

Aplikace vzdušné flotace na různých typech vod

RNDr. Jana Ambrožová, PhD.¹⁾, Ing. Jana Hubáčková, CSc.²⁾

¹⁾ VŠCHT, Ústav technologie vody a prostředí, Technická 3, 166 28 Praha 6,
e-mail: jana.ambrozova@vscht.cz, tel: 224 355 123

²⁾ VUV TGM, Podbabská 60, 166 28 Praha 6,
e-mail: jana_hubackova@vuv.cz, tel: 220 197 315

Úvod do problému

Přítomnost řas a jejich metabolických produktů v povrchových vodách, používaných jako zdroj surové vody pro úpravu, nepříznivě ovlivňuje nejen organoleptické vlastnosti upravované vody, ale i samotné technologické postupy. V souvislosti se zvýšeným obsahem fytoplanktonu v surové vodě dochází k problémům při separaci, které jsou v krajním případě řešeny vyřazením technologických linek z provozu. V praxi v případě výskytu organického znečištění, obsahu koloidních a suspendovaných částic v surové vodě se jako běžná separační technologie používá koagulace s čiřením popř. sedimentací jako první separační stupeň a filtrace jako druhý stupeň separace. Nejčastěji řešenými problémy při klasickém způsobu úpravy je obtížný záchyt biologického oživení ve vložkách a průchod na filtry, kde je ztížena funkce filtrů a zkrácení filtračního cyklu. Neopomenutelným faktem je nepříjemný zápach vody, na kterém se podílejí odumřelé a porušené buňky řas, zachytávající se ve filtrech. (ŽÁČEK 1980, STRNADOVÁ, JANDA 1995). V případě použití klasické technologie úpravy pro vody s nízkým zákalem a vysokým biologickým oživením organismů, je potřeba volit větší objemy sedimentačních nádrží z důvodů nízké koncentrace vloček (ARORA, DE WOLFE, LEE, GRUBB, 1995). Sedimentace, která vyžaduje přítomnost dobře sedimentovatelných látek, je často narušena samovolným vynášením flokulovaných řas k hladině technologického zařízení, což se vysvětluje přítomností kyslíku pocházejícího z fotosyntetických pochodů. Buňky sinic a řas mají nižší hustotu, jsou přirozeně vzplývavé s tendencí se vznášet (HYDE, MILLER, PACKHAM, RICKARDS, 1977, OFFRINGA, 1995). Na účinnost sedimentace má vliv i fyziologický stav řas, které hůře sedimentují v logaritmické fázi růstu (FERGUSON, LONGSDON, CURLEY, 1995).

Ve Spojených státech amerických a v zemích Evropské unie, se jako absolutně spolehlivý způsob odstranění sinic a řas ze surové vody, používá **tlaková vzdušná flotace** (OFFRINGA 1995, HEINÄNEN, JOKELA, ALA-PEIJARI 1995). Při tomto procesu nedochází k takovým organoleptickým problémům, jako v případě konvenčních zařízení s filtrací (PUFFENEN, BUIJI, NUHN, HIJNEN 1995). Bohužel v České republice se tento způsob úpravy ve vodárenství nepoužívá, je spíše známý v oblasti čistírenství, např. k zahušťování kalů, atd.

Historie procesu flotace. Flotace má svůj prvopočátek v těžebním průmyslu, na počátku

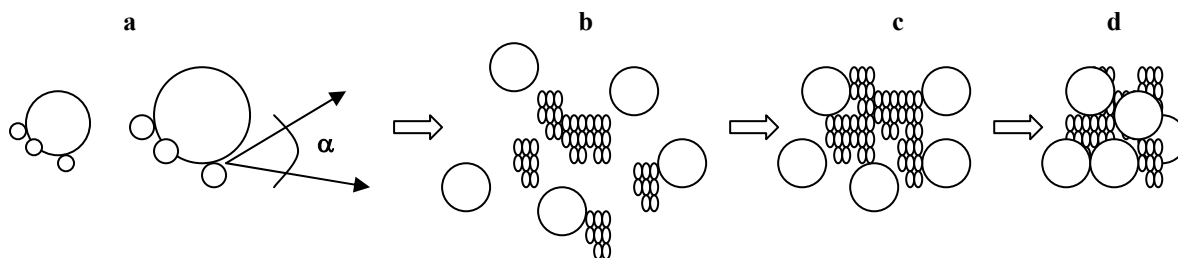
20. století se používala při separaci partikulí minerálních rud. V roce 1905 byl ve Spojených státech patentován způsob použití tlakové vzdušné flotace, kdy recirkulovaná voda byla sycena pod tlakem a uvolňována do upravované vody. Pro úpravu vody byla poprvé použita tlaková vzdušná flotace v roce 1960 v Jižní Africe a ve Skandinávii. V současné době je v těchto zemích široce rozšířena stejně dobře jako v Belgii, Nizozemí, Velké Británii, Asii, Austrálii.

Jaký je princip flotace? Flotace je fyzikální děj, při kterém na rozdíl od sedimentace dochází k vynášení pevných, v kapalině suspendovaných částic mikrobublínkami plynu k hladině, kde se postupně tvoří stabilní kompaktní vrstva zahuštěných suspendovaných

partikulí ("float", vznos), odebíraná různými způsoby (stíráním, nasáváním, atd.) (HANISCH 1960, PARDUS, PAZDERA 1973, HYDE, MILLER, PACKHAM, RICKARDS 1977, ERBEN, HUBÁČKOVÁ 1983 a 1984, HUBÁČKOVÁ, ERBEN 1989, EDZWALD 1995). Proces flotace spočívá ve snížení specifické hmotnosti suspendovaných částic tím, že se na ně nabalí mikrobublinky plynu. Výsledná specifická hmotnost takto vytvořených aglomerátů je podstatně nižší než hmotnost kapalně fáze, ze které chceme suspendované látky odstranit, aglomeráty mohou flotovat k hladině, kde vytvářejí zahuštěnou plovoucí vrstvu (PARDUS, PAZDERA 1973, HUBÁČKOVÁ, ERBEN 1989, EDZWALD 1995). V praxi se setkáváme s rozlišením procesu flotace podle vzniku uvolněných mikrobublek, kde rozlišujeme elektroflotaci, disperzní vzdušnou flotaci a rozpuštěnou vzdušnou flotaci (HYDE, MILLER, PACKHAM, RICKARDS 1977, HUBÁČKOVÁ, ERBEN 1989, EDZWALD 1995). Pro tvorbu mikrobublek plynu se v praxi osvědčilo využití vzduchu. Rozpuštěná vzdušná flotace může být dvojího typu - vakuová nebo-li podtlaková flotace, která probíhá na základě uvolňování vzduchu z vody za podtlaku udržovaného ve flotační nádrži, a tlaková flotace, při které se vzduch uvolňuje ve flotační nádrži z vody nasycené vzduchem pod tlakem v tlakové nádrži. Tlaková vzdušná flotace (DAF, *Dissolved air flotation*) je používanější než flotace disperzní z důvodu větší koncentrace rozpuštěného vzduchu.

Kinetika flotace je obdobná kinetice flokulace. Veškeré pochody se řídí Henryho zákonem, vyjadřujícím závislost rozpuštěného množství vzduchu na tlaku a teplotě (rozpuštěnost vzduchu v kapalině je přímo úměrná tlaku rozpuštěného vzduchu a nepřímo úměrná teplotě). **Mikrobublinky** potřebné pro flotační efekt se při tlakové vzdušné flotaci vytvářejí tak, že se kapalina v uzavřené nádobě nasytí za zvýšeného tlaku vzduchem. Po nasycení se tlak na dekompresní trysce uvolní, dochází ke snížení tlaku a vzduch se z přesyceného roztoku uvolňuje ve formě mikrobublek, projevujících se vizuálně **mléčným zakalením**. Proces tvorby mikrobublek zahrnuje nukleaci a růst na základě koalescence. Počet nukleacních center je dán množstvím vzduchu převedeného do vody (DE RIJK, VAN DER GRAAF, DEN BLANKEN 1994). Velikost bublinek závisí na velikosti sytícího tlaku a dekompresním průtokem. Čím je vyšší hodnota sytícího tlaku, tím menší bublinky se tvoří. Laboratorními pokusy bylo zjištěno optimální rozmezí tlaku 0,4 – 0,6 MPa pro tvorbu mikrobublek (velikostní hranice mezi mikro a makrobublínkou je dána rozmezím 100-150 μm), které mají nižší vzestupnou rychlost, která způsobuje příznivější průběh fyzikálních a chemických reakcí. V systému tlakové vzdušné flotace rostou mikrobublinky jako pevné koule v laminárních podmínkách proudění a řídí se Stokesovým pravidlem, kde hlavní roli hraje teplota a viskozita vody. **Částice a vzduchové bublinky** jsou ve flotačním zařízení v intenzivním pohybu, neustále na sebe narážejí vlivem turbulence. Během vzájemných srážek dochází k adhezi částic k bublině. Partikule se chová jako jádro, na které se bublinka vzduchu nabalí. Vytváří se systém charakterizovaný povrchovým napětím a úhlem kontaktu. Vzduchová bublina zaujímá takový tvar, aby potenciální energie celého komplexu byla minimální (HUBÁČKOVÁ, ERBEN 1989, DE RIJK, VAN DER GRAAF, DEN BLANKEN 1994). Vlastní adheze vyžaduje, aby částice a bublina byly po určitou dobu ve vzájemném dotyku. Předpokladem účinného přilnutí vzduchové bubliny a suspendované částice je velikost úhlu dotyku v intervalu $<0^\circ, 90^\circ>$. Aby se vzduchová bublinka mohla uchytit na pevné částici, musí mít plynná fáze větší afinitu k povrchu částice než tekutá fáze (EDZWALD 1995). Jemné vzduchové bublinky pak vynášejí suspendované látky na hladinu. Tvorbu komplexů při tlakové flotaci zachycuje obr. 1.

Obr. 1. Tvorba komplexů při tlakové flotaci: a) zachycení vzduchové bublinky na povrch částice (velikost stykového úhlu méně než 0° a více než 90°), b), c) a d) vznik komplexů vynášených k hladině flotační jednotky (AMBROŽOVÁ 2001).



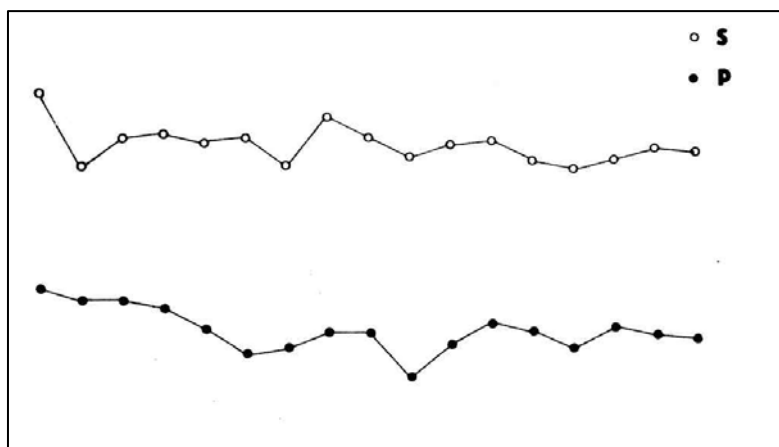
Účinnost flotace závisí na množství a velikosti mikrobublinek, přiváděných do flotační nádrže. Z tohoto důvodu je důležité správně stanovit množství vody vedené přes tlakovou sytící nádrž a hodnotu sytícího tlaku, při kterém v tlakové nádrži dochází k nejvyššímu stupni nasycení (RYKAART, HAARHOFF 1995). Velikost bublin závisí na geometrickém tvaru a pracovních podmínkách dekompresní trysky (HAARHOFF, RYKAART 1995, RYKAART, HAARHOFF 1995). Na účinnost trysky působí i teplota a chemické složení sytící vody.

Proč právě flotace?

Při přípravě referátu na konferenci VODA Zlín 2003 jsme přemýšleli, jakým problémem přispět k odbornému programu. Je faktem, že předloženou problematiku jsme již publikovali na jiných konferencích a v odborných časopisech, ale bohužel uvedený postup nebyl dosud uplatněn (AMBROŽOVÁ, ŘÍHA 1998, AMBROŽOVÁ 1999). A je to škoda, protože tento proces je využíván běžně v zahraničí. Bylo dokonce zjištěno, že se výrazně podílí i na odstraňování cyst prvoků (*Protozoa*) *Cryptosporidium* a *Giardia*, které u citlivých lidí způsobují onemocnění trávicího traktu. Toto je téma velmi populární a často diskutované na odborném poli, ale úspěšný technologický separační proces nebyl u nás dosud řešen. Práce autorského kolektivu HALL a kol. řeší tuto problematiku aplikací DAF s předchozím dávkováním koagulantu, při kterém se odstraňovalo až 99 % oocyst (HALL, PRESDEE, GREGORY, MURRAY 1995). Navíc je flotace úspěšně používána i v případě odstraňování prekursorů trihalogenmetanů z eutrofizovaných vod (GEHR, SWARTZ, OFFRINGA 1993).

V zahraničí se používá DAF ve spojitosti s předchozím dávkováním koagulantu. Na tyto práce u nás navázala HUBÁČKOVÁ, která prováděla pokusy s eutrofizovanými a huminovými vodami. Výsledky některých pokusů a průběh flotace znázorňuje obr. 2 (HUBÁČKOVÁ, ERBEN 1989).

Obr. 2. Časový průběh CHSK_{Mn} [mg.l^{-1}] u surové (S) a flotované (P) vody: jednotlivé body vyznačují sérii odebraného vzorku v čase (HUBÁČKOVÁ, ERBEN 1989).



Na tuto práci jsme se snažili v našem výzkumu navázat. Před námi byl velmi zajímavý problém, který se týkal lokality s vysokým procentem biologického oživení a minimálním obsahem organických a anorganických látek.

V některých případech je velmi nízký obsah anorganických látek v surové vodě, nízká hodnota $KNK_{4,5}$ (po chemické stránce tedy není ve vodě co koagulovat), ale problém je se zvýšeným biologickým oživením. Z toho důvodu jsme se zaměřili na ideu, při které by byla odzkoušena flotace, při které by nebyly vynášeny bublinkami vzduchu vločky s adhezovaným materiálem, ale pouze původní biologické oživení pocházející ze surové vody. Pro tyto zkoušky bylo sestrojeno několik modelových zařízení a ta byla odzkoušena v praxi na surové vodě pocházející z vodního díla Janov. Parametry surové vody uvádí tabulka 1.

Tato lokalita byla pro uplatnění uvedeného způsobu flotace bez předchozí koagulace ideální. Při znalosti všech parametrů a vlastností procesu flotace byly provedeny laboratorní a modelové zkoušky flotace, kdy byla flotace použita jako první separační stupeň bez koagulace předřazený před rychlofiltrací. Způsob úpravy vody flotací bez předchozího vyvločkování suspenze a zařízení k provádění tohoto způsobu byl patentován (PV 3206-98) (AMBROŽOVÁ, HUBÁČKOVÁ 1998).

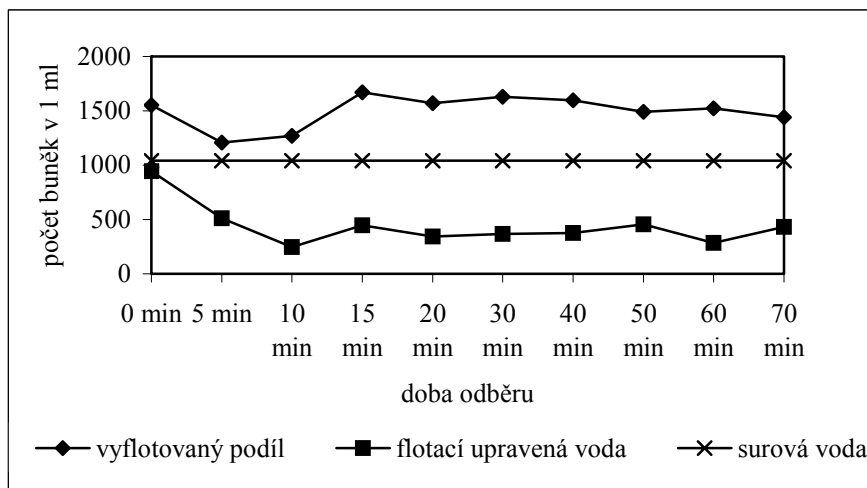
Jak uvedený postup probíhal? Pro ověření účinnosti tlakové vzdušné flotace bez předchozího vyvločkování byla použita dvě zařízení, jedno pro laboratorní zkoušky a druhé pro modelové zkoušky. Předmětem provedených zkoušek bylo mikroskopické zhodnocení účinnosti procesu tlakové vzdušné flotace při technologii úpravy na vynášení biologického materiálu. Surová voda byla přímo sycena vzduchem v tlakové sytící nádobě pod tlakem 0,5 až 0,6 MPa (tzv. flotační zařízení složené z tlakové nádoby napojené na kompresor) a takto vytvořená směs byla poté použita k vynesení biologického a partikulovaného materiálu z přiváděné surové vody (v tzv. flotační nádrži) přes dekompresní trysky o průměru 0,8 mm.

Tabulka 1. Průměrné hodnoty chemických parametrů surové vody ze sledované nádrže v letech 1990-1998*

Parametr	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Vyhl. č.376/2000 Sb.
Vodivost($mS \cdot m^{-1}$)	15,1	15,8	17,6	15,5	13,7	13,7	12,6	13,9	12	100
pH	6,8	6,8	6,9	6,7	6,6	6,3	6,5	6,3	6,2	(6,5; 9,5)
CHSK _{Mn} ($mg \cdot l^{-1}$)	1,3	1,3	1,4	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	2,1	3
NO_2^- ($mg \cdot l^{-1}$)	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,1
NO_3^- ($mg \cdot l^{-1}$)	8,9	8,4	7,5	7,7	7,1	6,7	7,8	7,3	7,1	50
NH_4^+ ($mg \cdot l^{-1}$)	0,03	0,05	0,03	0,05	0,05	0,01	0,04	0,05	0,08	0,5
Fe($mg \cdot l^{-1}$)	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,2
Mn($mg \cdot l^{-1}$)	0,002	0,00	0,00	0,003	0,005	0,005	0,00	0,01	0,01	0,05

*Poznámka: Další hodnoty nejsou uvedeny z důvodu vypouštění vodního díla

Obr. 3. Průběh procesu flotace bez předchozí koagulace



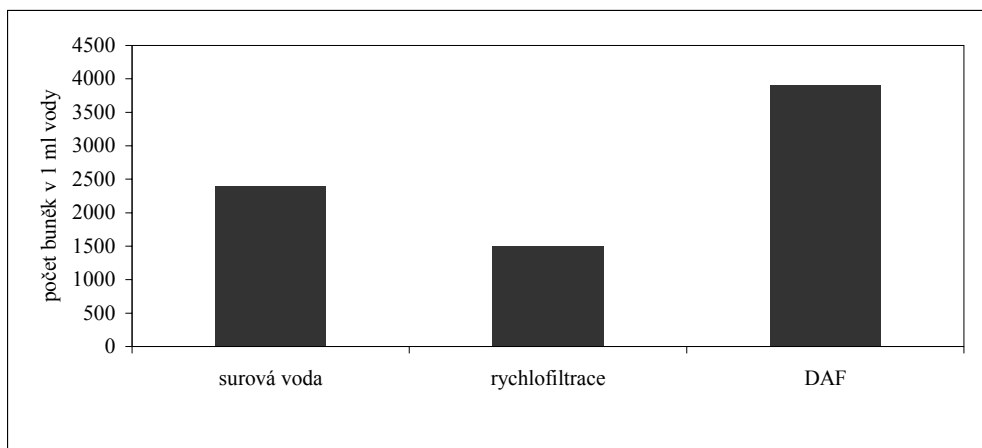
Po nasycení vody vzduchem byla tlaková nádoba promíchávána, aby došlo k rovnoměrnému rozptýlení vzduchu v celém objemu syčené vody. Nasycená voda byla dále přiváděna přes dekompresní trysku do prostoru flotační nádrže, kde se začaly uvolňovat mikrobublínky, projevující se vizuálně mléčným zakalením. Tyto mikrobublínky pak vynášely na svém povrchu mikroorganismy a drobné partikule směrem k hladině, kde byl odebirán zahuštěný biologický materiál. Průběh celého procesu znázorňuje obr. 3, na kterém je patrná účinnost vynášení flotovaného materiálu. Na celém procesu je viditelná podobnost s předchozími pokusy, uvedenými na obr. 2. Účinnost samotného procesu DAF byla porovnána „*in situ*“ s rychlofiltrací a výsledky byly velmi potěšitelné, protože flotace odstraňovala biologický materiál s vyšší účinností než rychlofiltrace, viz obr. 4.

Při úvaze aplikace uvedeného postupu DAF by úpravna vody pracující na předloženém principu vypadala asi následovně, viz obr. 5.

Závěry, výsledky a diskuse

Při zkouškách flotace byl zjištěn a ověřen vliv velikosti **tlaku při syčení** tlakové syticí nádoby na účinnost procesu vynášení mikroorganismů. Flotace má účinnost při syticím tlaku 0,5 až 0,6 MPa, kdy se tvořilo maximum mikrobublinek. Na flotaci mají vliv **mikroorganismy** přítomné v upravované vodě. Bylo zjištěno, že některé mikroorganismy lépe flotují, což je dáno morfologií a fyziologickým stavem buňky. Proces vynášení mikroorganismů byl sledován mikroskopickými rozbory. Nejlépe se vynášely organismy protáhlého tvaru, např. rozsivky *Nitzschia* a *Synedra* (zřejmě i díky drsnému povrchu křemičité schránky), organismy patřící z hlediska odstranitelnosti do kategorie B a sinice *Synechococcus capitatus*, patřící do kategorie C. V případě fototaktických mikroorganismů bičíkovců skupin *Dinophyceae*, *Cryptophyceae*, kategorie D, byla účinnost procesu nižší, což je dáno zejména tvarem některých mikroorganismů. Mikroorganismy s kulovitým tvarem těla, např. druh *Chrysococcus rufescens* se hůře vynáší. Vysvětlením je malá velikost kontaktního úhlu mezi vzduchovou mikrobublinou a mikroorganismem. V průběhu procesu byly vynášeny bakteriální slizy, houbové hyfy, nálevníci, vířníci (*Rotatoria*) a háďátka (*Nematoda*). Vlákna mikromycet a bakterií, které tvořily shluky síťovitého vzhledu, nachytávaly abioseston a další biologický materiál do vytvořených struktur. Keříčkovité kolonie druhu *Dinobryon divergens* tvořily nosnou strukturu aglomerátů a napomáhaly zachytávání drobnějších mikroorganismů do takto vytvořených shluků. Při hodnocení mikroskopického obrazu byl patrný účinek procesu na vynášení mikroorganismů a tvorbě adhezních aglomerátů, které dosahovaly velikosti 250 až 300 μm . Účinnost odstranění mikroorganismů, které ve vodárenství způsobují svojí přítomností problémy při separaci, např. drobné pikoplanktonní druhy či organismy štíhlé a mírně protáhlé (tyto procházejí běžně přes filtry do upravené vody), byla 85 % a dále bakteriologickými rozbory 100 % účinnost při odstraňování mezofilních bakterií a enterokoků a 86 % účinnost odstranění koliformních zárodků.

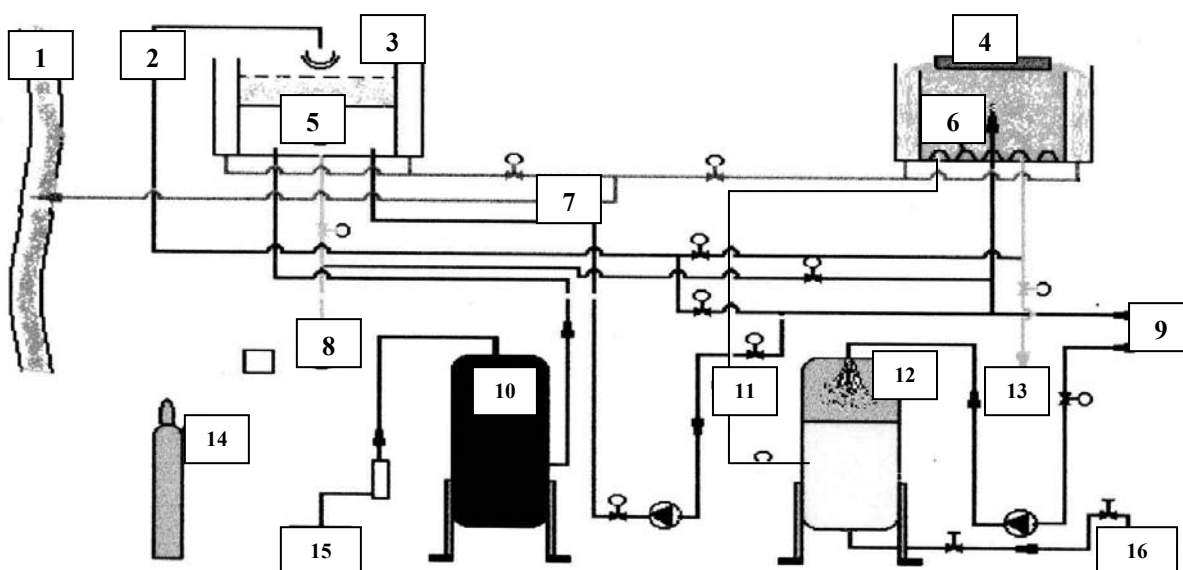
Obr. 4. Porovnání účinnosti procesu rychlofiltrace a tlakové vzdušné flotace



Výhodou navrhovaného způsobu úpravy vody vzdušnou tlakovou flotací bez předchozího vyvločkování surové vody v tomto případě je eliminace dávkování koagulantů, a tím i případného chemického odpadu. Jediným odpadem při použití této technologie je přirozený biologický odpad (vyflotovaný podíl). Tento odpad je nezávadný a je možné ho vrátit zpět do recipientu. Jako pozitivní lze rovněž hodnotit zvýšení procenta nasycenosti vody rozpuštěným kyslíkem. Zmíněná technologie úpravy vody umožňuje ušetřit investiční náklady na vybudování technologické linky, kalového hospodářství. Při klasické dvoustupňové úpravě vody (sedimentace, filtrace) je potřeba pro výstavbu ÚV až o 20 % více plochy než při použití flotace v kombinaci s filtrací. Na řešení a uplatnění zmíněného procesu se nadále pokračuje. Výsledkem by měla být aplikace různých typů flotačních modelů, aplikovaných na různých typech surové vody s odlišným biologickým oživením.

Vypracováno v rámci vědeckovýzkumného záměru J19/98:223200003

Obr. 5. Pravděpodobné uspořádání technologické linky s DAF: (1) recipient, (2) nátok na filtr, (3) přelivná hrana odpadu, (4) shrabovadlo, (5) filtrační písek, (6) flotační rošt, (7) odpad, (8) upravená voda, (9) surová voda, (10) prací vzduch, (11) nasycená voda, (12) flotátor, (13) upravená voda, (14) chlor, (15) kompresor pracího vzduchu, (16) kompresor flotátoru



Použitá literatura

- AMBROŽOVÁ, J. (1999):** Vliv biologického oživení údolní nádrže Janov na technologii úpravy vody.- Disertační práce, VŠCHT Praha: 138 pp.
- AMBROŽOVÁ, J. (2001):** Aplikovaná a technická hydrobiologie.- Skripta VŠCHT Praha: 226 pp.
- AMBROŽOVÁ, J. & ŘÍHA, J. (1998):** Použití flotace jako druhého separačního stupně pro úpravu vody Janov.- Sbor.konf."Rekonstrukce úpraven vody", Teplice 1998: pp. 177-184.
- AMBROŽOVÁ, J. & HUBÁČKOVÁ, J. (1998):** Způsob úpravy vody flotací bez koagulace vody a zařízení k provádění tohoto způsobu.- Patent PV 3206-98, 6str.+přílohy.
- ARORA, H., DE WOLFE, J.R., LEE, R.G. & GRUBB, T.P. (1995):** Evaluation of dissolved air flotation process for water clarification and sludge thickening.- Wat.Sci.Tech. 31, No 3-4: pp. 137-147.
- DE RIJK, S.E., VAN DER GRAAF, J.H.J. & DEN BLANKEN, J.G. (1994):** Bubble size in flotation thickening.- Wat.Res., 28, No 2: pp. 465-473.
- EDZWALD, J.K. (1995):** Principles and applications of dissolved air flotation.-Wat.Sci.Tech., 31, No 3-4: 1-23.
- ERBEN, V. & HUBÁČKOVÁ, J. (1983):** Využitelnost vod šterkovišť a jejich úsporná úprava.- Etapová zpráva VÚV, Praha: 26 pp.+přílohy.
- ERBEN, V. & HUBÁČKOVÁ, J. (1984):** Separace nečistot z vody flotací.- Zav.zpráva VÚV, Praha: 20 pp.+přílohy.
- FERGUSON, C., LONGSDON, G.S. & CURLEY, D. (1995):** Comparison of dissolved air flotation and direct filtration.- Wat.Sci.Tech., 31, No 3-4: pp. 113-124.
- GEHR, R., SWARTZ, C. & OFFRINGA, G. (1993):** Removal of trihalogenmethane precursors from eutrophic water by dissolved air flotation.- Wat.Res. Vol. 27, No. 1: pp. 41-49.
- HAARHOFF, J. & RYKAART, E.M. (1995):** Rational design of packed saturators.- Wat.Sci.Tech., 31, No 3-4: pp. 179-190.
- HALL, T., PRESSDEE, J., GREGORY, R. & MURRAY, K. (1995):** Cryptosporidium removal during water treatment using dissolved air flotation.- Wat.Sci.Tech., 31, No 3-4: pp. 125-135.
- HANISCH, B. (1960):** Die wirtschaftliche Anwendung der Flotation mit sehr kleinen Luftblasen zur Reinigung von Abwasser.- Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungs- wasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e. V. in Stuttgart: 187 pp.
- HEINÄNEN, J., JOKELA, P. & ALA-PEIJARI, T. (1995).** Use of dissolved air flotation in potable water treatment in Finland. Wat.Sci.Tech. 31, No 3-4: pp. 225-238.
- HUBÁČKOVÁ, J. & ERBEN, V. (1989):** Využití flotace při procesu úpravy vody.- Práce a studie sešit 172, VÚV Praha: 120 pp.
- HYDE, R.A., MILLER, D.G., PACKHAM, R.F. & RICKARDS, W.N. (1977):** Water clarification by flotation.- Water Technology/Quality Journal AWWA: pp. 369-374.
- OFFRINGA, G. (1995):** Dissolved air flotation in Southern Africa.- Wat.Sci.Tech., 31, No 3-4: pp. 159-172.
- PARDUS, I. & PAZDERA, C. (1973):** Proces flotace.- Záv.výz.zpráva, Praha HDP: 116 pp.
- RYKAART, E.M. AND HAARHOFF, J., (1995):** Behaviour of air injection nozzles in dissolved air flotation.- Wat.Sci.Tech., 31, No 3-4: pp. 25-35.
- STRNADOVÁ, N. & JANDA, V. (1995):** Technologie vody I.-Skripta VŠCHT Praha: 274 pp.
- VAN PUFFELEN, J., BUIJI, P.J., NUHN, P.N.A.M. & HIJNEN, W.A.M. (1995):** Dissolved air flotation in potable water treatment: the Dutch experiences.- Wat.Sci.Tech. 31, No. 3-4: pp. 149-157.
- ŽÁČEK, L. (1980):** Vodárenství (Úprava vody), II.díl.- Skripta pro pomaturitní spec.studium vod.hosp., Vyd.Stát.energet.inspekce: 130 pp.