

SOUČASNÉ AUTOMATICKÉ STANOVENÍ pH-METRICKÝCH, TURBIDIMETRICKÝCH, KOLORIMETRICKÝCH, KOAGULAČNÍCH, FLOKULAČNÍCH A SEDIMENTAČNÍCH KINETICKÝCH CHARAKTERISTIK ÚPRAVY VODY

RNDr. Petr Gabriel, Ph.D.¹⁾, doc. Ing. Petr Sladký, CSc.^{1,2)}

¹⁾ Katedra chemické fyziky a optiky, MFF UK, Ke Karlovu 3, 121 16 Praha 2,

²⁾ Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i., Dolejškova 1402/5 182 00 Praha 8
gabriel@karlov.mff.cuni .cz, sladky@karlov.mff.cuni.cz

ÚVOD

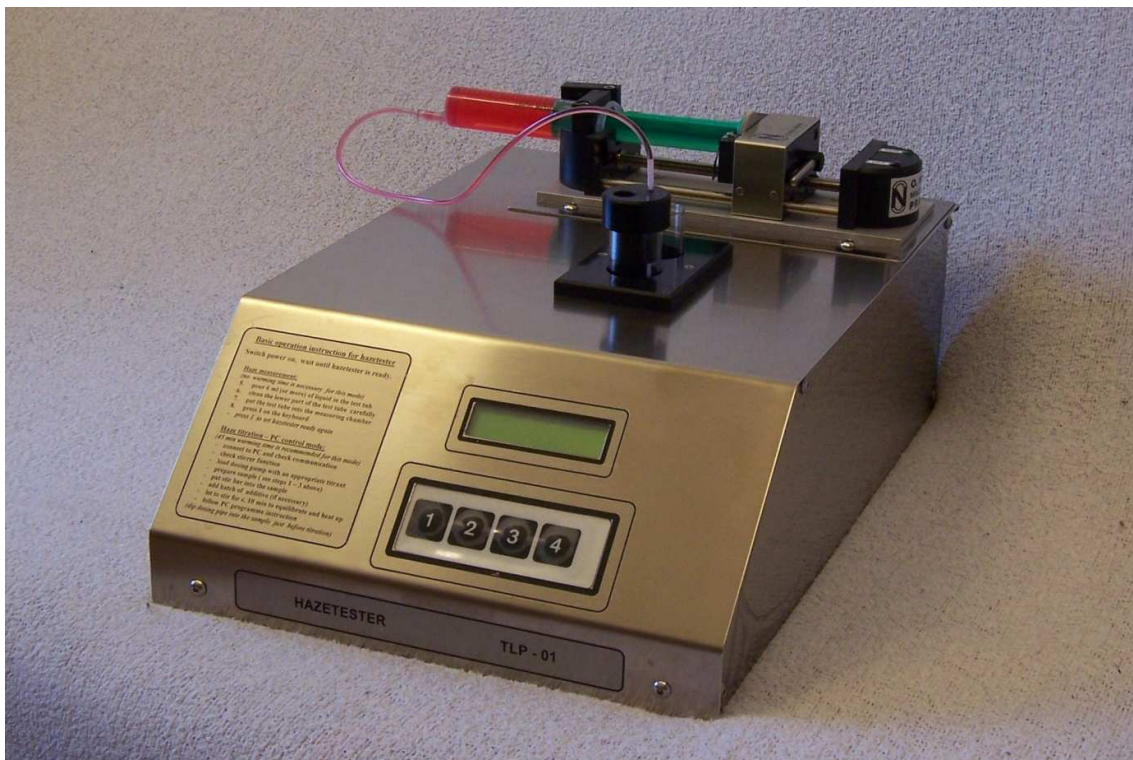
Nejběžnějším způsobem úpravy např. povrchových vod je čiření a sedimentace. Používá se i pro odpadní vody. Čiření spočívá v dávkování roztoků hydrolyzujících solí, např. železitých nebo hlinitých, do upravené vody. Čiření je komplexní proces, zahrnující jak chemické, tak fyzikálně-chemické a hydraulické procesy [1].

K výběru optimální technologie a při kontrole a řízení vodárenských provozů se nejčastěji používají laboratorní koagulační zkoušky, označované v praxi jako „sklenicové“ zkoušky. Sklenicové zkoušky se většinou provádějí ručně se šesti i více kádinkami v míchacím stroji. Rovněž jejich proměrování a zápis výsledků do tabulek či grafů se děje ručně. To je velmi zdlouhavé a analyticky málo produktivní. Podstatně větší rychlosti a analytické účinnosti laboratorních koagulačních zkoušek lze dosáhnout metodou kombinované turbidimetrické (nefelometrické) a pH/vodivostní titrace a fotosedimentografie pomocí modulární aparatury BETA 2010 s automatickým řízením, záznamem a vyhodnocením měřených dat na PC.

PŘÍSTROJE A METODY

Aparatura UK MFF KCHFO „BETA 2010“ - „Beverage Turbidity Analyser“, (model BETA 2010- Hazetester – viz obr. 1) byla navržena a realizována jako modulární víceúčelový laboratorní turbidimetr, fotosedimentometr a titrátor ke kontrole jakosti produkce a analýze technologických procesů ve vodohospodářství a nápojovém průmyslu [2]. Umožňuje provádět následující laboratorní a krátkodobé provozní úlohy:

- normativní měření turbidity ve zkumavkách a vialkách včetně centrifugačních kyvet o objemu 5 – 50 ml
- měření turbidity v průtokových celách
- termostatování a měření teplotních charakteristik a reakčních kinetik
- míchání kapaliny v průběhu měření různými rychlostmi
- titrační měření pomocí pístových byret nebo peristaltických čerpadel
- fotosedimentační měření
- turbidimetrické hodnocení filtračních zkoušek a krátkodobě i provozních filtrací
- měření růstových charakteristik mikroorganismů.



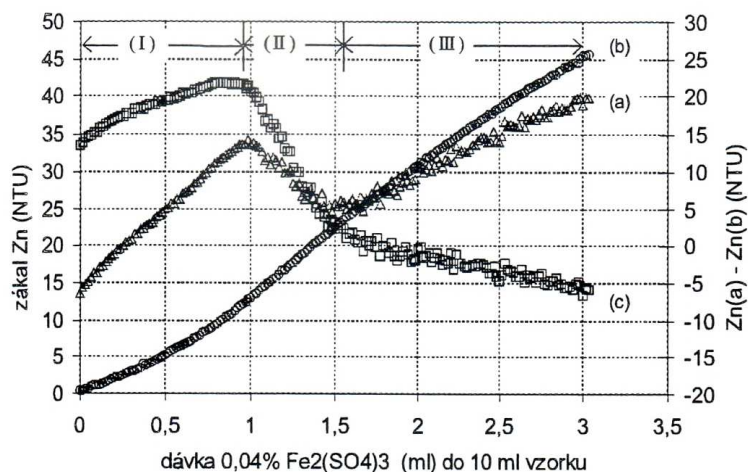
Obr. 1. Víceúhlový turbidimetr, sedimentometr a titrimetr UK MFF KCHFO „BETA 2010 – model Hazetester“

PŘÍKLADY VÝSLEDKŮ POUŽITÍ APARATURA „BETA 2010“

Vybrané příklady výsledků měření koagulačních zkoušek vzorků surové vody pomocí BETA 2010 jsou uvedeny na přiložených obrázcích 2 - 6. Na obr. 2 – 4 jsou vyneseny v SW Excel (Microsoft), na obr. 5 a 6 v původním SW aparatury BETA 2010.

Na obr. 2 je ukázán průběh nefelometrické titrace síranem železitým do objemu 10 ml neupravené vody (V) v běžné chemické zkumavce o průměru 18 mm, míchané magnetickým míchadlem s možností změny počtu otáček za minutu. Z nefelometrické titrační charakteristiky procesu (a) lze stanovit převážně hydrolytickou fázi (I), tvorbu prvních floků na počátku flokulační a sedimentační fáze (II), pokračující fází nadbytečné dávky koagulantu (III). Uvedená charakteristika koreluje např. s průběhem závislosti CHSK a zvláště závislosti zbytkového koagulantu na jeho dávce (viz např. [1] – obr. 3.2.6 a obr. 3.2.7 na str. 77).

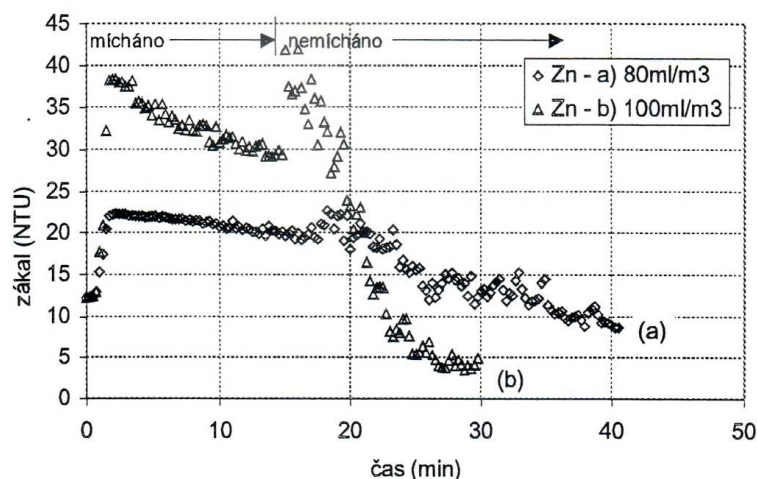
Pro srovnání je na obr. 2 ukázána křivka (b) nefelometrické titrace stejným roztokem síranu železitého do vzorku běžné laboratorní destilované vody (přibližně stejného pH jako u vzorku (a)), vyznačující se hladce a spojitě rostoucím průběhem v závislosti na dávce koagulantu, který ihned od počátku dávkování vytváří zákal hydrolyzátu bez zjevné tvorby floků. Jestliže formálně odečteme od křivky (a) křivku (b) dostaneme křivku (c), charakterizující relativní vyčiření vzorku vody (a) v procesu spojitě titrace daným koagulantem při zvolené rychlosti míchání a teplotě. Optimální dávka koagulantu je v okolí maxima hodnoty zákalu na konci fáze (I).



Obr. 2. Průběh nefelometrické titrace síranem železitým objemu 10 ml neupravené vody „V“ v běžné chemické zkumavce o průměru 18 mm, míchané magnetickým míchadlem s možností změny počtu otáček za minutu

Pomocí aparatury BETA 2010 lze uvedenou zkoušku provést různými rychlostmi míchání v intervalu 0 – 600 otáček za minutu vestavěným modulem imersního magnetického míchadla a v teplotním oboru 5 – 50°C (+/-0,1°C) pomocí modulu Peltierova termostatu, který je rovněž součástí sady příslušenství aparatury.

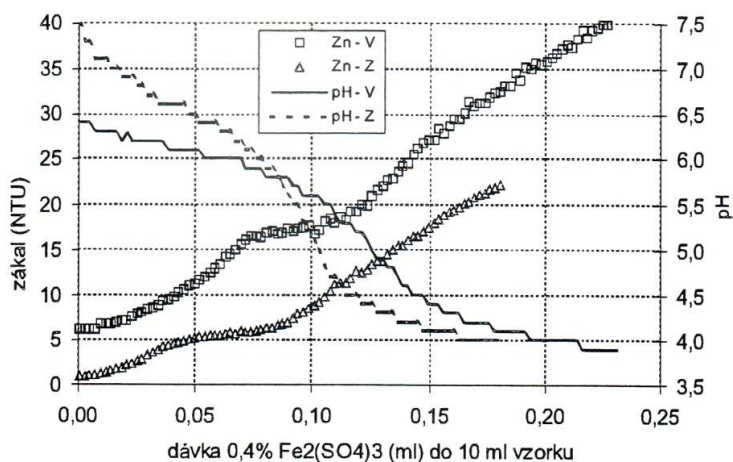
Vedle titračních a míchacích koagulačních zkoušek umožňuje aparatura BETA 2010 i relativní fotosedimentografická měření, jak je patrné z křivek na obr. 3. Je vidět, že sedimentace floků probíhá rychleji při dávce koagulantu v okolí optima jak v míchaném, tak i nemíchaném režimu.



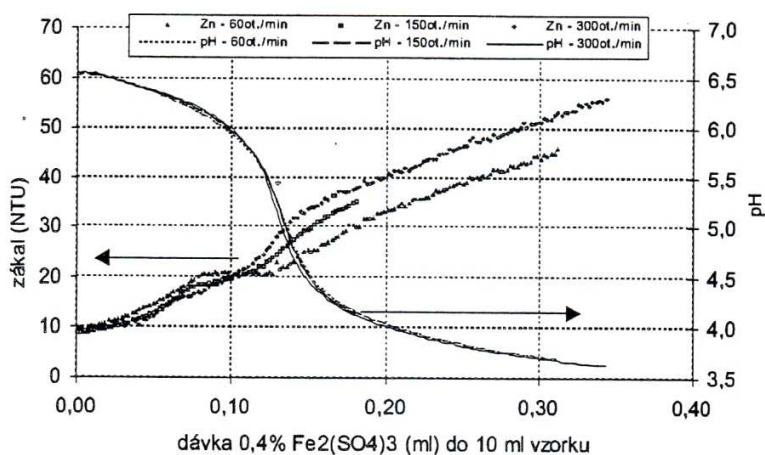
Obr. 3. Ukázka průběhu (kinetiky) nefelometrického zákalu po jednorázové dávce podprahového množství koagulantu (a) a množství v okolí optimální dávky (b)

Aparaturou BETA 2010 lze automaticky provádět i standardní pH či vodivostní titrace zkoušených vod, nebo navíc, současně s nefelometrickým záznamem. To je mimořádně významné pro zvýšení výpovědní hodnoty koagulačních zkoušek, jak je patrné z příkladu výsledků měření ukázaných na obr. 4. a, b. Uvedený příklad ilustruje

rozdílnost průběhu koagulace vzorků dvou různých surových vod (V) a (Z) síranem železitým, přičemž nefelometrické titrační charakteristiky se vyznačují na první pohled větším analytickým rozlišením než pH titrační charakteristiky. Navíc pH titrační charakteristiky prakticky minimálně informují o vlivu míchání na flokulační fázi (II) koagulačního procesu (viz obr. 4.b).

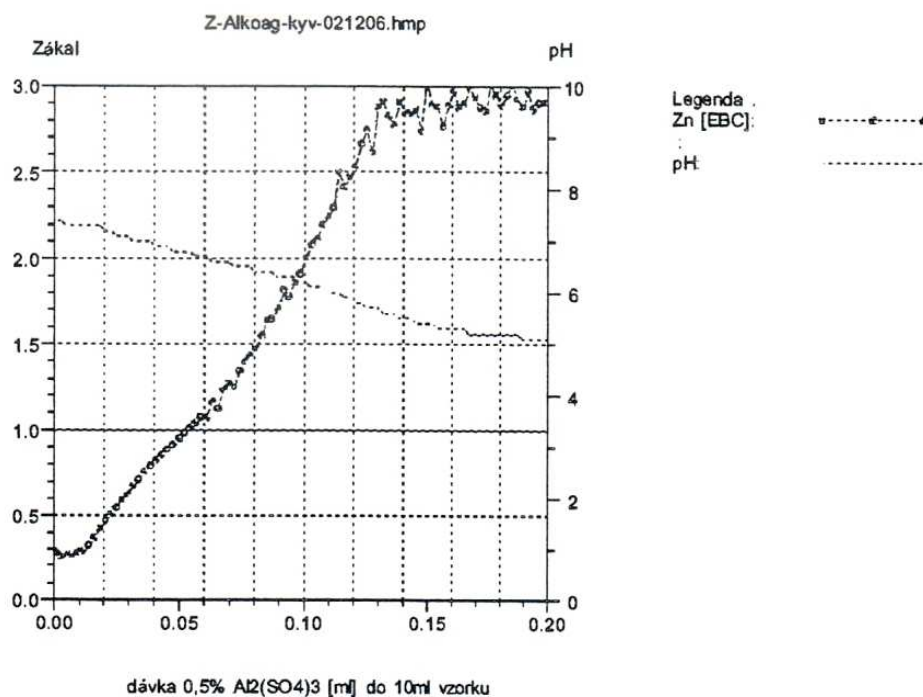


Obr. 4a. Srovnání nefelometrické a současně snímané pH titrační charakteristiky vody (V) a (Z) koagulantem 0,4% $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ do výchozího objemu 100 ml vzorku vody v kádince 250 ml. (dávkováno rychlostí 4/60 ml za minutu; přepočteno na výchozí objem 10 ml). Zde pH vyneseno pouze s rozlišením 0,1; jinak 0,01. Rozlišení zákalu 0,01 NTU.

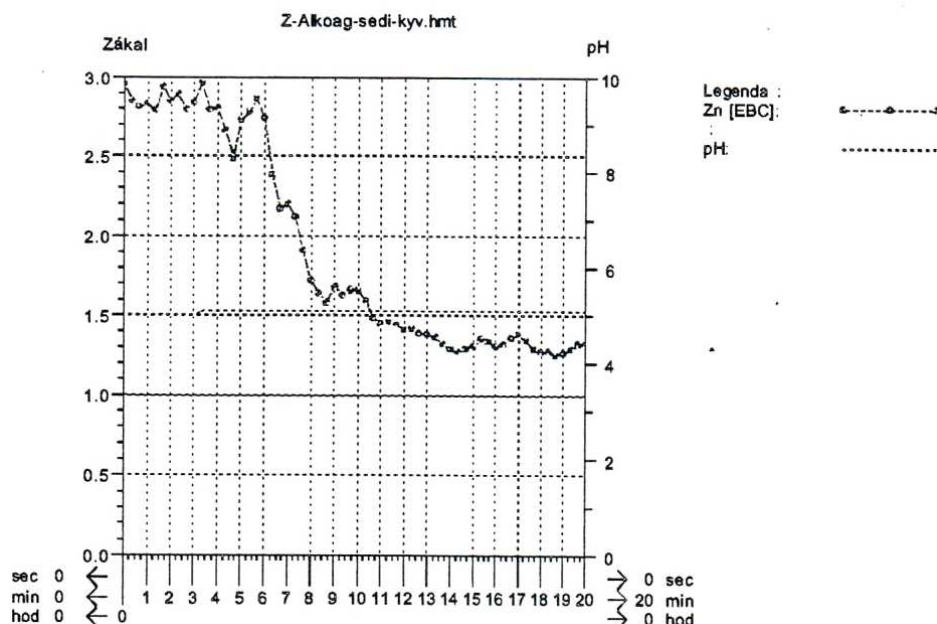


Obr. 4b. Srovnání nefelometrických a pH titračních charakteristik vody (V) síranem železitým při různých rychlostech míchání. Rozlišení zákalu 0,01 NTU, rozlišení pH 0,01

Konečně na obr. 5 a 6 jsou ukázány kombinované nefelometrické a pH titrační a sedimentační charakteristiky vzorku surové vody (Z) titrované a koagulované síranem hlinitým. Rovněž tyto charakteristiky se vyznačují vysokou analytickou účinností. Např. fotosedimentační charakteristika vzorku surové vody (Z), ukázaná na obr. 6, má na konci flokulační fáze poměrně úzkou distribuci velikosti floků, jak ukazuje pokles hodnoty nefelometrického zákalu v krátkém časovém intervalu.



Obr. 5. Příklad současně měřené nefelometrické a pH titrační charakteristiky vody (Z) síranem hlinitým.
Originální záznam SW aparaturou BETA 2010. (1 EBC=4 NTU)



Obr. 6. Příklad sedimentační kinetiky a hodnot pH současně měřených SW aparaturou BETA 2010 na konci titrace uvedené na obr. 5 po vypnutí míchadla (1 EBC=4 NTU)

ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že aparatura BETA 2010 umožňuje analyzovat koagulační procesy většiny surových vod rozličného původu a složení ve vztahu k použitým hlavním i pomocným koagulantům a postupům úpravy včetně kroků předúpravy. Dovoluje účinně sledovat ovlivňování koagulačních, sedimentačních, resp. i filtračních procesů úpravy vody změnou parametrů, jako jsou např. teplota, hydraulické poměry, pH, iontová síla, redox potenciál, molekulová hmotnost, zeta potenciál, atp. Tyto parametry lze pomocí aparatury BETA 2010 kombinovanými titračními metodami i nepřímo stanovit. V neposlední řadě lze aparaturu BETA 2010 použít i pro analýzu a kontrolu úpravy odpadních vod a přirozeně i vod přírodních, jakož i ostatních roztoků a kapalných disperzí až do hodnot nefelometrického zákalu 4000 NTU. Na přání je aparatura BETA 2010 dodávána i s detektory dopředného, resp. zpětného rozptylu bílého či monochromatického světla ve spektrálních pásmech 860 nm dle [3] resp. 435, 525, 650 nm dle [4].

Literatura

1. Žáček L.: Chemické a technologické procesy úpravy vod. Vydavatelství NOEL, Brno, 1999.
2. Sladký P., Gabriel P.: Víceúhlová turbidimetrická titrační a sedimentografická analýza vodných roztoků a disperzí pomocí BETA 2000/2010. Učební pomůcka pro speciální praktikum chemické fyziky a optiky, KCHFO UK MFF, Praha, 2002-2012, neotiskáno.
3. ČSN EN ISO 7027: Jakost vod - Stanovení zákalu (ISO 7027:1990). Český normalizační institut 1996.
4. ČSN EN ISO 7887: Jakost vod - Stanovení barvy (ISO 7887:1994). Český normalizační institut 1996.