

Technologické aspekty a předprojektová příprava rekonstrukce tvorby suspenze na ÚV Karolinka

Ing. Petr Dolejš, CSc.

W&ET Team, Box 27, Písecká 2, 370 11 České Budějovice

1. Úvod

Kvalita surové vody z ÚN Karolinka se v posledních letech v určitých obdobích roku poněkud zhoršuje, nicméně je to v zásobovaném regionu jednoznačně nejvhodnější a také nej kvalitnější zdroj surové vody pro úpravu na vodu pitnou. Na úpravě se díky podrobnému sledování ze strany provozovatele několikrát projeví potenciální problémy s kvalitou surové vody zejména jako následku eutrofizace a je nezbytné se v technologickém schématu pojistit jak proti možnému pokračování tohoto trendu, tak proti třeba jen krátkodobým výkyvům kvality surové vody, které mohou nastat po rychlém tání na jaře či po příválových deštích. Je jistě velice pozitivní, že se provozovatel tomuto „varování přírody“ plně věnoval a učinil rozhodnutí, jak se s ním v budoucnosti v provozu úpravny vyrovnat. O tom budou jistě podrobněji referovat autoři z VaK Vsetín, a.s.

Surová voda z ÚV Karolinka je málo mineralizovaná, má však také velice nízký obsah organických látek (CHSK_{Mn} se pohybuje většinou pod 2 mg/l). Úpravna Karolinka je jednostupňová. Surová voda prakticky ve všech ukazatelích splňuje kvalitativní požadavky normy Pitná voda, nicméně jako problém se ukázal periodický výskyt vyšších počtů organismů. Na výsledcích, které byly publikovány z provozu a experimentů na některých úpravnách, které např. provozuje SČVK a.s. Teplice (Meziboří, Bedřichov a Souš), je možné dokumentovat, že problematika úpravy málo mineralizovaných vod je v některých ohledech specifická a mnohdy vyžaduje hledání nestandardních řešení. Odborná světová literatura, jak její teoretické zázemí tak praktické zkušenosti, nejsou v této oblasti natolik rozsáhlé, aby dovolily optimální řešení konkrétních problémů bez experimentálních laboratorních testů a poloprovozních pokusů na konkrétních lokalitách. Také se ale ukazuje, že pokud je předprojektová příprava dobře technologicky zvládnuta a řešení je postaveno na kvalitních odborných základech, má to výrazně pozitivní ekonomické dopady, které vedou k dosažení vysokého separačního účinku úpravny při současně významně nižší investiční náročnosti ve srovnání s „klasickými“, tj. extenzivními způsoby řešení, které vycházejí z podcenění úlohy procesů, které při úpravě probíhají. Úspory investičních nákladů, dosažené aplikací těchto postupů, se z hlediska vlastníka infrastrukturního majetku pokusil vyčíslit Pácalt [1] a zjistil jejich výši řádu desítek milionů na jedné úpravě.

2. Podstata a východiska realizovaného řešení

Provedenými laboratorními pokusy a také orientačními provozními experimenty bylo zjištěno (zejména vyhodnocením filtračních cyklů a měřením rozložení tlakové ztráty ve filtrační náplni), že instalovaná mechanická míchadla při provozu nijak nepomáhala vzniku dobře filtrovatelné suspenze. Provoz však při mírně zhoršené kvalitě surové vody, která vyžaduje vyšší dávku koagulantu (do 20 mg/l síranu hlinitého), lepší přípravu suspenze vyžaduje. To bylo již zjištěno i v minulosti provozovatelem úpravny vody. Laboratorní testy také ukázaly, že použití alternativních koagulantů není v tomto konkrétním případě nijak slibné.

Postupným hodnocením vlivů nejvýznamnějších technologických proměnných, laboratorním a provozním měřením byly získány základní podklady pro návrh nejvhodnějšího technologického uspořádání stupně přípravy suspenze pro pískovou rychlofiltraci na ÚV Karolinka.

Návrh řešení primárně spočívá ve využití tlakového spádu, který je k dispozici na úpravně a využití stavební dispozice stávajících flokulačních nádrží. Disipace potenciální energie, která je na začátku flokulace k dispozici, bude účelně využita k tomu, aby v systému zajistila maximální přiblížení vhodné oblasti středního rychlostního gradientu (G). Toho bude dosaženo instalací děrovaných norných stěn. Jejich sekundární funkcí bude výrazné zlepšení hydraulické charakteristiky flokulačních nádrží a přiblížení charakteru proudění ve flokulaci pístovému toku. Z literatury a teoretických poznatků [2] vyplývá, že mechanicky míchané reaktory tak, jak byly na ÚV Karolinka vyprojektovány, nejsou z hlediska hydraulické charakteristiky vhodné.

Míchání děrovanými stěnami umístěnými kolmo ke směru proudění vody v agregačních reaktorech (flokulačních nádržích) není v technologii úpravy vody neznámé. O vlastním vtipném řešení které umožňuje měnit plochu otvorů ve stěnách, tj. o nastavitelných norných stěnách, referoval již v řadě příspěvků Halámek. Uvádím zde jen některé nejnovější odkazy [3-7]. Při zpracování předprojektové přípravy a návrhu technologické linky pro ÚV Meziboří jsem použít nastavitelných norných stěn podle Halámka navrhl jako součást nově budovaného agregačního reaktoru (tj. reaktoru, ve kterém vzniká suspenze částic vhodných pro další separační stupeň, a který je hovorově nazýván také reakční nádrž, flokulace, rychlé či pomalé míchání atp.), protože toto řešení bylo pro tuto lokalitu za daného stavu poznání nejvýhodnější.

Vhodnost návrhu míchání děrovanými stěnami se později v provozu této ÚV jednoznačně potvrdila. Při provozním měření na rekonstruované technologické lince, která jsem prováděl pro vyhodnocení a optimalizaci provozu ÚV Meziboří, byly získány další významné poznatky, které pomohly i při návrhu agregačních reaktorů na dalších úpravnách. Z těchto měření jsem odvodil, že pro jednostupňové úpravy není v praxi nastavitelnost děrovaných stěn potřebná. Na rozdíl od jednostupňových úpraven se požadavky na velikostní distribuci částic totiž výrazně liší v případech dvoustupňových úpraven, kdy je jako separační stupeň po agregaci zařazena např. sedimentace. Pro ÚV Souš a ÚV Bedřichov jsme i na základě těchto poznatků projektově připravili rekonstrukci agregace suspenze s použitím nenastavitelných děrovaných stěn. Výsledky těchto rekonstrukcí plně potvrdily předpoklady odvozené z měření na ÚV Meziboří o očekávané funkci a vhodné koncepci nenastavitelných děrovaných stěn v technologické lince jednostupňové úpravy. Bylo o nich zatím jen krátce referováno v [8]. Těchto výsledků bylo také použito při návrhu a předprojektové přípravě děrovaných stěn pro rekonstrukci agregačního reaktoru ÚV Karolinka.

Řešení, které bylo navrženo, je založeno na tom, že v systému úpravy před nátokem na filtry je k dispozici pro disipaci energie určitý rozdíl hladin. Tento rozdíl hladin byl využit k získání rychlostního gradientu v agregačních reaktorech namísto mechanických míchadel. Získání tohoto rychlostního gradientu při klasickém řešení mechanickými míchadly vyžaduje velké množství elektrické energie. Instalovaná míchadla měla příkon 4 kW, což při jejich provozu představovalo celkový odběr 32 kW, tj. denní spotřebu 768 kWh.

Počty děrovaných norných stěn jsou v návrhu systému míchání jednou z proměnných.

Zadavatelem nebyl jejich počet limitován, nicméně ukázalo se jako výhodné, aby jejich počet vhodně zapadal do současného stavebního uspořádání, tj. zejména dispozice a vystrojení reakční nádrže. Také ekonomické důvody vedou k tomu, aby počet stěn byl volen jako kompromis mezi teoreticky ideálním vypočteným počtem na jedné straně a v konkrétním případě prakticky realizovatelným počtem na straně druhé.

Vlivu malé vodní elektrárny (která byla na ÚV Karolinka v poslední době také instalována) na účinnou a rychlou homogenizaci dávkovaného koagulantu s proudem surové vody bude ještě věnována pozornost v budoucnosti. Provozovateli by také podán impuls pro řešení konstrukce homogenizačního elementu prezentací popisu podobného zařízení v zahraniční literatuře. Realizace tohoto zařízení na ÚV Karolinka byla jistě velice podařeným technologickým prvkem, který nepředstavoval investičně téměř žádné nároky.

3. Výsledky rekonstrukce agregačních reaktorů

3.1 Výchozí podmínky měření

Měření byla prováděna od 28. 10. do 1. 11. 1999 při kvalitě surové vody, kterou je možno charakterizovat počty organismů ve výši 4060 jedinců. Jednoznačně převažujícím organismem byla rozsivka *Stephanodiscus hantzschii* (biologický rozbor provedl RNDr. Jan Válek). Tento počet organismů je pro kvalitu surové vody z nádrže Stanovnice atypický, avšak lze usuzovat, že se v budoucnosti bude periodicky opakovat a může dosahovat až hodnoty kolem deseti tisíc jedinců. Načasování měření bylo tedy přesné, protože byla prováděna těsně po odeznění vrcholu počtů organismů v surové vodě.

Vyhodnocení funkce agregačních reaktorů bylo předmětem dále uvedených provozních experimentů.

3.2 Vznik separovatelných agregátů v průběhu flokulace

V jednotlivých nádržích flokulace byla sledována tvorba separovatelných agregátů pomocí centrifugace a stanovení zbytkového hliníku a absorbance ve fugátu. Tento postup s významným inovačním potenciálem se nám již mnohokrát v minulosti velmi osvědčil a ukazuje, jak se v průběhu flokulace tvoří z dávkovaného hliníku separovatelné agregáty. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 1 - 3.

Z výsledků uvedených v tabulkách velice instruktivně vyplývá, jaký význam má pro dosažení nízkých zbytkových hodnot po flokulaci doba zdržení a to zejména při vyšších dávkách koagulantu.

Při dávce 14 mg/l síranu hlinitého se proces agregace jakoby zastaví za 3. stěnou. Nedosáhne však tak výrazného snížení zbytkové koncentrace hliníku oproti dávkám vyšším, které jsou z tohoto hlediska blíže optimu pro surovou vodu v daném složení. Při dávce 17 mg/l síranu hlinitého je proces agregace jakoby dokončen za 4. míchaací stěnou a zbytkové koncentrace hliníku jsou významně nižší než při dávce 14 mg/l. Při dávce 20 mg/l se již využívá celé doby flokulace k tomu, aby se tvořily separovatelné agregáty, tj. intenzivní agregace probíhá až do místa nátoky na filtry. Při této dávce je za 5. stěnou dosaženo také nejnižší zbytkové koncentrace hliníku i absorbance (A387), charakterizující zbytkové přirozené organické látky, ze všech provozně testovaných dávek.

Tabulka 1.

Centrifugační testy pro studium stupně agregace hliníku do separovatelných vloček v různých místech flokulačních nádrží. Dávka 14 mg/l síranu hlinitého.

místo odběru	Al [mg/l]	A387 [5 cm]	pH
nátok do flokulace	0.350	0.012	7.36
za 2. stěnou	0.242	0.009	7.36
za 3. stěnou	0.221	0.008	7.36
za 4. stěnou	0.216	0.008	7.35
za 5. stěnou	0.216	0.008	7.36

Tabulka 2.

Centrifugační testy pro studium stupně agregace hliníku do separovatelných vloček v různých místech flokulačních nádrží. Dávka 17 mg/l síranu hlinitého.

místo odběru	Al [mg/l]	A387 [5 cm]	PH
nátok do flokulace	0.284	0.011	7.33
za 2. stěnou	0.192	0.007	7.33
za 3. stěnou	0.152	0.006	7.33
za 4. stěnou	0.142	0.005	7.33
za 5. stěnou	0.143	0.005	7.33

Tabulka 3.

Centrifugační testy pro studium stupně vyvločkování hliníku do separovatelných agregátů v různých místech flokulačních nádrží. Dávka 20 mg/l síranu hlinitého.

místo odběru	Al [mg/l]	A387 [5 cm]	PH
nátok do flokulace	0.308	0.010	7.31
za 2. stěnou	0.230	0.008	7.31
za 3. stěnou	0.162	0.007	7.31
za 4. stěnou	0.148	0.005	7.31
za 5. stěnou	0.130	0.004	7.31

3.3 Výsledky měření filtračních cyklů

Výsledky měření filtračních cyklů nebudou v tomto příspěvku pro nedostatek místa podrobně popsány. Jen ve stručnosti slovně uvedu několik poznatků.

Při dávce 14 mg/l se kvalita filtrátu v průběhu filtračního cyklu dokonce pomalu zlepšuje a ani na jeho prozatím nastaveném konci, daném periodou praní filtrů o délce 24 hodin, není pozorovatelný významný nárůst zbytkových koncentrací hliníku a absorpance.

Při dávce 17 mg/l se hodnoty zbytkových koncentrací hliníku i absorbance nijak významně nemění v průběhu celého filtračního cyklu. Tato dávka by mohla být považována za provozní optimum v dané situaci. Ani po 24 hodinách filtračního cyklu nedochází k jakémukoliv náznaku zhoršování kvality filtrátu. Z toho je možno dovozovat, že při této dávce je filtrát nejenom velice kvalitní od začátku filtračního cyklu (oproti poněkud zhoršenému filtrátu při 14 mg/l, který však také mohl být důsledkem vyšší výroby v této fázi měření), ale je také dosažitelné prodloužení délky filtračního cyklu oproti používaným 24 hodinám.

Při dávce 20 mg/l je sice dosažitelné absolutní minimum koncentrace zbytkového hliníku v upravené vodě v určité fázi filtračního cyklu, po 16. hodině se však začíná projevovat zřetelné postupné zvyšování koncentrací Al ve filtrátu. To sice ani na konci filtračního cyklu není stále nijak významné (0.08 mg/l Al) avšak již to ukazuje na blížící se provozní limitaci technologické linky úpravy délkou filtračního cyklu resp. dávkou koagulantu. Z toho důvodu bylo na konci tohoto filtračního cyklu provedeno stanovení organismů v upravené vodě. RNDr.J.Válek našel ve filtrátu sledovaného filtru na konci tohoto filtračního cyklu pouhých 24 organismů. V upravené vodě z vodojemu nebyl nalezen žádný organismus. Z toho vyplývá, že tento naprosto zanedbatelný průnik organismů se objevuje jen na samém konci filtračního cyklu (při dávce síranu hlinitého 20 mg/l) a na kvalitě upravené vody se nijak neprojeví. Toto tvrzení podporuje i měření absorbance při 387 nm, které i na konci filtračního cyklu vykazuje setrvale velice nízké hodnoty.

To, že byla i na úplném konci filtračního cyklu dosažena 99.5 % účinnost odstranění organismů považují za velice dobrý výsledek, který může sloužit k dokumentaci vynikající funkce rekonstruované technologické linky.

Byly také měřeny diagramy rozložení tlakových ztrát v loži filtru v průběhu všech filtračních cyklů. Zcela obvyklé je, že k maximu zachytu dochází v horních vrstvách filtračního lože. Záleží na vhodnosti či nevhodnosti přípravy suspenze resp velikostní distribuci separovatelných částic, zdali bude tato tendence převažující (v tom případě se tvoří na filtru tzv. deka). Pak dochází k vyčerpání většiny tlakové ztráty na prvních několika centimetrech filtrační náplně. V takovém případě je třeba ukončit filtrační cyklus s velkým předstihem před tím, než by došlo k vyčerpání kalové kapacity filtru.

V opačném případě se nevhodně připravená suspenze může natolik špatně ve filtru zachytávat, že většina jí prochází do spodních pater filtrační náplně a k průchodu znečištění filtrem dochází podstatně dříve, než je vyčerpána tlaková ztráta, která je na filtru k dispozici. To by mohl být případ zhroucení separačních schopností úpravní v minulosti, kdy při dávce okolo 20 mg/l procházelo jisté množství hliníku i znečištění do upravené vody.

Získané výsledky naznačují, že dalším směrem zkvalitňování provozu úpravní Karolinka by mohlo být také vyhodnocení již na úpravně existujícího dvouvrstvého filtru, který by mohl být za daných podmínek výhodný tím, že by ještě více prodloužil filtrační cyklus oproti jednovrstvému filtru, který byl proměřován. Literatura uvádí možnost prodloužení filtračního cyklu zhruba o 50 - 300 %. Další možností intenzifikace úpravní, kterou by bylo vhodné v budoucnosti ještě na ÚV Karolinka ověřit, je i možnost realizace filtrace se snižující se filtrační rychlostí [9-11].

4. Závěry

Bylo prokázáno, že rekonstruovaná linka přípravy suspenze, která je založena na aplikaci nenastavitelných děrovaných stěn, jednoznačně splnila záměr rekonstrukce. Při výrazně zhoršené kvalitě surové vody, reprezentované počtem organismů více než 4000 j/ml, nebyly v upravené vodě z vodojemu žádné nalezeny. Provozně bylo také ověřeno, že tato linka produkuje částice, které jsou velice dobře separovatelné stávajícími pískovými filtry.

I při dávce síranu hlinitého 20 mg/l, která je pro tento typ vody s nízkým obsahem přirozených organických látek atypická, bylo dosaženo koncentrací zbytkového hliníku hluboko v normované oblasti. Ani na konci filtračního cyklu koncentrace Al nepřevýšila 0.08 mg/l. I při této pro ÚV Karolinka relativně vysoké dávce síranu hlinitého (20 mg/l) nedošlo ani k předčasnému vyčerpání tlakové ztráty na filtru, ani k předčasnému průniku suspenze ložem filtru. To umožnilo i při této dávce dodržet 24 hodinovou délku filtračního cyklu.

V případě nižších dávek než je 20 mg/l je potenciální možnost prodloužení filtračního cyklu na dobu delší než 24 hodin. Při dávce 14 mg/l by bylo možné uvažovat o délce filtračního cyklu asi 34 hodin, délka filtračního cyklu při dávce 17 mg/l by mohla být asi 30 hodin. Tyto předběžné odhady vyslovené na základě provedených měření je však třeba podložit dalším podrobnějším provozním měřením.

5. Citovaná literatura

- 1) Pácalt F.: Komplexní vyhodnocení rekonstrukce ÚV Meziboří. Sborník konference *Rekonstrukce úpraven vody*, s. 81-84. W&ET Team, Č. Budějovice 1998.
- 2) Amirtharajah A. a kol.: *Mixing in Coagulation and Flocculation*. AWWARF, Denver CO, 1991.
- 3) Halámek B.: Nastavitelné norné stěny. Sborník konference *Pitná voda z úrodných nádrží* 1995, s. 97-109. W&ET Team, Č. Budějovice 1995.
- 4) Halámek B.: Příprava suspenze hydraulickým mícháním v ÚV Meziboří. Sborník konference *Rekonstrukce úpraven vody*, s. 157-164. W&ET Team, Č. Budějovice 1998.
- 5) Halámek B., Zínek J.: Příprava suspenze hydraulickým mícháním v ÚV Hosov. Sborník konference *Voda Zlín 1999*, s. 95-100. VaK Zlín, a.s., Zlín 1999.
- 6) Halámek B.: Možnosti využití nastavitelných norných stien. Sborník konference *Pitná voda*, s. 132-136. SvF STU Bratislava, Bratislava 1999.
- 7) Halámek B.: Posuzování Campových čísel při přípravě suspenzí hydraulickým mícháním. Sborník konference *Pitná voda 1999*, s. 291-296. W&ET Team, Č. Budějovice 1999.
- 8) Kuchař M., Dolejš P., Rainiš L.: Výsledky cílené rekonstrukce ÚV Souš. Sborník konference *Pitná voda 1999*, s. 187-192. W&ET Team, Č. Budějovice 1999.
- 9) Dolejš P.: Vliv provozního režimu pískové filtrace na separační účinnost a průběh filtračního cyklu. Sborník semináře *Aktuální otázky vodárenské biologie*, ČVT VHS Praha 1996, str. 27-31.
- 10) Dolejš P., Kalousková N.: Effects of Declining and Constant Rate Direct Filtration on Treatment of Soft Humic Waters. V knize: *Influence of natural organic matter characteristics on drinking water treatment and quality*, Workshop Proceedings. Université de Poitiers, Poitiers, 1996.
- 11) Dolejš P.: Effects of pretreatment, declining and constant rate direct filtration on treatment of soft humic waters. Ve sborníku: *Proceedings of Drinknet workshop on Drinking Water Treatment*, pp.100-103. Water Research Centre, Medmenham, UK, 1996.