA

Autor: RNDr. Jaroslav Mega

Narozen: 31. srpna 1947 v Uherském Hradišti

Rodinné poměry: ženatý (od roku 1970); 1 dítě (1975)

Vzdělání:

základní: 1953 až 1962 – ZDŠ ve Strážnici

střední: 1962 až 1965 – SVVŠ M. Kudeříkové ve Strážnici

vysokoškolské: 1965 až 1970 – odborná chemie na přírodovědecké fakultě J. Ev. Purkyně v Brně; katedra teoretické a fyzikální chemie; téma diplomové práce: Galvanostatická oxidace pyrogalolu na platinové elektrodě

rigorózní řízení: 1987 - přírodovědecká fakulta J. Ev. Purkyně v Brně; katedra analytické chemie; téma: Separační analytické metody

státní doktorská zkouška: 2000 - fakulta chemická Vysokého učení technického v Brně; v oboru chemie životního prostředí

Zaměstnání:

1970 až 1973 – Okresní správa vodovodů a kanalizací Hodonín; samostatný chemik

1971 až 1972 – základní vojenská služba

1973 až 1994 – brněnská pobočka Výzkumného ústavu vodohospodářského v Praze

1973 až 1974 – asistent II

1974 až 1978 – asistent I

1978 až 1986 – samostatný výzkumný pracovník

1986 – vědeckotechnická atestace; B3

1986 až 1990 – vedoucí výzkumného oddělení a zástupce vedoucího pobočky

1989 – vědeckotechnická atestace; B2

1994 až dosud – fakulta chemická Vysokého učení technického v Brně; odborný asistent na ústavu chemie a technologie ochrany životního prostředí

9 ABSTRACT

In the submitted thesis, the determination of trihalogenmethane formation potential (THM FP) is presented as the empirical method useful for characterization of nonspecific water pollution by organic substances, which are easy liable to chemical and biochemical changes.

Conditions of the THM FP determination, which were found in technical literature, were modified for purposes of this thesis in order to use this method - in experimental conditions of our laboratory - for water quality monitoring and for assessment of drinking water treatment effectiveness in laboratory tests of treatment of surface water, which was artificially enriched by humic substances. Clarifying, ozonization and clarifying after preozonation there were used for model surface water treating. Test THM FP was for orientation used to complementary data acquisition at analysis of surface water from different sources and at monitoring of drinking water treatment processes under specific operational conditions in selected surface water treatment plants. Obtained values of the THM FP were compared with those of other water quality indicators. The attention was given to the analysis of UV-VIS spectra of tested water samples.

On the basis of selection and evaluation of assembled literary and own pieces of knowledge there was made the conclusion, that required perspective for broader use in technical practice - as one of criterion for the assessment of surface water quality and their changes - has the determination of THM FP in standard test conception. Under these conditions the test of THM FP enabled the comparison of water quality from different sources, the assessment of water quality changes in longer time series and water quality changes monitoring during different ways of water treatment with raised content of natural organic matter. In conjunction with standard and newly developed methods of water analysis, the test of THM FP can serve for intensifying the knowledge of the continuance of natural selfpurification processes in surface waters and for searching of more efficient procedures of surface water treatment.

10 PŘÍLOHA

Obrázek 6: Přehled lokalit odběru reálných vzorků vody

