ANALÝZA POČTŮ A VELIKOSTNÍ DISTRIBUCE ČÁSTIC V TECHNOLOGII ÚPRAVY VODY – PŘÍKLADY ZE SLEDOVÁNÍ FLOTACE A FILTRACE

doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.[1,2)], Ing. Pavel Dobiáš [1)], Jana Burianová [2)]

[1)] W&ET Team
Box 27, Písecká 2, 370 11 České Budějovice

[2)] FCh VUT, Brno
e-mail: petr.dolejs@cmail.cz

Úvod

Dlouhodobým cílem všech procesů, které se aplikují při úpravy pitné vody je, aby se výsledný produkt – pitná voda – co nejvíce přiblížil ideální kvalitě. Jedním ze základních požadavků, které jsou ať přímo či nepřímo celosvětově zahrnuty i v legislativě týkající se kvality pitné vody je, aby pitná voda obecně obsahovala co nejnižší koncentrace organických látek, koloidů a partikulí (částic). V ideálním případě by koncentrace organických látek, koloidů a počty částic v pitné vodě měly být nulové.

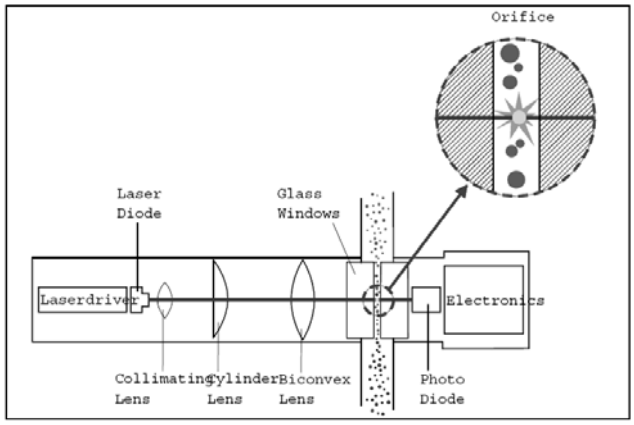
Tento obecný požadavek však není jak z ekonomických tak technických důvodů zatím splnitelný a snažíme se k němu jen co nejvíce přiblížit. Míra přiblížení k tomuto ideálu je ale současně i analyticky velmi obtížně zjistitelná. Byla proto vyvinuta řada zástupných (nespecifických, skupinových) stanovení, která tuto míru přiblížení hodnotí a podle nich většinou volíme, navrhujeme a provozujeme technologické soubory úpraven pitné vody.

Příkladem těchto stanovení je chemická spotřeba kyslíku, barva či zákal. Tyto jmenované parametry patří také mezi ty nejstarší, které se v technologii úpravy vody používají. Vývoj však jde nezadržitelně a stále dopředu. Jak nové požadavky na kvalitu pitné vody, tak technologické procesy (jak zcela nové, tak i ty klasické) vyžadují také podrobnější údaje pro stanovení optimálních návrhových a provozních parametrů. Použití nových metod měření a sledování provozních parametrů není samoúčelné a většinou vede, vedle zlepšení kvality produktu, také k ekonomickým úsporám jak na straně investičních nákladů (když jsou tyto metody použity při kvalitně prováděné předprojektové přípravě) tak provozních nákladů (když s těmito metodami provozovatel zvládne práci a dokáže využít jimi poskytovaných informací).

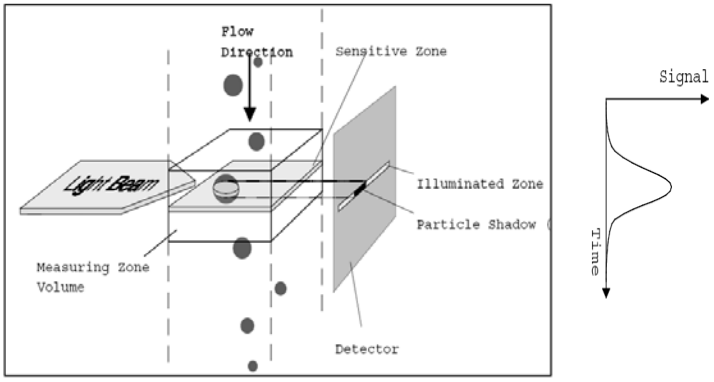
Jedním z významných pokroků vodárenské instrumentace v posledních letech je využití analyzátorů počtů částic a jejich velikostní distribuce. Na našich úpravnách zatím nepracuje žádný, avšak ve vodárensky vyspělých zemích se již staly standardem sledování kvality vody jak podél technologické linky, tak upravené vody. Můžeme je vidět jako základní přístroje pro sledování procesů úpravy od USA, přes Evropu až po Japonsko či Jižní Koreu. Proto jsme se v naší práci zaměřili na využití možností, které tyto, ve vodárenství relativně nové avšak současně již cenově velmi dostupné, přístroje nabízejí.

Princip měření velikosti a počtu částic

Princip měření počtů a velikostní distribuce částic je na obr. 1 a 2, které jsou převzaty a upraveny z přednášky *Kanzler S., (2003)*. Světlo laserové diody je přizpůsobeno požadavkům měření vhodnou optikou a prochází měřící kyvetou, za kterou je senzor. Signál senzoru je zpracováván elektronicky a vyhodnocuje tvar impulsů, které v senzoru generují procházející částice. Tvar impulzu při průchodu jedné částice je znázorněn na pravé straně obr. 2.



Obr. 1. Schéma uspořádání analyzátoru počtu částic



Obr. 2. Detail měřící cely a princip měření počtů a velikostní distribuce částic

Využití analýzy počtů a velikostní distribuce částic v technologii úpravy vody

Analýza počtů a velikostní distribuce částic se v moderních postupech sledování a řízení technologických procesů úpravy vody ukazuje jako metoda, která je pro posouzení účinnosti vodárenských separačních zařízení velmi výhodná. Poskytuje nejen informace o množství částic, které měřeným místem procházejí, ale také informaci o velikostní distribuci procházejících částic. Oproti měření zákalu se jedná o podrobnější analýzu kvality filtrátu a tedy i účinnosti separace, ať už se jedná o samotný filtr nebo jiný bod v technologické lince úpravny. Sledování počtu částic v tomto případě může nahradit kontinuální měření zákalu, které je zatím ve většině vodárenských provozů u nás poměrně běžné. Měření analyzátorem částic nám však na rozdíl od jiných metod umožnilo např. velmi podrobně sledovat celý filtrační cyklus.

Laserový počítač částic má oproti klasickému měření zákalu výhodu v tom, že jsme schopni popsat průnik vloček různých velikostí filtrem či jiným separačním stupněm, což měření zákalu neumožňuje (*Miska a kol. 2006*). Měření zákalu je jen ***kvalitativní***, zatímco měření velikostní distribuce částic nám umožňuje velmi přesně ***kvantifikovat*** množství částic různých velikostí. Proto je také zaváděno např. jako základní indikátor možného průniku nebezpečných prvoků *Cryptosporidium* a *Giardia*.

Zatímco při měření zákalu může stejný výsledek odpovídat buď malému počtu velkých částic a nebo velkému počtu malých částic suspenze, analyzátor velikostní distribuce částic tyto dva zcela odlišné stavy přesně determinuje. To vyplývá i z fyzikálního principu obou způsobů měření. Měření zákalu je založeno na principu detekce celkového rozptýleného (či zadrženého) světla od jednotlivých částic, zatímco sledování počtu částic je na principu měření změn intenzity laserového paprsku blokovaného jednou každou částicí.

Analýza velikostní distribuce částic má také jednu další a velmi podstatnou výhodu. Může poskytnout výsledky s mnohem větší citlivostí než měření zákalu. *Jacangelo a kol. (1991)* a *Adham a kol. (1995)* uvádějí, že při nízkých hodnotách zákalu (pod 0.1 NTU) jsou analyzátory částic až 300x citlivější než zákaloměry. Zjistili to například při hledání vadných membránových svazků. Lze říci, že zatímco s klesající hodnotou zákalu se stává měření zákalu méně stabilním a odolným proti různým nepřesnostem, šumům a interferencím, u počítače částic je to naopak, protože měření menšího počtu částic je z hlediska poměru signálu k šumu a také tvaru signálu elektronicky snáze vyhodnotitelné, protože se omezuje možnost vzájemného spojování, zastiňování či překrývání procházejících částic. Navíc se u měření počtů částic prakticky neuplatňuje to, co je často velkým problémem při provozním měření zákalu – posun nuly v čase a následné generování nesprávných hodnot při znečištění měřící kyvety. Tuto výhodu analyzátoru částic jsme si ověřili mnohokrát ve vlastní praxi při téměř ročním používání analyzátoru *ARTI WPC–22 (Hach–Lange)*.

Výstup z počítače částic je velmi zajímavý např. ve velikostním rozsahu 5 – 7 μm a 7 – 10 μm. Tato rozmezí velikosti částic jsou totiž charakteristická pro mikroorganismy typu *Cryptosporidium* a *Giardia*. Z toho plyne, že se toto zařízení výborně hodí také pro obecný monitoring funkce filtrace vrstvou zrnitého materiálu i vzhledem k ochraně před průnikem těchto nebezpečných prvoků do pitné vody, (*Yu a kol. 2006*), i když samozřejmě nenahrazuje jejich stanovení.

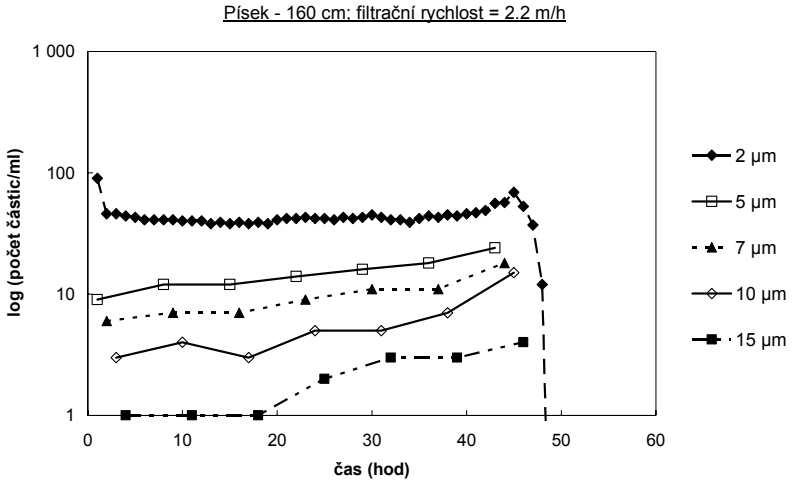
Kromě toho, že lze lépe vypozorovat například průnik mikroorganismů filtrační náplní, je možné využít analyzátor velikosti částic pro sledování vlivu změn chemismu vody, tj. pro nastavení správné funkce koagulace a následně prvního či druhého separačního stupně úpravy vody (*Xu a kol. 2006*). To jsme si ověřili také v našich experimentech při měření na flotaci.

Výhodou analyzátoru částic je také to, že může být částečnou ochranou před jinak těžko pozorovatelným průnikem organismů (a dokonce částečně i bakterií). Zatímco při klasickém přístupu sledování kvality vody se snažíme bakterie v pitné vodě kultivovat a až po určité době získáme kvantitativní informaci, (avšak jen o těch bakteriích, které kultivovat umíme), analyzátor částic dává okamžitou a kontinuální informaci o počtech částic, které jsou zhruba stejně velké jako bakterie, jejichž velikost je většinou mezi 0.3 – 10 μm. Podobně je tomu i u sledování počtů organismů, protože velikost většiny z nich se pohybuje od 5 do 100 μm.

Výsledky měření počtů a velikostní distribuce částic po filtraci a flotaci

Při našich měřeních jsme sledovali jednak kvalitu filtrátu z poloprovozních modelů (resp. separační účinnost filtrace) na dvou různých úpravnách, jednak kvalitu odtoku z flotace na ÚV Mostiště. Analyzovali jsme partikule v rozsahu od 2 do 100 μm. Pro toto měření byl použit počítač částic typu *ARTI WPC–22 (Hach–Lange)*. Měřící cela má rozměry 800 x 800 μm, laser pracuje při vlnové délce 780 nm a analyzátor zvládá s vynikající přesností měřit vzorky s obsahem až 15 000 částic v ml. To je pro běžné použití zcela postačující. Námi používaný analyzátor měří počty částic celkem v 7 kanálech. První kanál měří počet částic v rozmezí 2-5 μm, další kanály měří v rozsahu 5-7 μm, 7-10 μm, 10-15 μm, 15-25 μm, 25-50 μm a 50-100 μm.

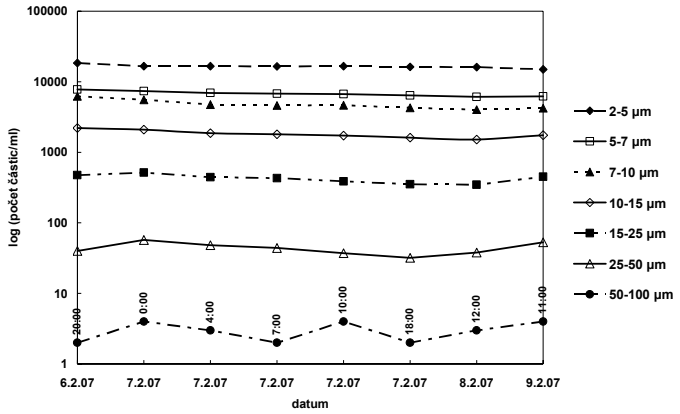
Výsledky měření jsou pro lepší přehlednost prezentovány všechny v grafické podobě. Na obr. 3. jsou výsledky sledování filtračního cyklu modelového jednovrstvého filtru. Vidíme, že fáze zafiltrování byla velmi krátká a prakticky se ukázala jen na částicích 2 μm. Dále vidíme, že i když byl filtr provozován při velmi nízké filtrační rychlosti, zejména v druhé polovině filtračního cyklu narůstá počet větších částic, které z filtru unikají do upravené vody. Nejvíce je to patrné u kategorie částic větších než 15 μm.



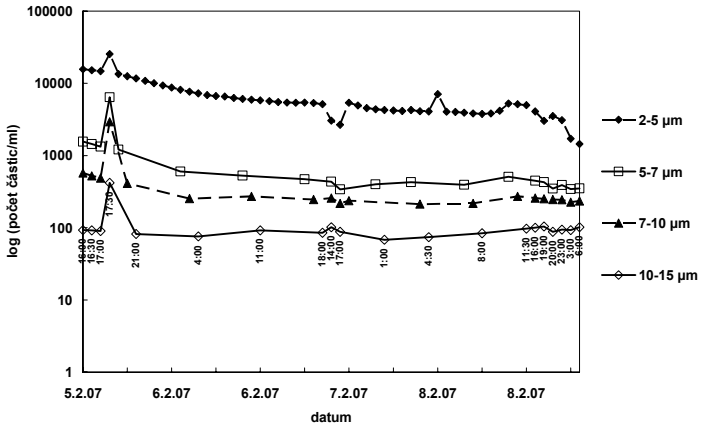
Obr. 3. Počty částic v průběhu modelového filtračním cyklu

Obr. 4 a 5 ukazují srovnání časového průběhu počtu a velikostní distribuce částic při sledování surové vody jednak z řeky Jizery (obr. 4) a vody filtrované přes modelový dvouvrstvý filtr (obr. 5), který byl provozován bez dávkování koagulantu. Velmi dobře můžeme posoudit separační účinnost jednotlivých velikostních kategorií částic. Porovnání separační účinnosti při různých kompozicích dvouvrstvé náplně pak umožní optimalizovat návrh tohoto separačního stupně pro konkrétní aplikaci.

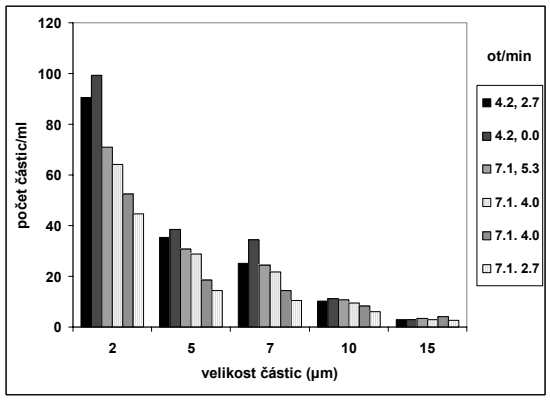
Výsledky pro poslední dva obrázky byly naměřeny na flotační jednotce ÚV Mostiště. Obr. 6 ukazuje vliv různých intenzit míchání v prvním a druhém agregačním reaktoru na separační účinnost flotace. Vidíme, že při nastavení, kdy první míchadlo se otáčelo rychlostí 4.2 ot/min a otáčení druhého míchadla bylo zastaveno, byl na odtoku z flotace naměřen dvojnásobný počet částic ve čtyřech kategoriích nejmenších částic (od 2 do 10 μm) oproti optimalizovanému míchání, které bylo nalezeno při 7.1 ot/min u prvního míchadla a 2.7 ot/min u druhého míchadla. Pro srovnání uvádíme i údaje o zákalu na odtoku z flotace, které jsou na obr. 7.



Obr. 4. Počty částic v surové vodě z řeky Jizery

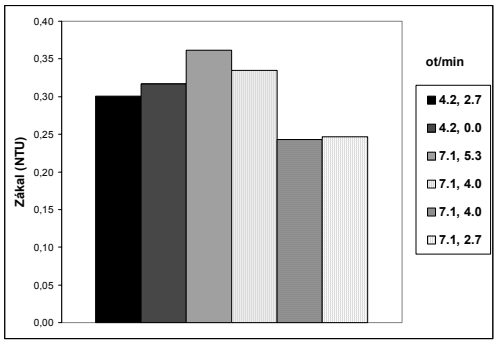


Obr. 5. Počty částic ve vodě z řeky Jizery po filtraci bez koagulace.



Obr. 6. Počty a velikostní distribuce částic za flotací v závislosti na intenzitě míchání v agregačních reaktorech

Můžeme také pro zajímavost srovnat výsledky analýzy částic z poloprovozního modelového filtru, provozovaného navíc při velmi nízké filtrační rychlosti a výsledky z provozní flotace na ÚV Mostiště, která byla v době měření provozována nad návrhovým průtokem a je to navíc „pouhý“ první separační stupeň úpravy. Z porovnání výsledků vidíme, že separační účinnost částic v kategorii velkostí od 2-5 µm (označené na obrázcích jako 2 µm) je prakticky srovnatelná a další kategorie částic mají u flotace jen zhruba dvojnásobné počty částic oproti filtraci. To je velmi významné zjištění, které přesvědčivě dokumentuje, jak obrovskou separační účinnost může dobře navržená a kvalitně provozovaná flotace mít.



Obr. 7. Vliv různé intenzity míchání v agregačních reaktorech na zákal za flotací

V obr. 6 i 7 jsou zahrnuty také výsledky, kdy jsme testovali vliv optimalizace dávky koagulantu. Při dvou identických nastaveních míchání (7.1 a 4.0) jsme se zvýšením dávky koagulantu o pouhá 3 % přiblížili k optimální dávce koagulantu. Zvýšená dávka je označena sloupečky s vodorovným šrafováním. Vidíme, že optimalizace dávky je velmi významná a může zřetelně snížit počty částic i zákal ve vodě opouštějící separační stupeň.

Závěry

- Analýza počtů a velikostní distribuce částic přináší nové možnosti kontinuálního sledování a řízení procesů úpravy vody. Je to velmi citlivá metoda pro zjišťování separační účinnosti jednotlivých stupňů úpravy vody, sledování a řízení provozu úpraven a pro optimalizaci řady provozních parametrů úpraven vody (intenzity míchání, dávky koagulantu, délky filtračního cyklu atp.).
- V současnosti jsou u nás k dispozici cenově dostupné přístroje, které mají vynikající užitné vlastnosti a jsou dlouhodobě spolehlivé. Z těchto důvodů by se měl analyzátor počtu částic stát brzy standardním vybavením našich moderních úpraven stejně tak, jako je tomu ve vodárensky rozvinutém zahraničí.
- Naše měření ukázalo, že dobře navržená a provozovaná flotace má vynikající separační účinnost, která se těsně blíží separační účinnosti i velmi málo hydraulicky zatěžované filtrace.

Poděkování

Děkujeme jednak provozovateli ÚV Mostiště, VAS a.s., že nám bylo umožněno měření na úpravně v rámci diplomové práce a také provozovatelům dalších dvou úpraven, na kterých byla prováděna poloprovozní měření filtrace.

Literatura

1. Adham S.S., a kol. (1995): Assessing integrity. J. AWWA, Vol. 87, 62-95.
2. Jacangelo J.G. a kol. (1991): Low-pressure membrane filtration for removiny Giardia and microbial indicators. J. AWWA, Vol. 83, 97-106.
3. Kanzler S.: Soukromé sdělení, PAMAS GmbH, 2003.
4. Miska V., Van der Graf J.H.J.M., de Konig J. (2006): Improvement of monitoring of tertiary filtration with particle counting, Water Science and Technology: Water Supply, Vol. 6, No. 1, pp 1 – 9.
5. Yu M.J., Ahn S.K., Chung S.H., Noh S., Park J.A., Rhim Y.T., Jheong W.H., Chung H.M. (2006): Evaluation of the rapid filtration system with particle size distribution and *Cryptosporidium* in different operating conditions. Water Science and Technology: Water Supply, Vol. 6, No 1, pp 129 – 139.
6. Xu G.R., Fitzpatrick C.S.B. (2006): The effects of filtration temperature and alum dosing on *Cryptosporidium* sized particle breakthrough. Water Science and Technology: Water Supply, Vol. 6, No. 1, pp 193 – 200.