

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL
PROTECTION

FLOTACE ROZPUŠTĚNÝM VZDUCHEM – OD POLOPROVOZNÍHO MODELU PO PLNOU REALIZACI

DISSOLVED AIR FLOTATION – FROM PILOT PLANT TO FULL SCALE
IMPLEMENTATION

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Pavel Dobiáš

ŠKOLITEL

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.

BRNO 2018

Zadání dizertační práce

Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí
Student: **Ing. Pavel Dobiáš**
Studijní program: Chemie a technologie ochrany životního prostředí
Studijní obor: Chemie životního prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.**
Akademický rok: 2017/18

Název dizertační práce:

Flotace rozpuštěným vzduchem – od poloprovozního modelu po plnou realizaci

Zadání dizertační práce:

Shrnout poznatky o vodárenském separačním procesu flotace rozpuštěným vzduchem (DAF). Studovat vliv významných proměnných kvality upravované vody a technologických parametrů procesu flotace jak na poloprovozních modelech, tak následně ověřit výsledky získané poloprovozně po realizaci (podle modelově získaných návrhových) parametrů v praxi. Ukázat tímto přístupem možnosti spojení výsledků základního výzkumu, aplikovaného výzkumu a jejich přenosu do praxe úpravy vody v oblasti flotace rozpuštěným vzduchem pro vodárenskou aplikaci a zvýšení separační účinnosti procesů pro dosažení jak lepší kvality pitné vody, tak ekonomiky vodárenské úpravy.

Termín odevzdání dizertační práce: 20.7.2018

Ing. Pavel Dobiáš
student(ka)

doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.
vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.9.2017

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Předložená disertační práce se zabývá problematikou poloprovozního testování flotace rozpuštěným vzduchem a implementací tohoto separačního procesu do technologické linky úpraven vody v České republice.

Na několika reálných příkladech z praxe ilustruje přínos této technologie, principy poloprovozních experimentů spojených s návrhem provozního separačního stupně. Jedním z uvedených výsledků je mimo jiné i široký seznam úpraven vody v České republice, kde byla flotace rozpuštěným vzduchem realizována na základě provedených poloprovozních experimentů, jejichž účastníkem byl samotný autor této práce.

V disertační práci jsou uvedeny vybrané výsledky z poloprovozních studií provedených za účelem ověření funkce procesu flotace v konkrétních lokalitách jako příklad propojení poznatků základního výzkumu, aplikovaného výzkumu a jejich praktické realizace.

Klíčová slova: flotace rozpuštěným vzduchem, poloprovozní jednotka, první separační stupeň, úprava vody, mikroorganismy, pitná voda, povrchové zatížení, separační účinnost, předoxidace ozonem

ABSTRACT

The thesis deals with the use of dissolved air flotation (DAF) in water treatment technology in the Czech Republic. It summarizes the knowledge gained at pilot plant studies as well as the experience with full-scale flotation units which have been built in potable water treatment plants in the Czech Republic in years 2006-2018.

This thesis provides a broad background of experimental studies of a modern separation process, which does have great advantages in the removal of natural organic matter and microorganisms from water in the drinking water treatment industry.

In this thesis, there are presented some examples of the excellent efficiency of the microorganisms removal, both under the experimental conditions as well as water treatment plants, which were improved by DAF units installation in full scale.

In addition to the high separation efficiency, it is shown, how DAF units could influence the subsequent separation steps as for example filtration through the granular media. The negative influence of the pre-ozonation on the DAF separation efficiency in Hradec Králové WTP is demonstrated too. The results of the pilot experiments support the idea, that the key condition for high removal efficiency is the optimal coagulation process chemistry. Design of pilot experiments was based on the factorial planning theory and some results are discussed in this thesis. The very big portion of the pilot experiments was made for estimating of the full-scale DAF design parameters before the water treatment plants reconstruction phase.

Keywords: water treatment, dissolved air flotation, pilot plant, first clarification step, microorganisms, drinking water, surface loading, separation efficiency, pre-ozonation

DOBIÁŠ, P. *Flotace rozpuštěným vzduchem – od poloprovozního modelu po plnou realizaci*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2018. 68 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Petr Dolejš, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Disertační práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem školitele disertační práce a děkana FCH VUT.

Podpis studenta

Poděkování:

Veliké díky patří Petrovi Dolejšovi za všechno, co jsem se mohl od něho naučit v oboru vodárenství, ale i za to, že jsem mohl čerpat z jeho životních zkušeností. Děkuji také panu Milanovi Drdovi za jeho motivující příklad a spolupráci. Velmi děkuji za trpělivost svým dcerám Simonce a Kristýnce a mojí mámě Lence za podporu a pomoc s korekturami. Děkuji Mgr. Martině Repkové, Ph.D za cenné rady k textu této práce. Děkuji paní profesorce Miladě Vávrové za vstřícný přístup. Díky patří i dalším „bezejmenným“ kolegům, od kterých jsem měl tu možnost se něco přiučit.

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	6
3	TEORETICKÁ ČÁST	6
3.1	Flotace rozpuštěným vzduchem	6
3.2	Příprava suspenze pro separaci flotací	19
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	20
4.1	Metodika	20
4.1.1	<i>Model flotace – popis</i>	21
4.1.2	<i>Stanovení dávky koagulantu</i>	21
4.1.3	<i>Sledované ukazatele – výčet, analytická metodika</i>	22
4.1.4	<i>Typický postup poloprovozního testování DAF</i>	24
5	VÝSLEDKY	24
5.1	ÚV Znojmo	25
5.2	ÚV Jirkov	28
5.3	ÚV Plzeň	34
5.4	ÚV Želivka	38
5.5	Odstranění mikroorganismů z upravované vody	41
5.6	Vybrané výsledky z poloprovozních experimentů na modelové DAF a provozní DAF na ÚV Orlice (Hradec Králové)	45
5.6.1	<i>Poloprovozní modelové zkoušky DAF</i>	45
5.6.2	<i>Zkušební provoz nově vybudované DAF na ÚV Orlice Hradec Králové</i>	48
6	DISKUSE	52
6.1	Jak lze významně ovlivnit správnou funkci flotace rozpuštěným vzduchem při úpravě vody a dosáhnout co nejvyšší separační účinnosti?	53
7	ZÁVĚRY	55
8	LITERATURA	57
9	SEZNAM ZKRATEK	62
10	PŘÍLOHY	63
10.1	Životopis autora	63
10.2	Publikační činnost autora	63
10.2.1	<i>Časopisecké a vědecké publikace</i>	63
10.2.2	<i>Příspěvky ve sbornících z konferencí v anglickém jazyce</i>	64
10.2.3	<i>Příspěvky ve sbornících z konferencí v českém jazyce</i>	64
10.3	Citace	68
10.4	Pedagogická činnost	68
10.5	Odborná členství	68

1 ÚVOD

Flotace rozpuštěným vzduchem (**dissolved air flotation – DAF**) je v naprosté většině vodárensky rozvinutých zemí zhruba tři až čtyři desetiletí běžnou separační technologií, jejíž výhody jsou dnes již dobře ověřené.

Je velmi pozitivním zjištěním, že i české vodárenství se mezi tyto země v letech 2005 – 2006 zařadilo. První vodárenská flotace byla koncem roku 2005 uvedena do provozu na ÚV Mostiště, kterou provozuje VAS, a.s. Brno, divize Žďár nad Sázavou [1–5]. Dokonce se jednalo o tak zásadní událost, že publikace o ní byla přijata a přednesena na konferenci Flotation 2012 v New Yorku [6].

V následujícím období do roku 2018 byly realizovány nebo se připravují další provozní aplikace DAF na úpravárnách v České republice i na Slovensku.

V **tabulce 1** je uveden souhrn všech lokalit u nás a na Slovensku, kde byly prováděny poloprovozní experimenty jako součást předprojektové přípravy a kde byla následně DAF zrealizována v provozním měřítku. Jedná se jen o realizace, na kterých se autor této práce významně podílel jednak v rámci předprojektové přípravy, tak i při uvádění provozních jednotek DAF do provozu či optimalizaci jejich funkce. Podrobnosti o některých úpravárnách vody v souvislosti s realizací flotace je možné nalézt v publikacích [7–20].

Tabulka 1. Přehled lokalit s poloprovozními a provozními instalacemi DAF v ČR/SR za období 2006 – 2018

Poloprovozní testování DAF	Provozní instalace DAF
ÚV Želivka	ÚV Mostiště
ÚV Plzeň	ÚV Jirkov
ÚV Jirkov	ÚV Meziboří
ÚV Souš	ÚV Bedřichov
ÚV Meziboří	ÚV Souš
ÚV Znojmo	ÚV Monaco (Slatiňany)
ÚV Bedřichov	ÚV Hvězdička (Příbram)
ÚV Hradec Králové	ÚV Hradec Králové
ÚV Stakčín (SR)	ÚV Písek
ÚV Hřiňová (SR)	
ÚV Písek	
ÚV Hajská	
ÚV Brníkov	
ÚV Klíčava	
ÚV Milence	

2 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem této disertační práce je seznámení čtenářů s problematikou úpravy pitné vody se zaměřením na separační proces flotace rozpuštěným vzduchem. Práce je zaměřená na zkušenosti a poznatky získané při poloprovozním ověřování tohoto vodárenského procesu a jejich praktické aplikaci při stanovování návrhových parametrů pro zavedení procesu flotace do technologických linek úpraven vody v České republice.

Práce přibližuje teoretické poznatky a principy funkce flotace rozpuštěným vzduchem a jedním ze závěrů by měl být i dokumentovaná cesta, jakým způsobem by bylo možné přenášet poznatky základního výzkumu, přes výzkum aplikovaný až do praxe, zabývající se tak životně důležitou komoditou jako je pitná voda.

3 TEORETICKÁ ČÁST

V této kapitole jsou shrnuty základní informace o technologii flotace rozpuštěným vzduchem a jejím použitím při úpravě pitné vody.

3.1 Flotace rozpuštěným vzduchem

Flotace rozpuštěným vzduchem (**DAF – dissolved air flotation**) je v technologii úpravy vody využívána více než půl století. Počátky využití flotace pro úpravu vody sahají do 60. let minulého století do Finska a Švédska odkud se vývoj v průběhu posledních tří dekád 20. století rozšířil do celého vodárensky vyspělého světa. Flotace se stala robustní separační technologií, ekonomicky efektivním a účinným prvním separačním stupněm zařazovaným před filtrací přes vrstvu zrnitého materiálu či membránovou filtraci [21].

Proces flotace obecně pro úpravu nebo čištění vody se může lišit především v systému, jakým jsou generovány bubliny.

Jedná se o elektrolytickou flotaci (elektroflotaci), flotaci založenou na disperzi vzduchu a flotaci rozpuštěným vzduchem.

Existují i speciální, spíše experimentální případy, kdy byla v procesu flotace použita směs vzduchu a ozonu [22].

Zaměření této práce je především na flotaci rozpuštěným vzduchem (DAF). V tomto případě jsou bublinky generovány snížením tlaku vody, ve které je pod tlakem rozpuštěný vzduch.

Principiálně lze tohoto jevu dosáhnout třemi hlavními způsoby:

- 1) vytvořením podtlaku
- 2) přímý vnos vzduchu injektorem do vody, který je následně rozpuštěn pod tlakem, který je vyvíjen čerpadlem nebo hydraulickou ztrátou
- 3) voda je čerpána pod tlakem vzduchu do tlakové nádoby nebo saturátoru (tlaková náplňová kolona).

Pro další zjednodušení orientace v problematice procesu flotace je tato práce věnována variantě tlakové DAF v kombinaci se saturátorem.

V tomto uspořádání je vzduch, nejnepříčetně pod tlakem 400–600 kPa, rozpuštěn ve vodě a ta je následně pomocí redukčních ventilů či trysek (**Obrázek 1**) vstříkována do flotační nádrže (kontaktní zóny), kde dojde k produkci mraku bublinek, který se pro svoji barvu a konzistenci nazývá „bílá voda“ („white water“) (**Obrázek 2**) [22–26].



Obrázek 1. Příklad flotační disperzní trysky (Xylem Leopold)[P. Dobiáš]



Obrázek 2. Bílá voda proudící z expanzních trysek [P. Dobiáš]

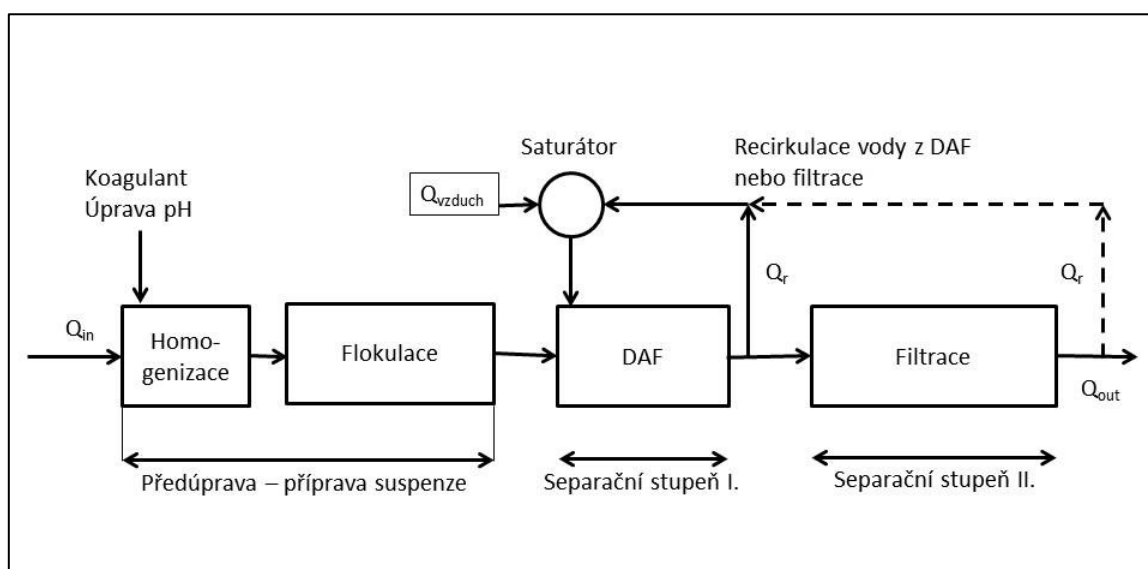
Flotace je v technologické lince úpravy vody řazena jako **první separační stupeň**. Na obrázku (**Obrázek 3**) je znázorněno jednoduché schéma typické technologické linky s flotací.

Konvenční DAF je většinou navrhována tak, že její součástí jsou agregační reaktory (flokulace) pro přípravu suspenze, kontaktní zóna kam jsou přiváděny tryskami mikrobublínky vzduchu rozpuštěného ve vodě a separační zóna, kde dochází k oddělení kalu od kapaliny. V prostoru kontaktní zóny dochází ke srážkám mikrobublinek s částicemi suspenze vzniklé koagulací za vzniku **agregátů bublina–vločka**.

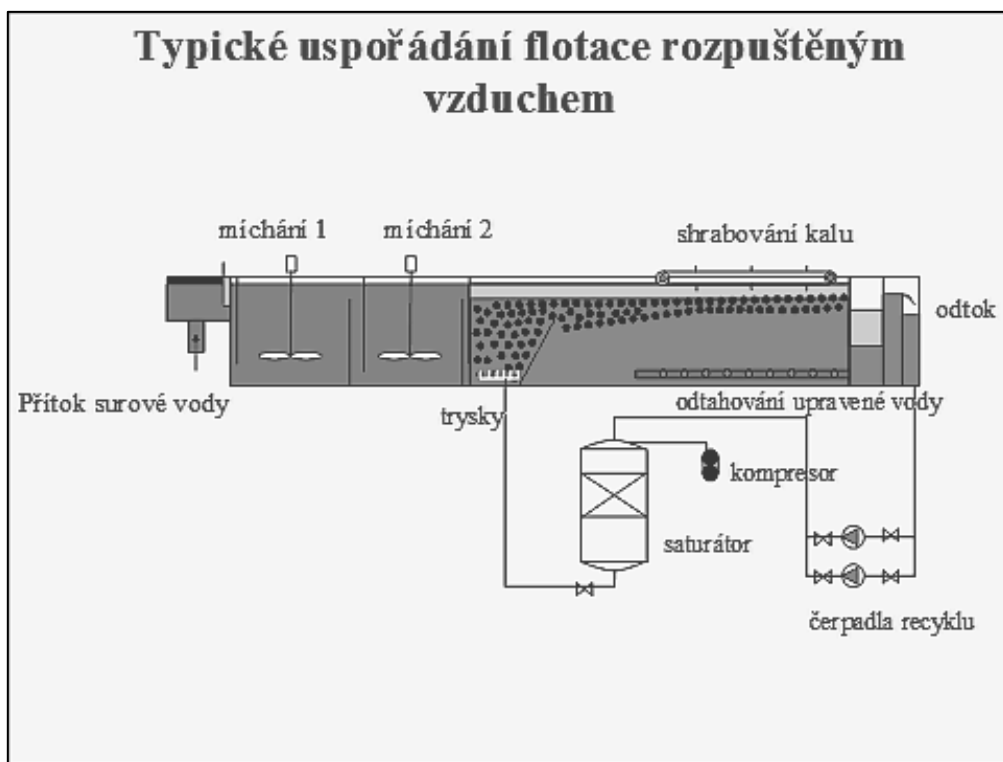
Kontaktní zóna (KZ), kde je většinou vzestupné proudění směsi bublinek, suspenze a vznikajících agregátů, je oddělená **přepážkou** od části flotační nádrže, která se nazývá **separační zóna (SZ)**. Tato část slouží k oddělení agregátů bublina–částice od kapaliny. Na hladině vody v této části flotace vzniká vrstva vyflotovaného kalu, které je mechanicky nebo hydraulicky odstraňována.

Voda po flotaci je odváděna dnem této nádrže a odtéká do dalšího separačního stupně (např. filtrace). Část této vody je čerpadlem odebírána zpět recyklem do saturátoru, kde dochází k syčení vzduchem.

Obrázek 4 podrobněji znázorňuje typické uspořádání flotační jednotky, se kterým se s drobnými úpravami můžeme setkat na našich úpravnách vody.

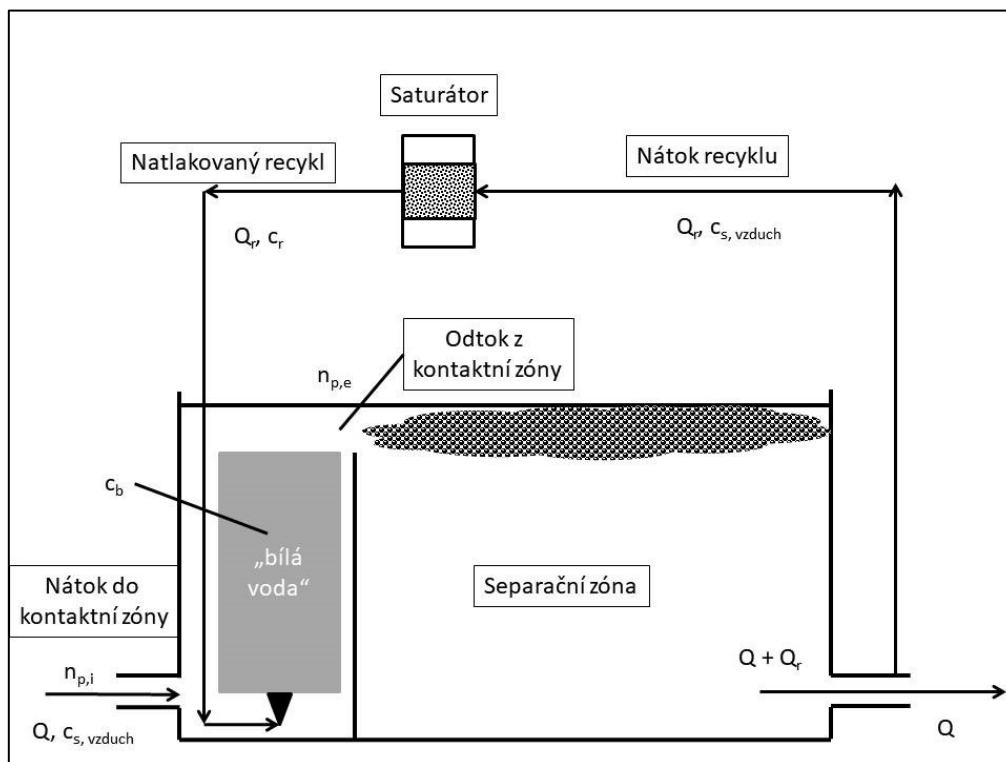


Obrázek 3. Schéma typického uspořádání úpravy vody s DAF [podle 24, 26]



Obrázek 4. Schematické znázornění úpravy vody flotací rozpuštěným vzduchem [P. Dobiáš]

Pro další popis jednotlivých částí a návrhových parametrů flotační nádrže je lepší podrobnější schématický popis na **obrázku 5**.



Obrázek 5. Podrobnější schéma základního uspořádání flotační nádrže [podle 26]

Pro přehlednou prezentaci a vysvětlení výsledků poloprovozního ověření flotace rozpuštěným vzduchem (DAF) je třeba definovat či vysvětlit některé pojmy, které se běžně v praxi používají k popisu jednotlivých částí flotace a procesů v ní probíhajících.

Agregační reaktor či flokulační nádrž (viz. **Obrázek 3 a 4**) bývá součástí flotačních jednotek a při úpravě vody slouží pro přípravu separovatelné suspenze. Většinou bývá vybavena mechanickým míchadlem pro vnos energie nezbytné pro tvorbu suspenze.

Objem flokulačních nádrží (viz. **Obrázek 3 a 4**) je nezbytný parametr pro výpočet teoretické doby zdržení, jež vychází z předpokladu, že počítáme s ideálním pístovým tokem. Definuje, jak velký prostor budou agregační reaktory zabírat v budoucí technologické lince. Většinou se vychází z údajů získaných poloprovozní experimentem. Pro DAF se typicky uvádějí hodnoty 5–20 minut [27, 28].

Teoretická doba zdržení v agregaci je definována vztahem:

$$t_{AGR} = \frac{V}{Q} \cdot 60 \text{ [min]} \quad (1)$$

kde V je objem flokulační nádrže [m^3] a Q je průtok upravované vody [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$].

Kontaktní zóna (KZ) (viz. **Obrázek 5**), do které jsou zaústěny expanzní trysky nebo ventily a ve které dochází k tvorbě bublinek vzduchu a následně jejich kontaktu s částicemi vytvořené suspenze (vločky vzniklé koagulací, mikroorganismy, partikulované Fe a Mn, zákalotvorné částice či práškové aktivní uhlí apod.) a jejich spojování do agregátů. Objem této části definuje teoretickou dobu zdržení, která ovlivňuje především kvalitu interakce mezi separovanými částicemi a mikrobublinkami. Typickými hodnotami pro dobu zdržení v KZ DAF jsou hodnoty v rozmezí 0,5–2,5 min. Jako optimální hodnota se uvádí hodnota $>1,5$ min.

Teoretickou dobu zdržení v kontaktní zóně definujeme vztahem:

$$t_{KZ} = \frac{V}{Q+Q_R} \cdot 60 \text{ [min]} \quad (2)$$

kde V je objem kontaktní zóny flotace [m^3], Q je průtok upravované vody [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$], Q_R je průtok recyklem [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$].

Abychom se drželi směru toku upravované vody flotační nádrží podle schématu na **obrázku 5**, tak je vhodné zmínit **přepážku** mezi kontaktní a separační zónou.

Její umístění a rozměry hrají významnou roli v tom, jak se bude chovat proudění vody v separační zóně a jaký bude mít vliv na separaci bublinek a agregátů v závislosti na povrchovém zatížení separační zóny. Uvádí se, že vzdálenost horní hrany této přepážky od hladiny vody ve flotaci významně ovlivňuje pohyb bílé vody a mocnost této vrstvy v separační zóně. Hodnota tečné rychlosti mezi KZ a SZ souvisí s přiblížením se k ideálnímu pístovému toku. Někteří autoři [24,

27, 29] uvádějí, že by její rozměry měly umožnit rychlost proudění vody z KZ do SZ $\geq 35 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$, ale neměla by přesáhnout $100 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$.

Je třeba také podotknout, že hraje roli při výpočtu hydraulického zatížení SZ flotace, protože pro výpočet se bere rozměr průmětné plochy nádrže omezené právě touto přepážkou.

Přes dělicí přepážku tedy voda natéká z kontaktní zóny do zóny separační (**Obrázek 5**). V této fázi je třeba definovat zásadní návrhový parametr – **povrchové zatížení** flotace.

Povrchové zatížení DAF lze definovat jako nominální hydraulické zatížení $v_{\text{nom-hl}}$ (**nominal hydraulic loading**), což je u konvenčních flotací v podstatě plocha zastavěná nádrží DAF a je navrhována v rozmezí $5\text{--}15 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$:

$$v_{\text{nom-hl}} = \frac{Q}{A} [\text{m}\cdot\text{h}^{-1}] \quad (3)$$

kde Q je průtok upravované vody [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$], A je průmětná plocha celé flotační nádrže, čili kontaktní a separační zóny dohromady [m^2].

Pokud však zvážíme fakt, že odstranění agregátů vločka-bublínka probíhá až v separační zóně a rychlost jejich odstranění je závislá na jejich vzestupných rychlostech vztažených k hydraulickému zatížení separační zóny flotace, tak víme, že tyto vzestupné rychlosti musí být vyšší než rychlost sestupného proudění vody v separační zóně nádrže DAF.

To hraje významnou roli například při navrhování vysoko zatěžovaných DAF (až $v_{\text{sz-h}} = 42 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$). A proto je přesnější definovat hydraulické zatížení DAF z hlediska **separační zóny** jako $v_{\text{sz-hl}}$ (**separation zone – hydraulic loading**) [22]:

$$v_{\text{sz-hl}} = \frac{Q+Q_R}{A_{\text{SZ}}} [\text{m}\cdot\text{h}^{-1}] \quad (4)$$

kde Q je průtok upravované vody [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$], Q_R je průtok recyklem [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$], A_{SZ} je půdorysná plocha separační zóny DAF (za přepážkou) [m^2].

Dalším důležitým ukazatelem, jenž definuje moderní flotační jednotku, je **recirkulační poměr** neboli recykl. Jedná se o poměr mezi průtokem vody recirkulační větvi DAF (přes saturátor) k celkovému průtoku vody jednotkou DAF.

Od tohoto parametru se odvíjí jednak separační účinnost DAF a jednak třeba návrh recirkulačního čerpadla a vlastně i návrh tlakové nádoby – saturátoru. Standardně je navrhován v rozmezí hodnot $8\text{--}12 \%$.

Tento parametr je definován jako:

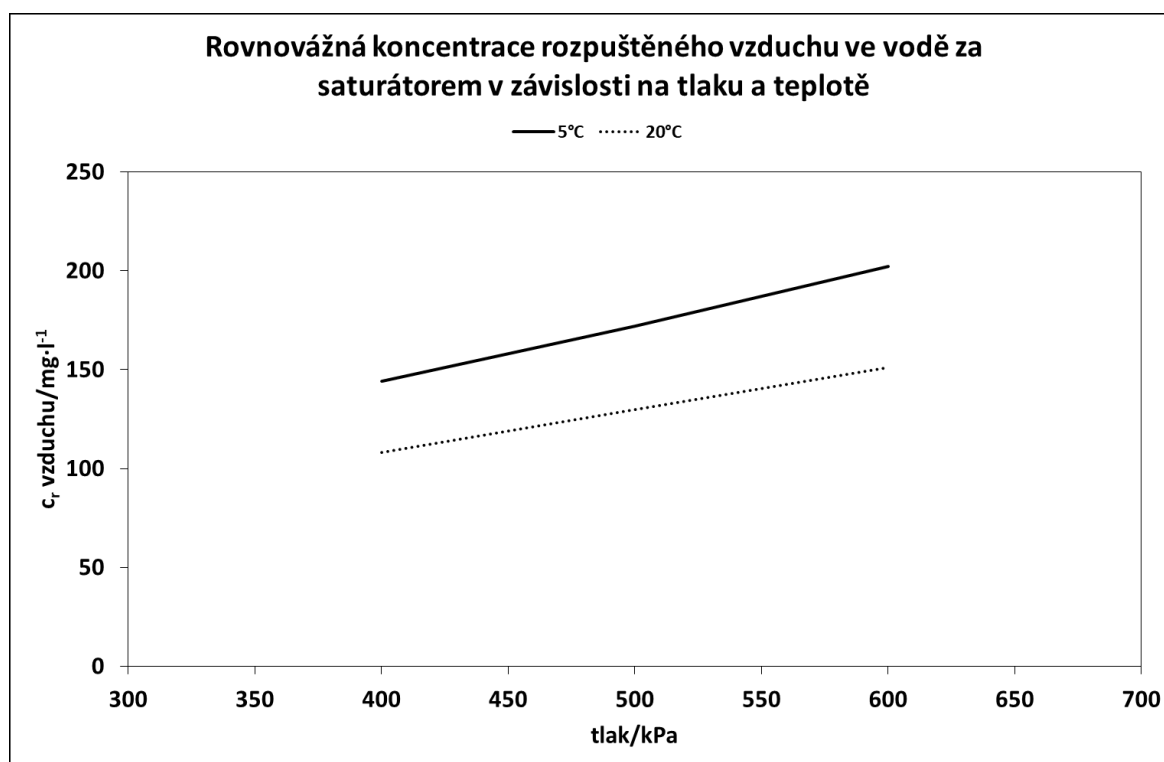
$$R = \frac{Q_R}{Q} \cdot 100 [\%] \quad (5)$$

kde Q_R je průtok sycené vody vzduchem recirkulačním čerpadlem [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$], Q je průtok upravované vody přitékající do flotační jednotky [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$] [22, 24].

V této fázi teoretického základu již byly popsány základní pojmy, které definují konstrukci flotační jednotky.

V dalším kroku je třeba shrnout základní princip funkce flotace. Ten je vystaven na bublinkách. V procesu flotace vše stojí a na produkci „správných“ bublinek a vlastnostech odstraňovaných částic.

Produkce mikrobublinek v procesu flotace (DAF) je možná na základě Henryho zákona o rozpustnosti plynů v kapalině. Tento děj začíná v saturátoru, kde je pod tlakem (obvykle 400–600 kPa) rozpouštěn vzduch ve vodě v závislosti na teplotě (**Obrázek 6**) a pokračuje na výstupu z expanzních trysek. Z tohoto principu plynou i požadavky na konstrukci saturátoru, trysek i návrhové parametry celého systému DAF. Účinnost rozpustnosti vzduchu ve vodě je u náplňových saturátorů až 95 %.



Obrázek 6. Závislost rozpustnosti vzduchu ve vodě na tlaku a teplotě [podle 26]

Tvar bublinek je dán jejich vzestupnou rychlostí a jejich průměrem. Malé bublinky (asi 10–200 μm) se pohybují v kapalině v čistě kulovitě tvaru. Takové bublinky jsou v procesu DAF nejzajímavější. Větší bubliny už ztrácejí kulovitý tvar [26].

Velikost bublinek je velmi důležitý parametr pro funkci flotace. Velikost bublinek má vliv na průběh srážek a spojování se separovanými částicemi a také na jejich vzestupnou rychlost.

V případě DAF jsou bublinky tvořeny na rozhraní expanzních trysek, kde je generována tlaková ztráta mezi tlakovým systémem na straně saturátoru a vnějším prostředím (KZ). Bublinky nejdříve tvoří jádra a pak jejich průměr narůstá.

Pro ideální stav homogenního průběhu vzniku zárodku bublinky platí vztah:

$$d_{cd} = \frac{4\sigma}{\Delta P} \quad (6)$$

kde d_{cd} [μm] je kritický průměr vznikající bubliny, σ [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$] je povrchové napětí vody, ΔP [kPa] rozdíl tlaku na rozhraní trysky [24, 26].

Při rozdílu tlaku, který je používán u konvenčních DAF (400–600 kPa), nabývá tento průměr bublinky hodnot menších než 1 μm [26].

V reálném systému DAF jsou však velikost a tvar bublinek ovlivňovány mnoha různými vlivy. Vedle typu trysky a tlaku v saturátoru je růst bublinek v kontaktní zóně ovlivňován také absorpcí vzduchu z vody v kontaktní zóně, poklesem hydrostatického tlaku, jak bublina stoupá k hladině nádrže a také splýváním a spojováním s dalšími bublinkami [26].

Produkce bublinek o velikosti 50–100 μm je nejvhodnější pro dostatečnou tvorbu agregátů vločka-bublina a jejich flotaci. Spojení bublina-částice je jev probíhající na povrchu, proto je žádoucí, aby byla bublinka co nejmenší a celkový povrch byl co nejvíce přístupný k přilnutí částice. Průměr bubliny by však neměl přesáhnout hodnotu 130 μm [30].

Většina bublin v kontaktní zóně byla pozorována ve velikostech 10–150 μm . Zvyšování tlaku v saturátoru má za následek zmenšování bublin v bílé vodě [24].

U běžně instalovaných flotací lze počítat s velikostí bublinek v kontaktní zóně v rozmezí 40–80 μm při tlaku 400–600 kPa. Jak se bubliny pohybují směrem do kontaktní zóny DAF, tak dochází k jejich mírnému nárůstu a obecně lze říci, že se v separační zóně budou nalézat bublinky v rozmezí 50–150 μm [26].

Množství neboli koncentrace bublinek v bílé vodě v kontaktní zóně lze vyjádřit jako hmotnostní koncentraci vzduchu, který byl dopraven tryskami do vody v kontaktní zóně c_b :

$$c_b = \frac{[e(c_r - c_s)R - k]}{1 + R} \quad (7)$$

kde e je faktor účinnosti saturátoru, c_r [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$] je koncentrace vzduchu ve vodě za saturátorem, c_s [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$] je koncentrace vzduchu ve vodě v kontaktní zóně DAF přitékající z flokulace, R [%] je recirkulační poměr, a k je faktor, který je vztažen k deficitu rozpuštěného vzduchu v přitékající vodě do kontaktní zóny z flokulace [22].

Z této rovnice vyplývá, že pro zvýšení množství rozpuštěného vzduchu je možno využít buď změnu recirkulačního poměru R , anebo tlak saturátoru. V praxi to znamená, že lze **primárně** zvyšovat c_b změnou R , neboť na většině úpraven v provozu už nebývá prostor pro výrazné změny tlaku, které by měly z tohoto hlediska význam [22].

Dalším vyjádřením koncentrace bublinek je objemová koncentrace (Φ_b) nebo i jako počet bublin (n_b). Takto vyjádřená koncentrace vzduchu je vhodná pro použití při teoretickém modelování procesů probíhajících v kontaktní zóně DAF a při výpočtech vzestupné rychlosti agregátů vločka-bublina.

Objemová koncentrace Φ_b je definována vztahem:

$$\Phi_b = \frac{c_b}{\rho_b} \quad (8)$$

kde c_b je hmotnostní koncentrace vzduchu v saturované vodě (rovnice 7), ρ_b je hustota vlhkého vzduchu při teplotě vody, pro kterou je objemová koncentrace počítána.

Ze vztahu 8 je odvozen vztah pro definici počtu bublinek:

$$n_b = \frac{\Phi_b}{\pi(d_b)^3/6} \quad (9)$$

kde Φ_b je objemová koncentrace (viz. rovnice 8) a d_b je průměr bubliny. Z toho plyne, že pro výpočet koncentrace vzduchových bublin je třeba znát velikost uvažovaných bublin [23, 24].

V této fázi teoretického popisu se už mírně dostáváme mimo praktickou stránku využití flotace rozpuštěným vzduchem, ale v **tabulce 2** jsou pro představu uvedeny koncentrace bublinek vzduchu v kontaktní zóně (KZ) DAF při teplotě vody 20°C, tlaku v saturátoru 500 kPa, efektivitě saturátoru 90 %, průměru bublinky 60 μm a s podmínkou, že předupravená voda (po flokulaci) je nasycená vzduchem [21, 23–25].

Tabulka 2: Koncentrace bublinek vzduchu v KZ v závislosti na recirkulačním poměru [podle 23]

R [%]	C_b [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	Φ_b [ppm]	n_b [# $\cdot\text{l}^{-1}$]
6	5,4	4500	$40\cdot 10^6$
8	7,1	5900	$50\cdot 10^6$
10	8,7	7300	$65\cdot 10^6$
12	10,1	8600	$80\cdot 10^6$

Ve fázi procesu flotace, kdy již budou k dispozici bublinky a separovatelné částice suspenze a budou vznikat jejich spojením agregáty, které je třeba dostat na hladinu flotační nádrže, tak přichází ke slovu proces sedimentace, který je třeba ovlivnit tak, aby separované částice putovaly opačným směrem, než působí gravitační pole země.

Toho dosáhneme tak, že změníme hustotu částic tak, aby jejího hodnota byla menší, než je hustota vody.

Vyjdeme ze základní Stokesovy rovnice (10), která definuje **sedimentační rychlost** v_p částice v gravitačním poli:

$$v_p = \frac{g(\rho_p - \rho)d_p^2}{18\mu} \quad (10)$$

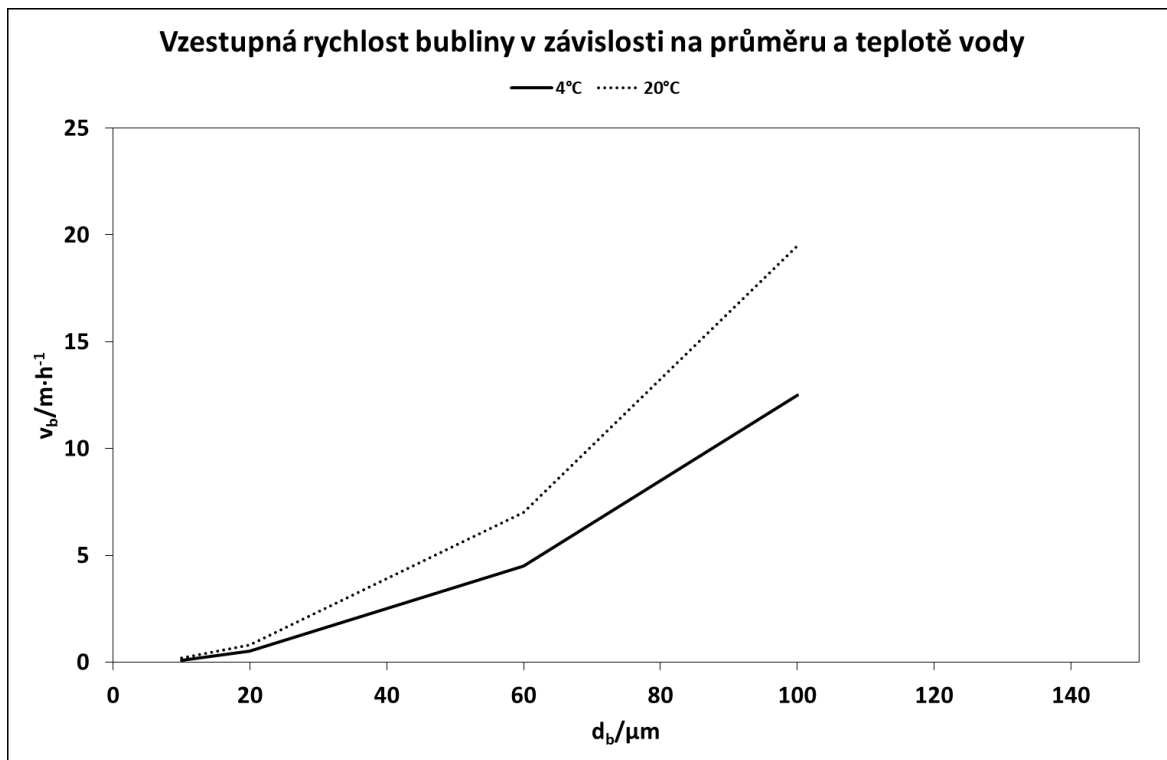
kde v_p [$\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$] je sedimentační rychlost částice, g [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] je gravitační zrychlení, ρ_p [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] je hustota částice, ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] je hustota kapaliny, d_p [m] je průměr sedimentující částice, μ je dynamická viskozita kapaliny.

Pro bublinku vzduchu pak v procesu flotace platí varianta vztahu (11), kdy dojde ke změně orientace vektoru rychlosti a bublinka tedy bude stoupat a ze sedimentační rychlosti se stane vzestupná rychlost v_b :

$$v_b = \frac{g(\rho_w - \rho_b)d_b^2}{18\mu_w} \quad (11)$$

kde v_b vzestupná rychlost bubliny, g je gravitační zrychlení, ρ_b je hustota vzduchu, ρ_w je hustota vody, d_b je průměr bubliny, μ_w je dynamická viskozita kapaliny.

Vidíme tedy, že vzestupná rychlost bublinky je závislá především na velikosti bubliny a teplotě vody a rozdílné hustotě vody a vzduchu. Na **obrázku 7** lze sledovat závislost vzestupné rychlosti bublinky na její velikosti a teplotě vody. Z uvedené závislosti je zřejmé, že s rostoucí teplotou vody a velikostí bublinky její vzestupná rychlost narůstá.



Obrázek 7. Závislost vzestupné rychlosti bubliny ve vodě v závislosti na průměru bubliny a na teplotě podle [22]

Po tom, co byla definována vzestupná rychlost bubliny, tak je třeba definovat vzestupnou rychlost pro agregát částice-bublina, protože to je to, co chceme při tomto procesu úpravy vody odstranit.

Nejprve je třeba definovat velikost agregátu, který vznikne spojením bublinky a částice (vločky – flocc – index f) d_{fb} :

$$d_{fb} = (d_f^3 + N d_b^3)^{1/3} \quad (12)$$

kde d_f [μm] je průměr vločky, N je počet bublinek, které jsou zapojené do tvorby agregované částice, d_b [μm] je průměr těchto bublinek.

Když je definován model agregátu jako nové separované částice, tak je třeba definovat její hustotu, aby bylo možné odvodit její vzestupnou (nebo sedimentační) rychlost:

$$\rho_{fb} = \frac{\rho_f d_f^3 + N \rho_b d_b^3}{d_f^3 + N d_b^3} \quad (13)$$

kde ρ_f a ρ_b [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] jsou hustoty částice resp. bubliny (vzduchu).

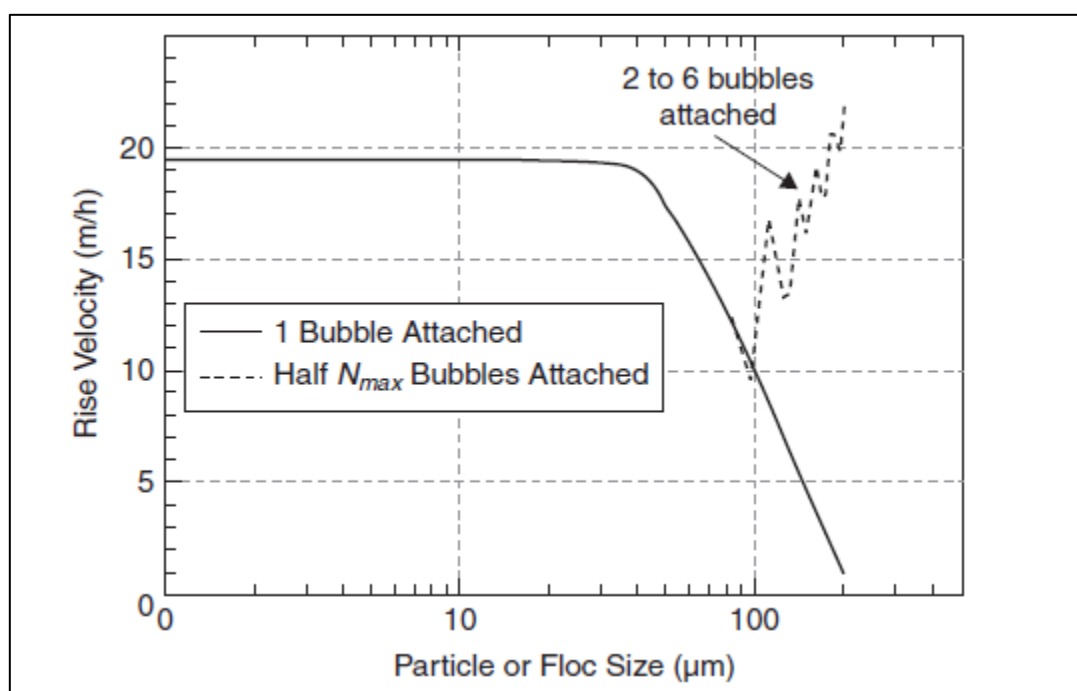
Dosazením rovnic (12) a (13) do Stokesova vztahu (10) získáme definici vzestupné rychlosti pro separovanou částici:

$$v_{fb} = \frac{4g(\rho_w - \rho_{fb})d_{fb}^2}{3K\mu} \quad (14)$$

kde μ je dynamická viskozita vody a K je konstanta, která charakterizuje vliv tvaru vločky a třecí sílu působící na částici při pohybu vodním prostředím. Pro sférický tvar je $K = 24$. S touto hodnotou se počítá pro velikost částic $\leq 40 \mu\text{m}$, s tím, že postupně nabývá hodnoty až 45 pro částice $\geq 170 \mu\text{m}$ [31].

Na **obrázku 8** je modelové vyjádření předchozích definic. Pokud budeme uvažovat částici suspenze vzniklou například koagulací o velikosti (průměru) $< 50 \mu\text{m}$ a předpokládané hustotě kolem, řekněme, $1,05 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, na kterou se napojí 1 bublinka o průměru $100 \mu\text{m}$, tak lze za ideálních podmínek (20°C) dosáhnout vzestupné rychlosti až $20 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$.

Pro částice o velikosti v rozsahu $50\text{--}100 \mu\text{m}$ vzestupná rychlost klesá. Při těchto rozměrech lze možná ještě uvažovat o nízko zatěžená flotaci v rozsahu povrchového zatížení $5\text{--}10 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$. Pokud bychom u částic o velikosti $> 100 \mu\text{m}$ uvažovali o obnovení původní vzestupné rychlosti, tak je zapotřebí uvažovat o násobném množství $100 \mu\text{m}$ bublinek přichycených na tuto částici.



Obrázek 8. Závislost vzestupné rychlosti na velikosti separované částice [převzato z 23]

Shrneme-li si všechny dosud získané poznatky z teoretického popisu procesu flotace rozpuštěným vzduchem (DAF), dojdeme k základním tezím o flotaci v praxi.

- Jednak vidíme, že je možné pracovat s maximální vzestupnou rychlostí agregátů asi $20 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$.
- To znamená, že vzestupná rychlost bublinek vb a agregátů vfb musí být vždy vyšší než povrchové zatížení separační zóny flotace. Pokud je tato hodnota překročena, tak je třeba to řešit především úpravou konstrukce flotační nádrže.
- Dále jsme zjistili, že teplota vody ovlivňuje flotační proces a je k tomu třeba přihlížet v praxi.
- Víme, že optimální velikost separovaných částic flotací je $\leq 50 \text{ }\mu\text{m}$ a pro správnou funkci flotace je vhodné generovat bublinky o průměru v rozsahu 10-100 μm .
- Při běžných podmínkách úpravy běžné povrchové vody je vždy dostatek bublinek v kontaktní zóně v poměru k počtu separovaných částic.
- Tlakem vzduchu v systému saturátoru lze ovlivnit velikost vznikajících bublinek.
- Zvýšení koncentrace vzduchových bublinek v kontaktní zóně je možné dosáhnout zvýšením hodnoty recirkulačního poměru.
- Vhodnou optimalizací koagulačního procesu lze významně ovlivnit separační účinnost flotace. Správně nastavené podmínky koagulace zajistí jednak přípravu dobře separovatelné suspenze z hlediska velikosti částic a jednak, lze správným chemismusem tohoto procesu pozitivně ovlivnit vznik agregátů částice-bublina.

V **tabulce 3** je uveden přehled typických návrhových parametrů moderní flotace rozpuštěným vzduchem.

Tabulka 3. Přehled typických návrhových parametrů DAF [podle 23]

Parametr	Standardní DAF	Vysoce zatěžovaná DAF
Doba zdržení – flokulace [min]	10–20	10–15 (5)
Počet reaktorů	2 (i více*)	2
Střední rychlostní gradient [s^{-1}]	50–100 (150*)	
Povrchové zatížení [$m \cdot h^{-1}$]	5–15	15–30
Povrchové zatížení – kontaktní zóna [$m \cdot h^{-1}$]	100–200	120–300
Doba zdržení v KZ [min]	1–2,5	1–2
Povrchové zatížení – separační zóna [$m \cdot h^{-1}$]	6–18	20–40
Množství vzduchu [$g \cdot m^{-3}$]	6–10	6–11
Recirkulační poměr [%]	6–12	
Tlak v saturátoru [kPa]	400–600	400–600
Účinnost saturátoru [%]	80–95	80–95
Velikost generovaných bublinek [μm]	10–100 (40–80)	10–100 (40–80)
Koncentrace kalu [%]	0,2–3	

3.2 Příprava suspenze pro separaci flotací

Flotace rozpuštěným vzduchem je vodárenský separační proces. Z toho vyplývá, že pro co nejúčinnější separaci cizorodých látek flotací je třeba zvládnout proces přípravy vhodné suspenze.

Cílem procesu přípravy suspenze pro separaci flotací je získat částice, jejichž povrchový náboj je co možná nejmenší až nulový. Pak bude docházet k efektivnímu spojování s bublinkami vzduchu za vzniku agregátů bublina-částice [24].

Proces destabilizace organických látek, které jsou většinou koloidní povahy, ovlivňují především parametry jako teplota, hodnota pH, alkalita a dávka a typ koagulačního činidla [32–36].

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této kapitole je uveden výběr výsledků z několika poloprovozních studií pro využití flotace rozpuštěným vzduchem při úpravě vody, které byly prováděny v rámci předprojektové přípravy rekonstrukce úpraven vody v České republice. Na významně velkém počtu lokalit v České republice, na kterých byla flotace poloprovozně testována, byla flotace následně realizována v provozním měřítku.

Metodika provedení studií je z větší části společná až na některé detaily, které se stýkají především využitím oxidace (KMnO_4 , O_3) či různých typů koagulantů.

4.1 Metodika

Příprava pro poloprovozní experiment vychází z poznatků, které přináší technologický (procesní) audit, při němž je celá technologická linka hodnocena z hlediska možných úzkých míst [37-43].

Metodika poloprovozního ověření funkce flotace rozpuštěným vzduchem byla ve všech případech založena na provozu modelové flotační jednotky přímo v reálných podmínkách úpraveny vody (**Obrázky 9 a 10**). Výsledkem poloprovozního experimentu je jednak ověření separační účinnosti flotace při různých podmínkách z hlediska kritických kvalitativních ukazatelů a jednak by to měl být soubor návrhových parametrů pro budoucí provozní jednotku DAF.



Obrázek 9. Poloprovozní model DAF na ÚV Plzeň [P. Dobiáš]



Obrázek 10. Poloprovozní model DAF na ÚV Bedřichov [P. Dobiáš]

4.1.1 Model flotace – popis

Model flotační jednotky je vždy testován na úpravně vody. Tím je dosaženo výsledků, které odpovídají reálné kvalitě surové vody na konkrétní lokalitě. Modely flotace byly vyrobeny firmou ENVI-PUR s.r.o, Praha.

Model flotace je vybaven:

- Kontinuálně měřeným nátokem surové vody.
- Několika flokulačními reaktory s mechanickým mícháním. Teoretická doba zdržení se dá v jednotlivých flokulačních nádržích měnit pomocí vkládání či odebrání přepážek. Míchadla jsou vybavena motory řízených frekvenčním měničem, aby bylo možné měnit intenzitu míchání změnou frekvence.
- Do kontaktní zóny modelu flotace ústí dvojice speciálních flotačních (expanzních) trysek, na jejichž rozhraní je kontinuálně generována bílá voda.
- Separační zóna flotace je vybavena mechanickým shrabovacím zařízením na odstraňování vyflotovaného kalu.
- Část upravené vody je ze dna separační zóny flotace odebírána recirkulačním čerpadlem do náplňového saturátoru, ve kterém je pod tlakem rozpouštěn vzduch ve vodě.
- Ve většině případů je do modelu čerpána surová voda. Dávkování potřebných chemikálií (oxidačních činidel, koagulantů a polymerních flokulantů) je součástí poloprovozního měření tak, aby byl model flotace provozován v co možná nejoptimálnějších podmínkách.
- Dávkování potřebných chemikálií je variabilní podle aktuálních podmínek.

4.1.2 Stanovení dávky koagulantu

Stanovení dávky koagulantu je založeno na metodice vyvinuté Dolejšem [44, 45]. Test spočívá v porovnání dávek ve třech až šesti 250 ml odměrných válcích. V každém odměrném válci je rozdíl dávky koagulantu 5–10 %.

Test se provádí při teplotě surové vody, čili nejlépe přímo v provozu úpravny vody. Separace suspenze je prováděna pomocí centrifugace. Vyhodnocení účinnosti koagulace a následné separace je hodnoceno na jednoduchých kvalitativních ukazatelích (UV absorbance, barva, zákal, zbytkový koagulant a pH).

Test je možno upravit pro podrobnější hodnocení dávky koagulantu zvýšením počtu odměrných válců a modifikací výběru vhodných dávek zvoleného koagulantu.

Základní metodika až se šesti odměrnými válci je vhodná pro koagulační testy za účelem porovnání účinnosti různých destabilizačních činidel. Zkrácená varianta testu se třemi válci je vhodná i pro rychlé provozní ověření dávky koagulantu přímo v nadávkované vodě v modelu flotace či provozní technologické linky.

4.1.3 Sledované ukazatele – výčet, analytická metodika

Hodnocení poloprovozních zkoušek s modelem flotace je založeno na co nejjednodušších analytických metodách, které vyžadují jednoduchou instrumentaci, pomocí kterých je možno rychle a jednoduše získávat velké množství dat, jejichž výpovědní hodnota je při tom dostačující pro vyhodnocení procesu koagulace a separace.

V **tabulce 4** je uveden souhrn používaných hodnotících ukazatelů, které se dlouhodobě osvědčily, jak při hodnocení separační účinnosti poloprovozní i provozní flotace, tak při dalších procesech probíhajících při úpravě vody.

Velkou výhodou a vlastně i moderním trendem je využití kontinuálních analyzátorů jako je počítač částic ARTI WPC 21 (Hach) či laserový zákaloměr (Hach) (**Obrázek 11**). Kontinuální měření pomocí těchto analyzátorů umožňuje sledovat nejen proces flotace v reálném čase, a proto je možné zaznamenat změny kvality vody v návaznosti na změnu procesních proměnných [46-48].

Tabulka 4: Souhrn nejčastěji používaných ukazatelů pro hodnocení účinnosti DAF při úpravě vody

Ukazatel	Jednotky	Zařízení/princip
UV absorbance, $\lambda=254$ nm, 1 cm (A254)		UV-VIS spektrofotometr/spektrofotometrické stanovení
Barva, $\lambda=387$ nm, 5 cm, (A387)*	mg Pt·l ⁻¹	UV-VIS spektrofotometr/spektrofotometrické stanovení
CHSK _{Mn}	mg·l ⁻¹	titrační metoda s KMnO ₄
Al, Fe	mg·l ⁻¹	Spektrofotometrické stanovení
pH		pH-metr
Teplota vody	°C	Teploměr
Zákal	NTU	Kontinuální zákaloměr
Počet částic 2 – 100 μ m	částic·ml ⁻¹	Kontinuální počítací částic ARTI WPC 21 (Hach)
Mikroskopický obraz – počet mikroorganismů	j·ml ⁻¹	Mikroskopické stanovení

*Stanovení ukazatele barva na základě měření absorbance při $\lambda=387$ nm zavedl do praxe Dolejš [49].



Obrázek 11. Použitý kontinuální počítací částic (vlevo) (Hach) a kontinuální laserový zákaloměr (vpravo) (Hach) [P. Dobiáš]

4.1.4 Typický postup poloprovozního testování DAF

V první fázi je proveden průzkum terénu pro zjištění podmínek umožňujících umístění modelu flotace. V průběhu přípravy modelu flotace jsou většinou prováděny základní měření a jsou prováděny koagulační testy.

Po zprovoznění modelu flotace je experimentální plán založen na prvním kroku optimalizace provozu flotace při standardních podmínkách (povrchové zatížení $10 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$, recirkulační poměr kolem 10 %, teoretická doba zdržení ve flokulaci 20 minut). V prvním kroku jsou též optimalizovány podmínky procesu přípravy suspenze (dávka koagulantu, pH, optimalizace míchání v agregaci).

V následném kroku se testují různá povrchová zatížení flotační jednotky. Většinou se jedná o snížení a zvýšení hodnoty povrchového zatížení o 50 %. V některých případech se testuje i maximální hodnota povrchového zatížení, aby bylo možné pro potřeby dané lokality navrhnout flotaci s co největší hodnotou povrchového zatížení.

Dalším krokem je ověření potřebné teoretické doby zdržení ve flokulaci při konstantní hodnotě povrchového zatížení. Změnou povrchového zatížení lze též ověřit vliv recirkulačního poměru na separační účinnost flotace.

Na úpravě vody Orlice (Hradec Králové) byl experimentálně ověřován i vliv použití předoxidace pomocí ozonu a dávkování manganistanu draselného.

Speciálním případem je i použití metodiky plánování experimentů (Design of Experiments – DOE). Na některých lokalitách (ÚV Želivka, ÚV Plzeň) byly využity poznatky z teorie faktorového plánování experimentů a pro stanovení vazeb mezi parametry surové vody, provozními parametry koagulace a agregace suspenze, parametry DAF a její separační účinnosti byl použit faktorový pokus (FP) založený na principu DOE. Hlavní předností FP je stanovení chování výstupu pomocí statistického vyhodnocení daného pokusu a zjištění významnosti jednotlivých faktorů (experimentálních parametrů) s minimalizací množství měření. Struktura FP je založena na matici vzájemně kombinovaných vstupních hodnot daného pokusu [50–52]. Pro vyhodnocování dat podle faktorového plánu experimentů byl použit programové rozšíření pro Microsoft Excel DOE PRO XL 2007.

5 VÝSLEDKY

V této kapitole je uveden výběr některých nejzajímavějších výsledků dosažených na poloprovozních modelech flotace na vybraných úpravárnách vody v České republice, na kterých se autor této práce experimentálně významně podílel. Podstatná část získaných výsledků vedla k souboru návrhových parametrů pro projektovanou flotační jednotku.

Uvedené výsledky dokumentují průřez zkušeností, které byly získány v rámci experimentálních prací s tímto vodárenským separačním procesem.

5.1 ÚV Znojmo

Na úpravě vody Znojmo bylo v rámci předprojektové přípravy uvažováno s náhradou původní sedimentační nádrže flotací rozpuštěným vzduchem.

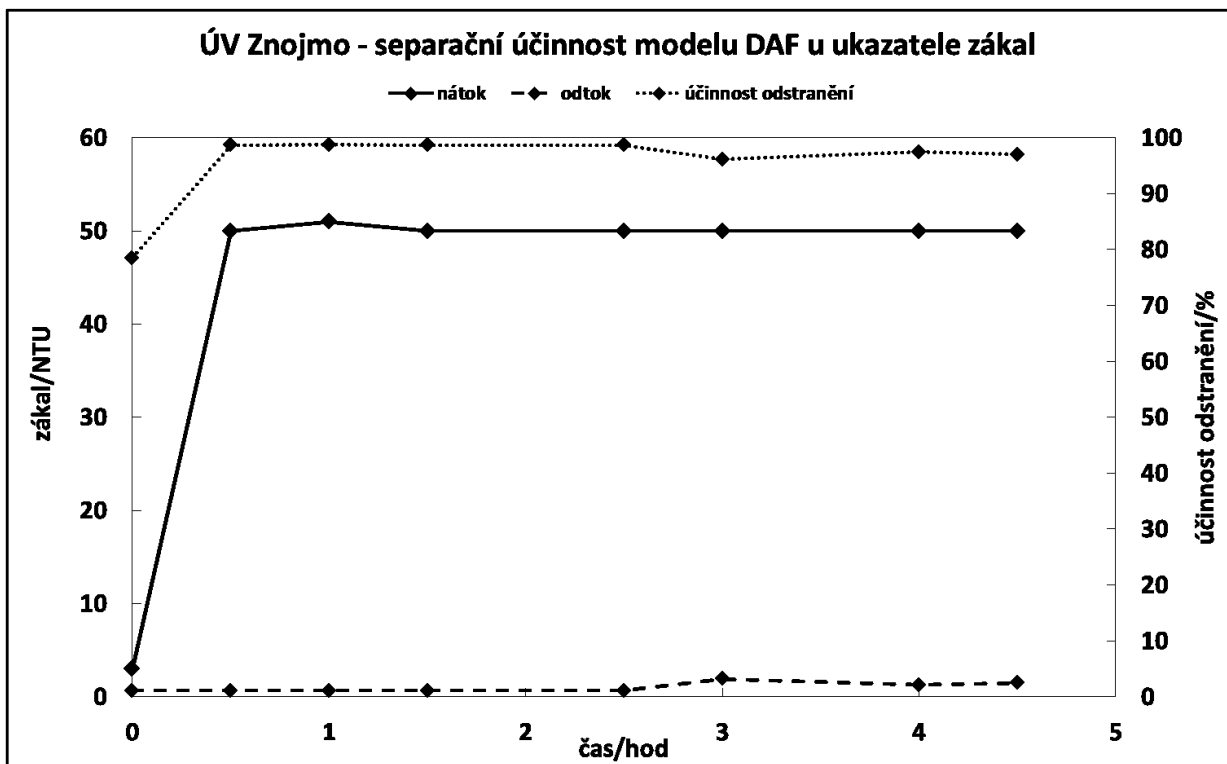
Byly proto provedeny modelové zkoušky na poloprovozním zařízení. Jedním z hlavních požadavků bylo ověření, jak by si první separační stupeň poradil s vysokou hodnotou zákalu v surové vodě při okalovém stavu.

V období poloprovozních zkoušek však byla surová voda dobré kvality a proto bylo nutné zvýšené hodnoty ukazatele zákal uměle simulovat. Proto byla do surové vody natékající do modelu flotace dávkována suspenze bentonitu a tím byl simulován zvýšený zákal upravované vody (**Obrázek 12**).

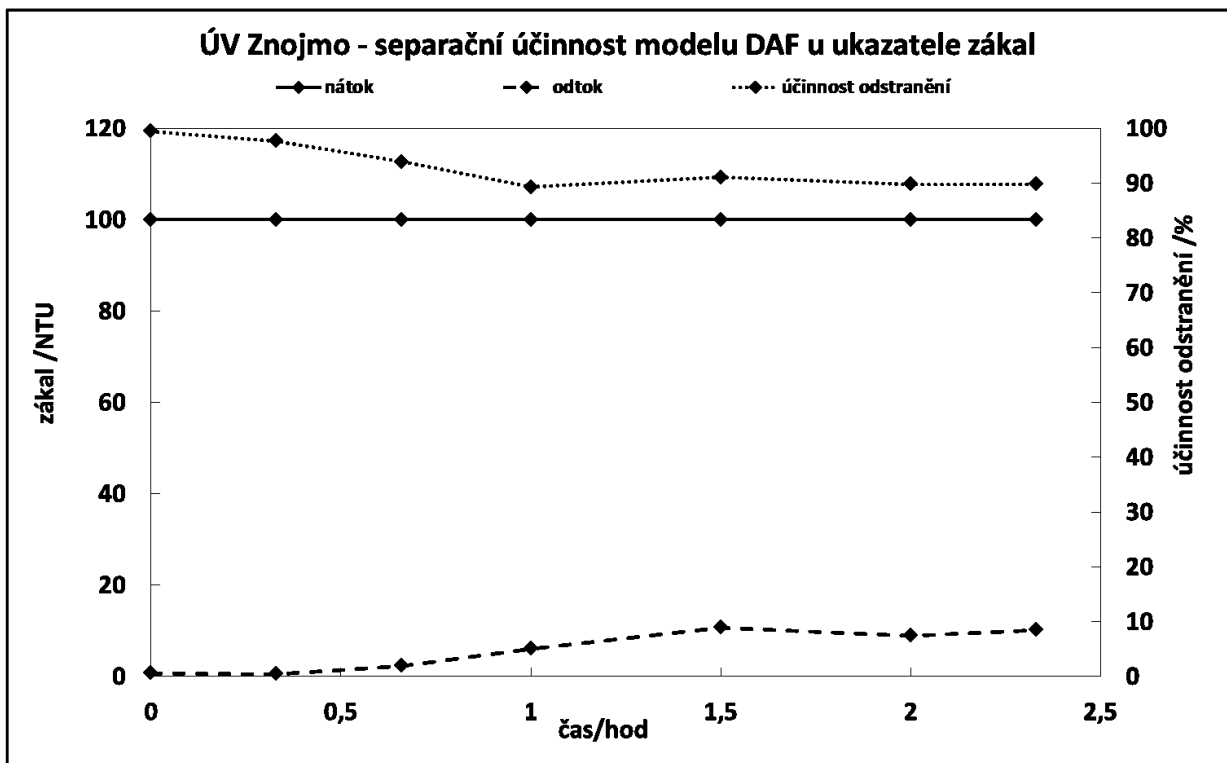


Obrázek 12. ÚV Znojmo – simulace zákalu pomocí dávkování bentonitové suspenze [P. Dobiáš]

Při povrchovém zatížení flotace $10 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ byla zaznamenána téměř 100% separační účinnost u ukazatele zákal, jehož hodnota pro surovou vodu byla experimentálně simulována n 50 NTU (**Obrázek 13**). Podobných výsledků bylo při stejném nastavení modelu dosaženo i pro modelový zákal surové vody 100 NTU (**Obrázek 14**).



Obrázek 13. Zákal za modelem DAF při uměle zvýšeném zákalu surové vody na 50 NTU [53]



Obrázek 14. Zákal za modelem DAF při uměle zvýšeném zákalu surové vody na 100 NTU [53]

Dalším ze sledovaných ukazatelů na této úpravně bylo množství sušiny vyflotovaného kalu. Odběr vzorku kalu byl proveden při standardní kvalitě surové vody, jejíž základní ukazatele a jejich hodnoty jsou uvedeny v **tabulce 5**.

Tabulka 5. ÚV Znojmo – základní ukazatele kvality surové vody a provozní parametry modelu DAF při odběru vzorku kalu pro stanovení množství sušiny [53]

Barva [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ Pt]	28,5
UV absorbance, 254 nm, 1 cm kyveta	0,161
Zákal [NTU]	3,01
Teplota vody [$^{\circ}\text{C}$]	9
Povrchové zatížení DAF [$\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$]	10
Nastavení recyklu [%]	10

Koncentrace sušiny kalu byla zjištěna hmotnostní analýzou z rozdílu hmotnosti před a po vysušení odebraného vzorku kalu. Do kádinky bylo odebráno 84,7 g kalu a po vysušení bylo nalezeno 2,3 g sušiny. To odpovídalo koncentraci kalu 3,2 %. **Obrázky 15 a 16** dokumentují jednak kal na hladině separační zóny flotace a pak i vzorek vysušeného kalu [53].



Obrázek 15. Kal na hladině konce separační zóny modelu flotace při režimu provozu s hydraulickým odkalováním a bez přidavku umělého zákalu [P. Dobiáš]



Obrázek 16. Vysušený kal po stanovení sušiny kalu [P. Dobiáš]

Na základě poloprovozního ověření separační účinnosti flotace bylo pro tento projekt konstatováno, že za podmínek průměrné kvality surové vody bude možné očekávat minimálně dvojnásobnou separační účinnost oproti původní sedimentační nádrži. To by umožnilo prodloužit filtrační cykly zařazené filtrace přes vrstvu zrnitého materiálu minimálně na dvojnásobek, což je předpoklad pro asi 50% úsporu pracích médií a energií na praní filtrů.

Zvýšený přírodní zákal, který se periodicky vyskytuje v surové vodě, by neměl ohrozit funkci flotace při hodnotách zhruba do 250 NTU. Pokud by se vyskytly vyšší hodnoty zákalu, dojde pouze k částečnému snížení separační účinnosti flotace.

Hodnoty zákalu na odtoku z flotace by však v žádném případě nemohly ohrozit kvalitu upravené vody, protože dvouvrstvá filtrace je bez problémů bude separovat. Další provozní alternativou při zákalech řádu mnoha set NTU je mírné snížení výkonu úpravy vody.

5.2 ÚV Jirkov

Poloprovozní ověření flotace na úpravně vody Jirkov (SčVK a.s., Teplice) předcházelo její rekonstrukci, při které došlo ke generální přestavbě celého objektu.

Zajímavé na poloprovozním testování DAF na této lokalitě byl fakt, že zde byla paralelně poloprovozně posuzována vhodnost flotace rozpuštěným vzduchem a vysoce zatěžované sedimentace (Actiflo[®]), kterou vyvinul a dodává nadnárodní gigant Veolia a.s., pro první separační

stupeň. Flotace nakonec v tomto srovnání vykazala významně lepší separační účinnost a byla na úpravně vody Jirkov realizována v provozním měřítku ($Q_{\max} 230 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$).

Na vybraných výsledcích z této lokality bude demonstrován vliv optimalizace chemismu procesu přípravy suspenze (dávka koagulantu, hodnota pH) na separační účinnost flotace rozpuštěným vzduchem.

ÚV Jirkov upravuje surovou vodu z povrchového zdroje, jímž je vodní nádrž Jirkov na říčce Bílina. Jako koagulant byl používán síran hlinitý.

Kvalita surové vody v době experimentů je stručně charakterizována hodnotami vybraných základních ukazatelů v **tabulce 6**.

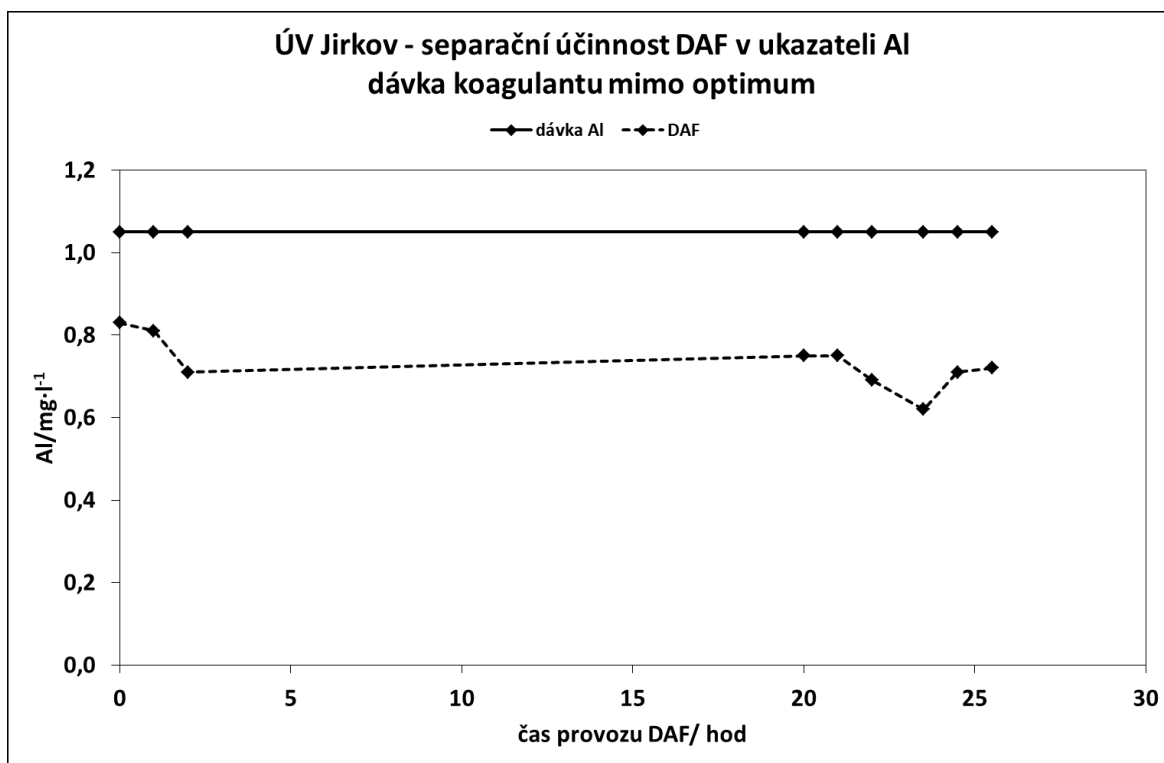
Tabulka 6. Vybrané parametry pro surovou vodu v době modelového provozu flotace [54]

UV absorbance, 254 nm, 1 cm kvjeta	0,105
CHSK _{Mn} [mg·l ⁻¹]	4,3
Mn [mg·l ⁻¹]	0,05
Al [mg·l ⁻¹]	0,05
pH	6,89
KNK _{4,5} [mmol·l ⁻¹]	0,33

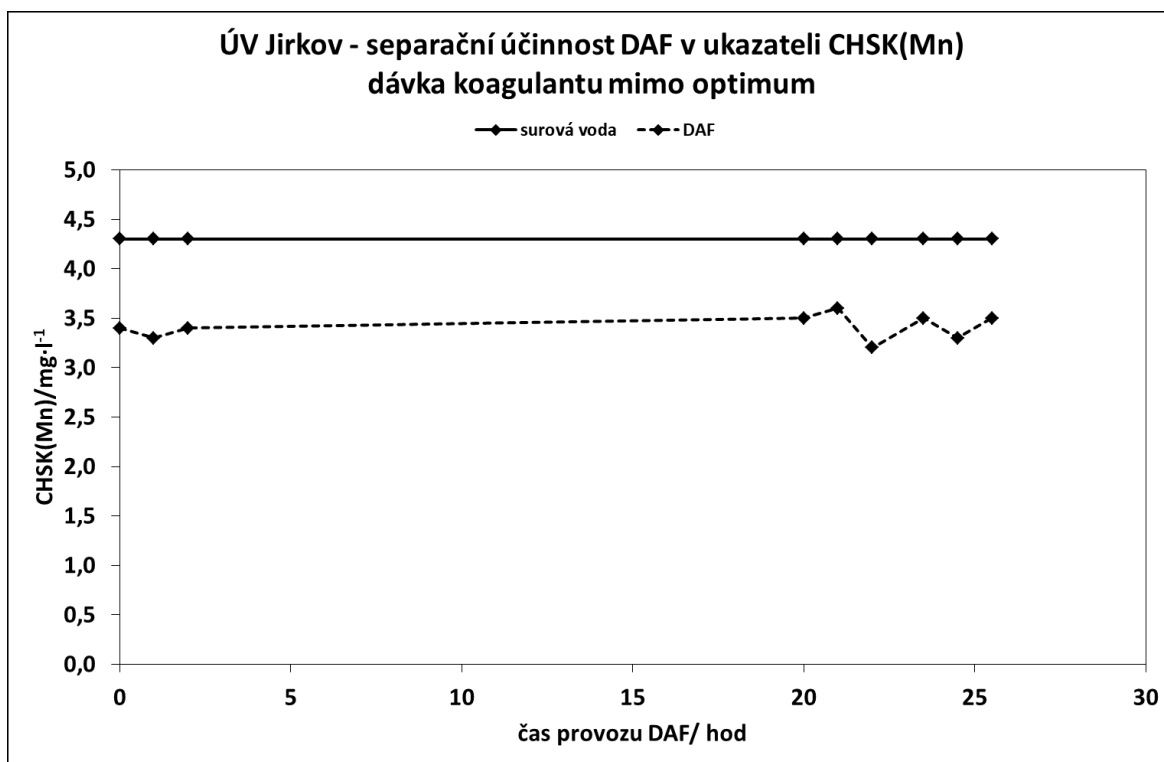
V průběhu experimentů byla do modelu flotace přiváděna jednak surová voda s dávkou koagulantu, které v době experimentů byla běžně používána pro přípravu suspenze v původní technologické lince ÚV Jirkov.

Jak dokumentují grafy (**Obrázek 17– 18**), tak s touto dávkou koagulantu mimo optimum byla separační účinnost flotace velmi nízká a to jak při odstraňování koagulantu (Al), tak i organických látek (CHSK_{Mn}).

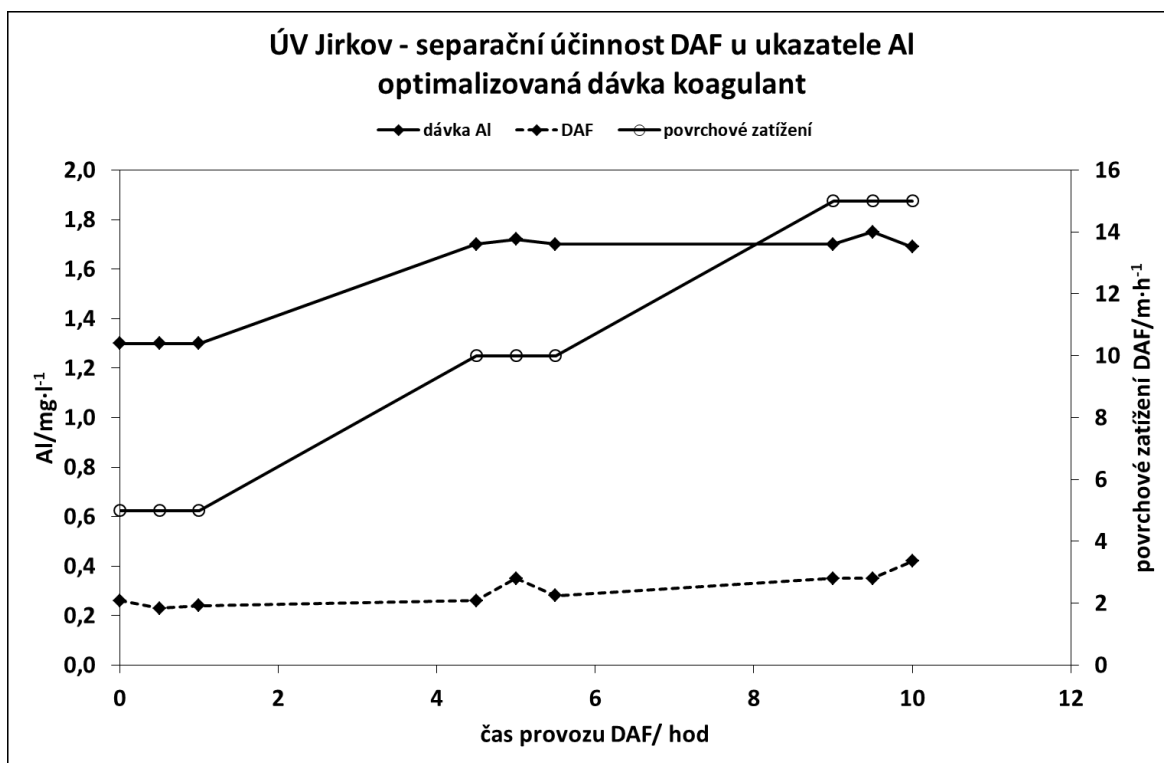
Vysoká separační účinnost flotace při optimálně nastaveném chemismu koagulace je ilustrována na grafech (**Obrázek 19–20**). Vidíme, že při správně zvolené dávce koagulantu, co nejbližší optimu, dojde k výraznému zlepšení separační účinnosti flotace a to dokonce nezávisle na povrchovém zatížení separační zóny DAF.



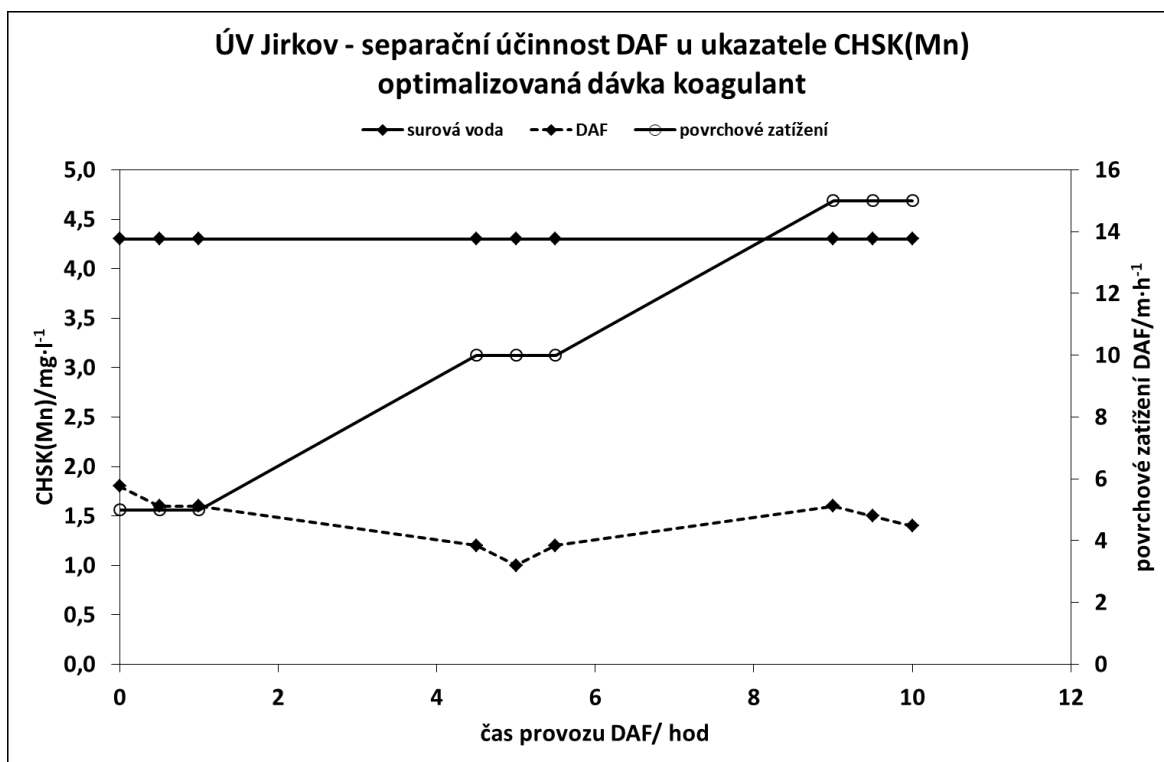
Obrázek 17. ÚV Jirkov – účinnost DAF na odstranění Al při nevhodné dávce koagulantu [54]



Obrázek 18. ÚV Jirkov – účinnost DAF na odstranění CHSK_{Mn} při nevhodné dávce koagulantu [54]



Obrázek 19. ÚV Jirkov – účinnost DAF na odstranění Al při dávce koagulantu blízke optimu [54]



Obrázek 20. ÚV Jirkov – účinnost DAF na odstranění CHSK_{Mn} při dávce koagulantu blízke optimu [54]

Pro úplnou představu o rozdílné separační účinnosti DAF je doplněna **tabulka 7** s průměrnými hodnotami celkového počtu mikroorganismů ve vzorcích z odtoku flotace.

Bylo dosaženo odstranění hliníku 80–85 % a organismů prakticky 100 % (tj. do počtů 0 ve vodě po flotaci). Tyto hodnoty mohou zaručit prodloužení filtračních cyklů při předřazení flotace minimálně na pětinašobek doby provozu filtrů u jednostupňové úpravy stejné vody. Flotace poskytuje vysokou stabilitu separační účinnosti i při vysokých výkyvech hydraulického zatížení (50–150 % návrhového průtoku) a to bez dávkování jakékoli další chemikálie mimo koagulantu (síranu hlinitého) [49].

Tabulka 7. Průměrné hodnoty celkového počtu MO v závislosti na optimalizaci chemismu koagulace [54]

	Dávka koagulantu mimo optimum	Optimální dávka koagulantu
Celkový počet mikroorganismů [$j \cdot ml^{-1}$]	84	0
Povrchové zatížení DAF [$m \cdot h^{-1}$]	5–15	5–15

Pro ilustraci je uveden i pohled na konzistenci vyflotovaného kalu (pěny) při dávkování koagulačního činidla hluboko mimo optimum (**Obrázek 21**) a na charakter vyflotovaného kalu při dávkování koagulantu v blízkosti optima (**Obrázek 22**).

Z tohoto poloprovozního testu flotace bylo možné vyvodit závěr, že separační účinnost flotace (DAF) je velmi vysoká a byla dobře dokumentována při nadávkování koagulantu do blízkosti optimální dávky.



Obrázek 21. Kal na hladině poloprovozního modelu DAF při provozu s nadávkovanou vodou z úpravny vody Jirkov (1. etapa experimentů) při dávce koagulantu mimo optimum [P. Dobiáš]



Obrázek 22. Hladina na poloprovozním modelu DAF při provozu s nadávkovanou vodou optimální dávkou síranu hlinitého po ukončeném shrabování kalu (2. etapa experimentů) [P. Dobiáš]

5.3 ÚV Plzeň

Poloprovozní experimenty s flotací na ÚV Plzeň byly specifické tím, že se jednalo o součást velmi komplexního přístupu k předprojektové přípravě.

Součástí velkého rozsahu experimentální práce bylo, kromě možnosti využití flotace v prvním separačním stupni, také ověření možnosti sorpce na granulované aktivní uhlí (GAU) po oxidaci ozonem [55–57], ale také první poloprovozní otestování nového filtračního materiálu Filtralite Mono-Multi [58].

Ve finální podobě projektu rekonstrukce technologické linky ÚV Plzeň našlo na základě získaných poznatků z poloprovozních pokusů uplatnění jak GAU, tak i Filtralite Mono-Multi. To bohužel, i přes vynikající výsledky, nelze říci o flotaci rozpuštěným vzduchem, která v tomto případě nenahradila uspokojivě fungující původní sedimentaci. Investor rekonstrukce ÚV Plzeň neshledal nutnou změnu v prvním separačním stupni.

Experimentální práce na ÚV Plzeň byla přínosná i v tom, že bylo širěji využito faktorového experimentálního plánu, aby bylo možné posoudit vliv dávky koagulantu, intenzity míchání a povrchového zatížení na separaci suspenze flotací.

Pomocí faktorového pokusu bylo sledováno, jakým způsobem ovlivní dávka koagulantu, intenzita míchání ve flokulační nádrži a nastavené povrchové zatížení separační účinnost DAF u vybraných ukazatelů kvality vody. Jednalo se o tyto ukazatele:

- A254
- barva
- CHSK_{Mn}
- Al
- počty částic v rozsahu velikostí 2–100 μm

Dávky koagulantu byly dle podmínek faktorového pokusu měněny v rozmezí 30–50 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, intenzity míchání byly nastavovány v hodnotách mezi 50–150 s^{-1} a povrchové zatížení dosahovalo hodnot 10–16 $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$.

Pro účely této práce byly vybrány příklady výsledků, kde pro popis vlivu změny proměnných veličin na účinnost flotace, byly použity počty 2 μm částic.

Počítač částic *ARTI WPC-21* sice měří počty částic v rozmezí 2–100 μm , ale vyhodnocení faktorového experimentu jsou uvedeny pouze 2 μm částice, které mají pro zamýšlený účel největší vypovídací hodnotu. Například bylo zjištěno, že počty 2 μm částic ve vodě za flotací dobře korelují se zbytkovou koncentrací hliníku.

Na základě faktorového pokusu je tedy možné konstatovat, že separační účinnost flotace při povrchovém zatížení 10 $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$, z hlediska počtu 2 μm částic, pozitivně ovlivňovala rostoucí

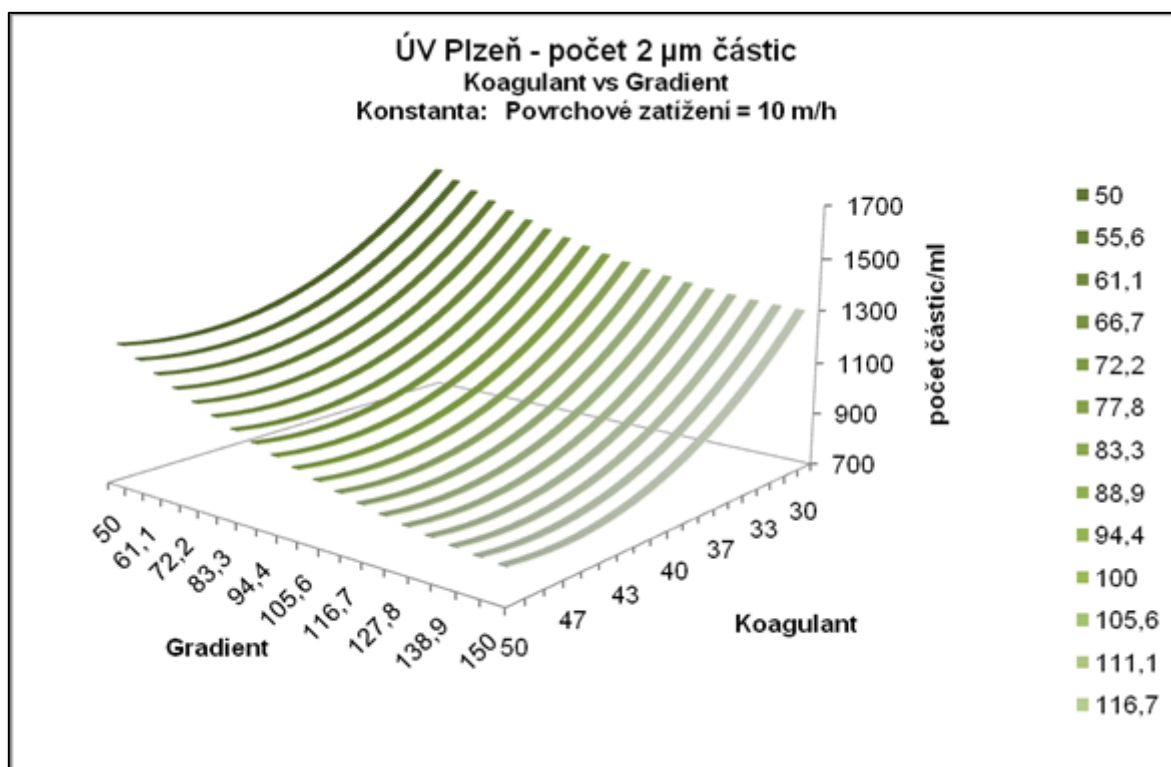
intenzita míchání ve flokulaci a optimální dávka koagulantu byla v rozmezí 45–45 mg·l⁻¹ (**Obrázek 23–24**). To patrně souvisí i s teorií o vhodné velikosti separovaných částic ($\leq 50 \mu\text{m}$).

Vliv změny povrchového zatížení na separační účinnost při optimální dávce koagulantu (konstanta pro toto nastavení faktorového pokusu) je vidět na **obrázcích 25–27**. Je možno usuzovat, že s rostoucím povrchovým zatížením flotace dochází k mírnému zhoršování separační účinnosti.

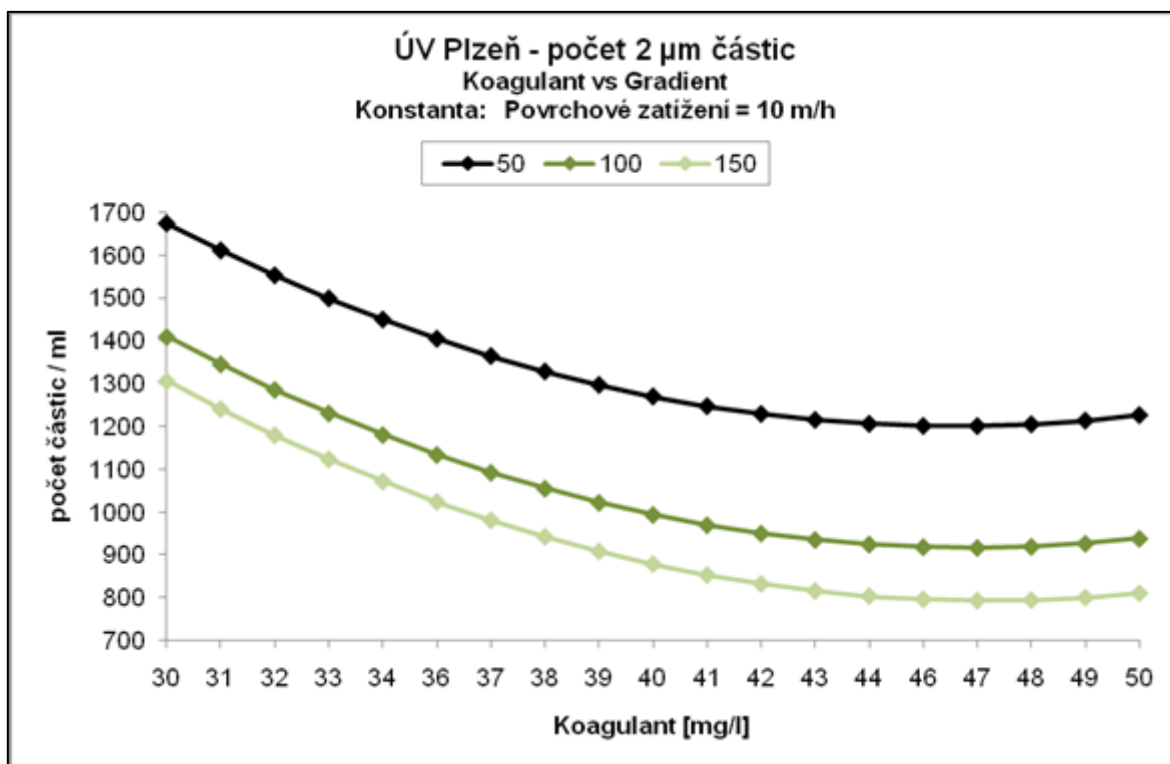
Je však nutné vzít v potaz podmínku, že na modelovém poloprovozním zařízení nelze dobře dodržet při zvyšování průtoku vody jednak konstantní teoretickou dobu zdržení v modelové flokulaci a jednak stejnou hodnotu recirkulačního poměru R [%].

To stejné však lze říci i o provozní flotační jednotce, která bude většinou navržena v omezených podmínkách daných dalšími požadavky na projekt nové technologické linky, které nebude snadné ba nemožné měnit. I z tohoto důvodu je pro projektování technologie úpravy vody nutné vycházet z poloprovozního ověření teoretických předpokladů.

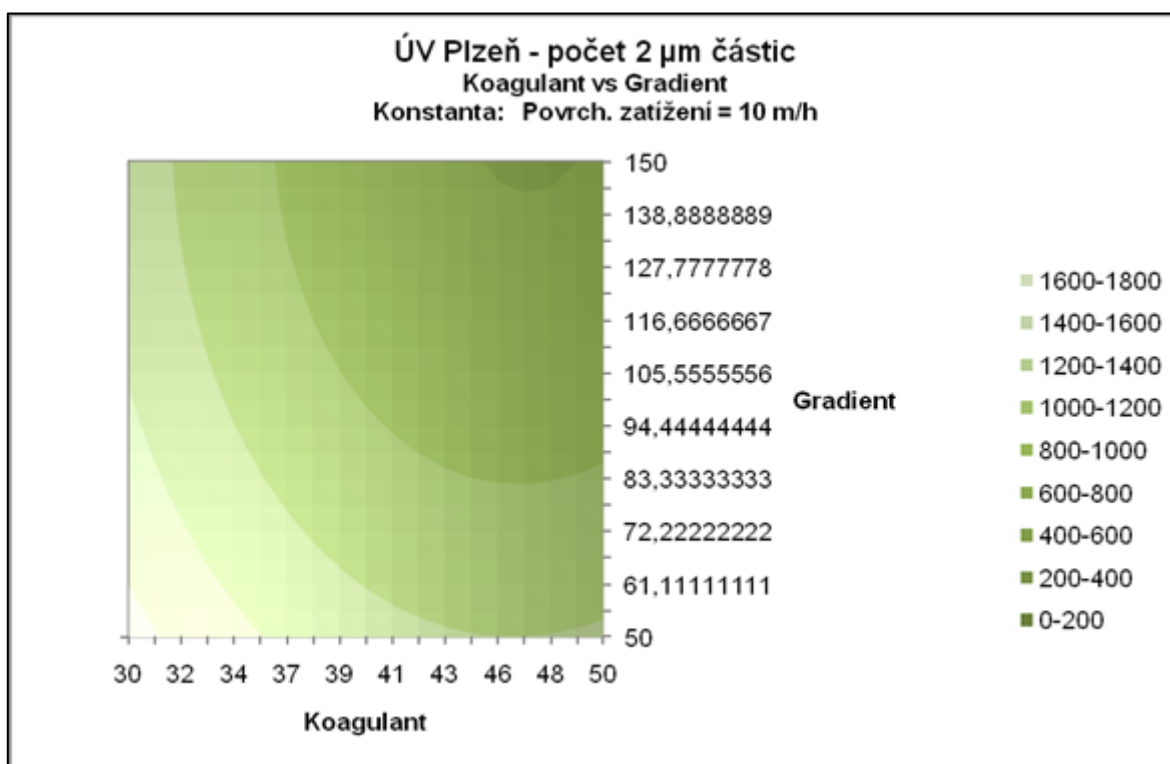
Návrhové parametry flotace rozpuštěným vzduchem navrhované pro rekonstrukci ÚV Plzeň jsou uvedeny v **tabulce 8** [59].



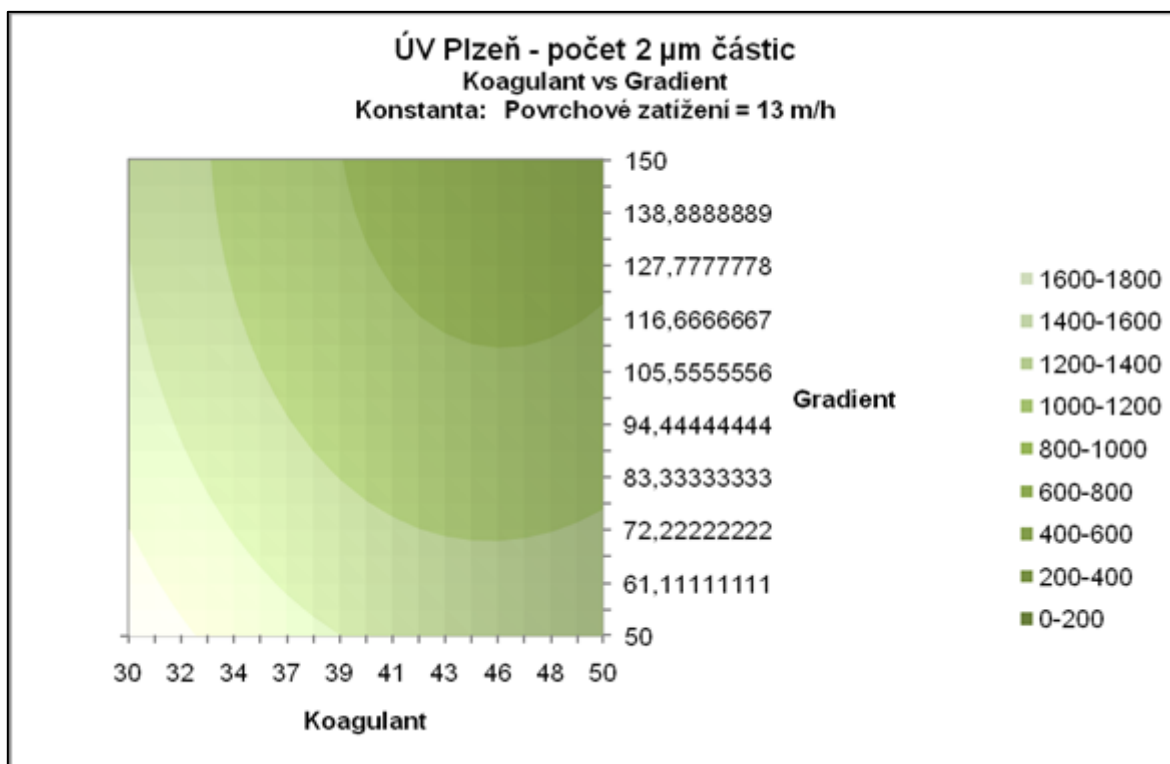
Obrázek 23. Počet 2 μm částic po flotaci (povrchové zatížení (10 m·h⁻¹)) [59]



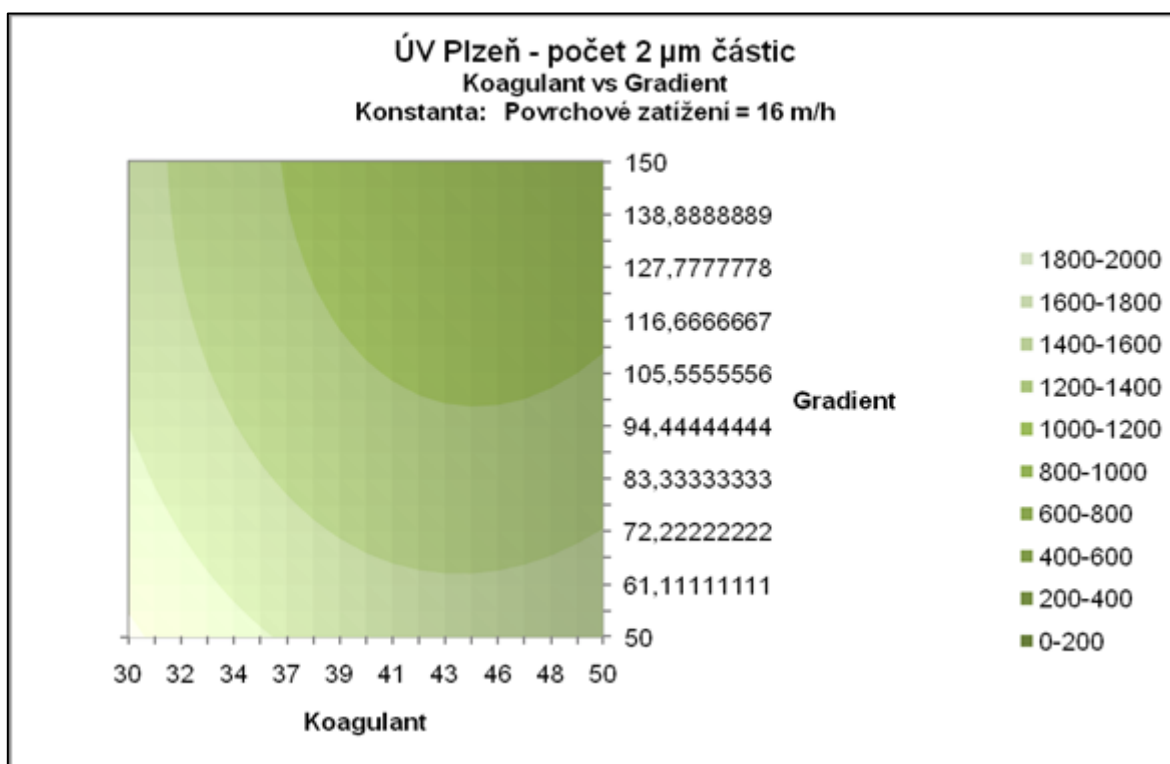
Obrázek 24. Počet 2 μm částic po flotaci (povrchové zatížení 10 m·h⁻¹) [59]



Obrázek 25. Počet 2 μm částic po flotaci (povrchové zatížení 10 m·h⁻¹) [59]



Obrázek 26. Počet 2 μm částic po flotaci (povrchové zatížení 13 m·h⁻¹) [59]



Obrázek 27. Počet 2 μm částic po flotaci (povrchové zatížení 16 m·h⁻¹) [59]

Tabulka 8. Návrhové parametry pro DAF pro ÚV Plzeň získané poloprovozním ověřením [59]

návrhový parametr	hodnota parametru
povrchové zatížení [$\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$]	10–16
minimální počet míchaných agregačních reaktorů [ks]	2
celková minimální doba zdržení ve všech agregačních reaktorech [min]	15
střední rychlostní gradient v prvním agregačním reaktoru [s^{-1}]	150–100
střední rychlostní gradient ve druhém agregačním reaktoru [s^{-1}]	50–100
recirkulační poměr [%]	10

5.4 ÚV Želivka

Práce na ÚV Želivka byly specifické tím, že zde byl proveden technologický (procesní) audit. Na základě výsledků procesního auditu byly navrženy procesy, které by za úzce definovaných podmínek měly být poloprovozně ověřeny a které by případně připadaly k úvaze při projektování budoucí rekonstrukce technologické linky.

Na této lokalitě se podařilo poloprovozně spojit dva separační stupně. A to flotaci (DAF) a filtraci různého složení vrstvy filtrační vrstvy při využití různých typů zrnitých filtračních materiálů.

Na vybraných výsledcích je ukázáno, jaký vliv na vodárenskou filtraci může mít dobře pracující flotace rozpuštěným vzduchem v prvním separačním stupni technologické linky úpravy vody.

Obrázek 28 porovnává délku filtračního cyklu pískového filtru (filtrační písek 1–1,6 mm) v případě, kdy se jedná o jednostupňovou separaci filtrací (různá teoretická doba zdržení ve flokulaci) a v případě, kdy se je v prvním separačním stupni předřazena flotace.

Vidíme, že flotace má zásadní vliv na prodlužování pracovních cyklů filtrace, čímž dochází jednak ke zvýšení separační účinnosti takto koncipované technologické linky a jednak k úsporám pracích médií a energie.

Modernizací filtrace, při využití pokročilých filtračních materiálů ve dvouvrstevném uspořádání, lze dosáhnout bezkonkurenčního prodloužení pracovního cyklu filtrů ve druhém separačním stupni (**Obrázek 29**) [8, 58, 60].

V **tabulce 9** je pro ilustraci uveden přehled velikostní distribuce částic v surové vodě a ve vodě po flotaci. Je vidět, že i při porovnání s počtem částic již přítomných v surové vodě před koagulací je

účinnost flotace velmi vysoká a pohybuje se kolem 80–90 %. Bohužel nemůžeme přímo změřit účinnost separace částic po koagulaci, protože jejich počet se oproti surové vodě natolik zvýší, že je prakticky neměřitelný použitým přístrojem.

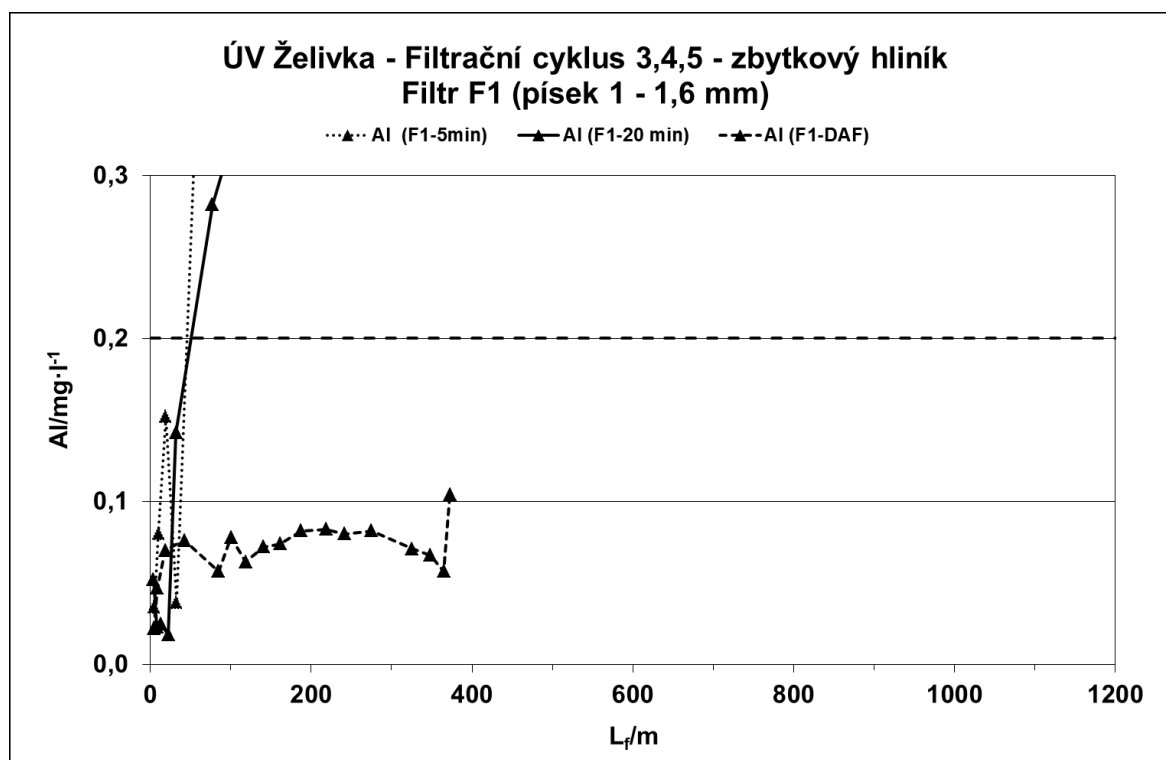
Na ÚV Želivka bylo experimentálně dosahováno zhruba 85–90% účinnosti při separaci hliníku, 80–90% účinnosti při separaci organismů a 45–50% účinnosti separace u ukazatelů $CHSK_{Mn}$, barva a A254.

Pokud by byla před filtry předřazena flotace, je možné prohlásit, že by problém s průnikem organismů do upravené vody nemohl nastat ani při výrazně zhoršené kvalitě surové vody.

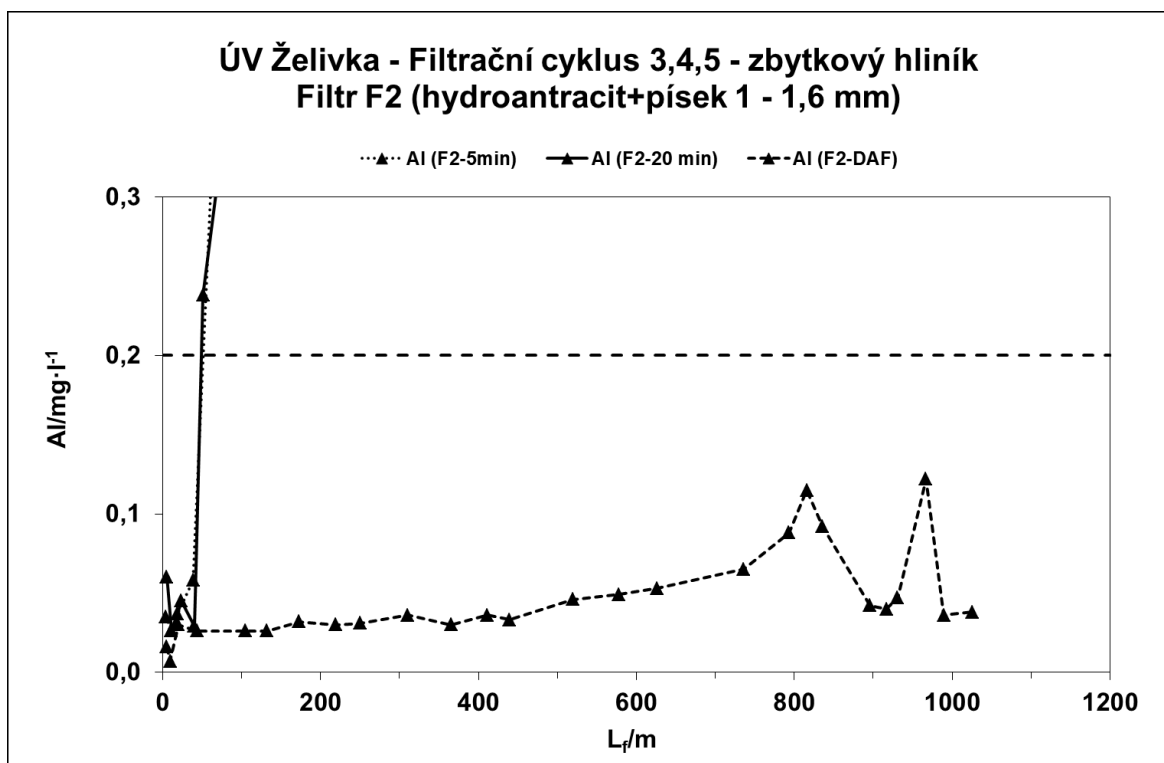
Filtrační cykly jednovrstvého filtru mohou být po flotaci zhruba 4×–5× delší než bez předřazeného prvního separačního stupně.

Dvouvrstvé filtry v kombinaci s flotací by pravděpodobně bylo třeba prát asi 12×–15× méně často oproti současnému stavu, který je bez prvního separačního stupně. Znamenalo by to tedy snížení spotřeby technologické vody přibližně na 10 % současného stavu [8, 61]

Z poloprovozního ověření flotace na ÚV Želivka byly stanoveny hodnoty návrhových parametrů pro případný projekt budoucího prvního separačního stupně (**tabulka 10**).



Obrázek 28. Vliv I. separačního stupně DAF na délku filtračního cyklu u pískového filtru [61]



Obrázek 29. Vliv I. separačního stupně DAF na délku filtračního cyklu u dvouvrstvého filtru [8, 61]

Tabulka 9. Přehled výsledků analýz velikostní distribuce částic v surové vodě a vodě po flotaci (DAF) při provozním dávkování koagulantu a kyseliny [61]

Velikost částic – surová voda								
Velikost [μm]	2	5	7	10	15	25	50	100
Min	5484	912	392	151	27	5	1	0
Max	7140	1092	489	238	102	50	8	0
Průměr	6483	1057	469	185	43	9	1	0
Velikost částic po flotaci – DAF								
Velikost [μm]	2	5	7	10	15	25	50	100
Min	821	119	39	17	5	0	0	0
Max	1570	286	109	46	12	2	0	0
Průměr	1212	222	85	31	7	1	0	0
Účinnost separace [%]	81	79	82	83	83	93	100	–

Tabulka 10. Návrhové parametry flotace pro ÚV Želivka [61]

návrhový parametr	hodnota parametru
povrchové zatížení [$\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$]	15
minimální počet míchaných agregačních reaktorů [ks]	2
celková minimální doba zdržení ve všech agregačních reaktorech [min]	10
střední rychlostní gradient v prvním agregačním reaktoru [s^{-1}]	150–100
střední rychlostní gradient v druhém agregačním reaktoru [s^{-1}]	100–50
recirkulační poměr [%]	10
dávka síranu hlinitého [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	15–35
dávka kyseliny sírové [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	0–30

5.5 Odstranění mikroorganismů z upravované vody

V této podkapitole je práce zaměřena na nejzajímavější výsledky získané na poloprovozním modelu flotace i na provozních instalacích jednotky flotace, které se týkají odstraňování mikroorganismů při úpravě pitné vody.

Separace mikroorganismů při úpravě vody je jeden z nekritičtějších ukazatelů. Účinnost flotace rozpuštěným vzduchem v tomto oboru je jedna z největších výhod tohoto vodárenského separačního procesu a jak se ukazuje, tak je velmi zásadní pro funkci dalších technologických stupňů úpravy vody a celkovou bezpečnost produkované pitné vody.

V **tabulce 11** a **12** je uveden příklad separační účinnosti flotace zjištěné na modelu při experimentech na ÚV Želivka. Byla sledována separační účinnost při různém povrchovém zatížení modelu flotace. Lze konstatovat, že separační účinnost pro jednotlivé typy mikroorganismů je velmi vysoká a lze říci, že docházelo ke snížení počtů sledovaných mikroorganismů ze stovek v surové vodě na desítky ve vodě za flotací [61].

Tabulka 11. Přehled výsledků analýz výskytu organismů v surové vodě v období jarního fytoplanktonu (stanovení provedla RNDr. Petra Porcalová, CSc. 2009)[61]

ÚV Želivka - surová voda					
Datum odběru	MO počet org. [j·ml ⁻¹]	MO buňky [j·ml ⁻¹]	MO rozsivky [j·ml ⁻¹]	MO bičíkaté řasy [j·ml ⁻¹]	Abioseston [%]
8. 4.	514	514	506	8	4
9. 4.	306	306	300	6	3
10. 4.	254	254	254		3

Tabulka 12. Přehled výsledků analýz výskytu organismů v upravené vodě po flotaci v období jarního fytoplanktonu (stanovení provedla RNDr. Petra Porcalová, CSc. 2009)[61]

ÚV Želivka – voda po DAF						
Datum odběru	Povrch. zatížení [m·h ⁻¹]	MO počet org. [j·ml ⁻¹]	MO buňky [j·ml ⁻¹]	MO rozsivky [j·ml ⁻¹]	MO bičíkaté řasy [j·ml ⁻¹]	Abioseston [%]
7. 4.	10	12	12	10		1
8. 4.	10	46	46	46		3
9. 4.	10	62	62	62		3
10. 4.	10	20	20	20		2
11. 4.	10	12	12	10	2	3
11. 4.	15	56	56	54	2	3
11. 4.	17,5	74	74	74		3

Dalším zajímavým příkladem je separace problematických pikoplanktonních sinic *Merismopedia sp.*, které jsou ve velkých počtech stanovovány na ÚV Bedřichov. V době poloprovozních experimentů to bylo 12–15 tis. j·ml⁻¹[9].

Bylo zjištěno, že i při rostoucím povrchovém zatížení docházelo k mírnému snížení účinnosti separace mikroorganismů, to ale bylo možné kompenzovat dávkováním polymerního flokulantu (Obrázek 30). Zajímavé bylo, že se významně neměnila koncentrace zbytkového hliníku a to ani vlivem zvyšující se hodnoty povrchového zatížení modelu flotace, ani vlivem dávky flokulantu (Obrázek 31) [9].

Velmi obdobná situace byla řešena i na ÚV Milence, kde je upravována voda z vodárenské nádrže Nýrsko. Kvalita surové vody je velmi vysoká, ale jediným problémem je výskyt opět pikoplanktonních sinic (velikost 1–3 μm), jejichž taxonomické zařazení není zatím známo. V **tabulce 13** je uvedeno srovnání nalezených počtů těchto sinic v surové vodě a ve vzorcích vody po modelové flotaci.

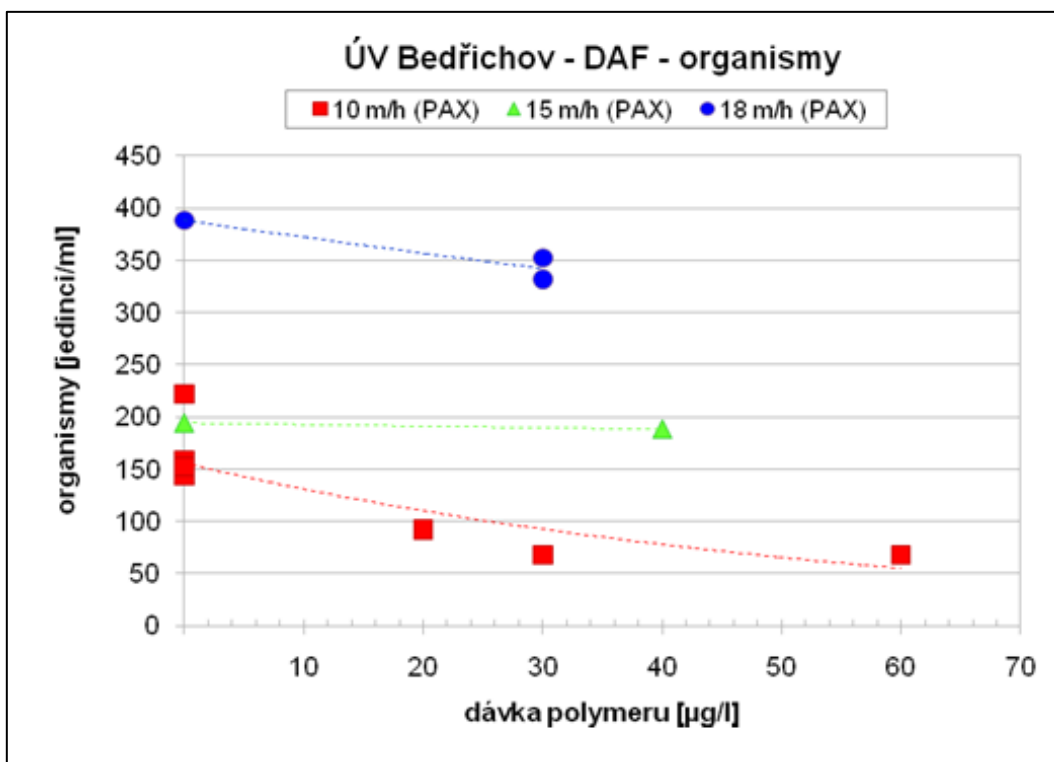
Tabulka 13. Počty sinic v surové vodě a ve vodě po modelové flotaci (ÚV Milence, 2016)[64]

Datum odběru	Surová voda [j·ml ⁻¹]	DAF [j·ml ⁻¹]	Separáčn ^í účinnost [%]
8. 9. 7:30	6560	528	92
14. 9. 16:00	15600	860	94
14. 9. 20:30	15600	580	96
15. 9. 7:30	14900	620	96
15. 9. 11:50	14900	380	97
10. 10. 18:00	3120	560	82
12. 10. 10:00	1400	213	85

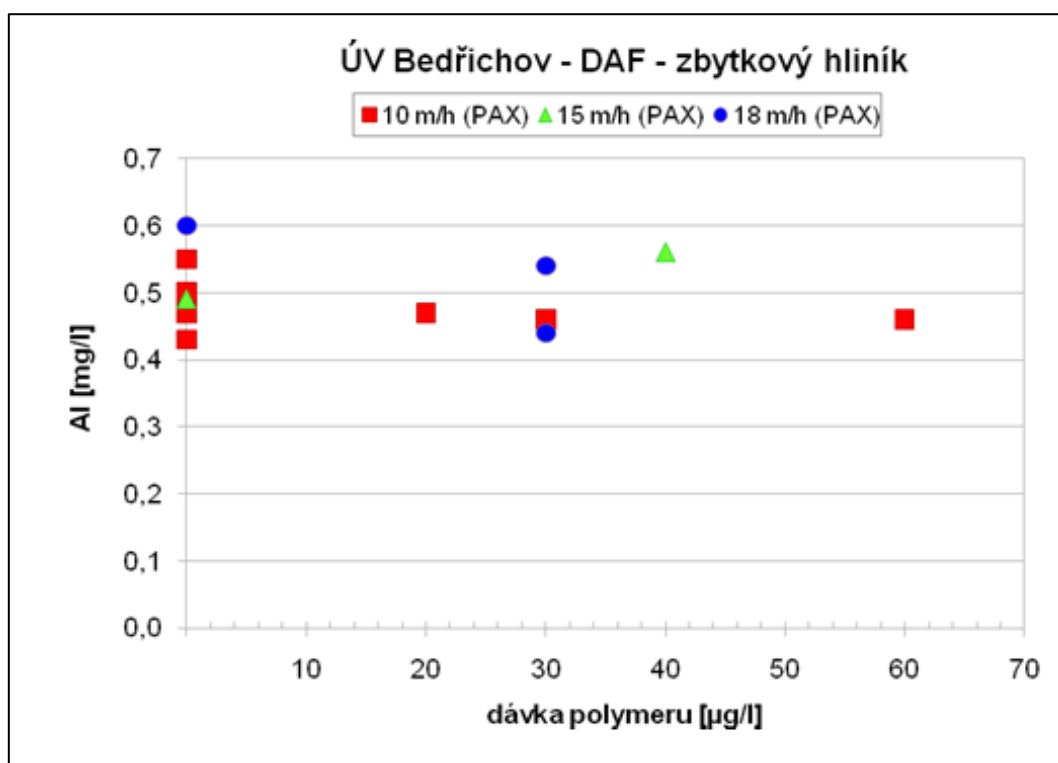
Z dosažených výsledků opět vyplývá, že zavedení flotace v prvním separáčn^ím stupni by bylo významným přínosem pro úpravu pitné vody.

Jako příklad separáčn^í účinnosti provozn^í flotace, která byla projektována na základě poloprovozních experimentů na ÚV Souš, je uvedeno na **obrázku 32**, kde je záznam celkového počtu mikroorganismů v surové vodě v porovnání s celkovým počtem organismů ve vodě za flotaci.

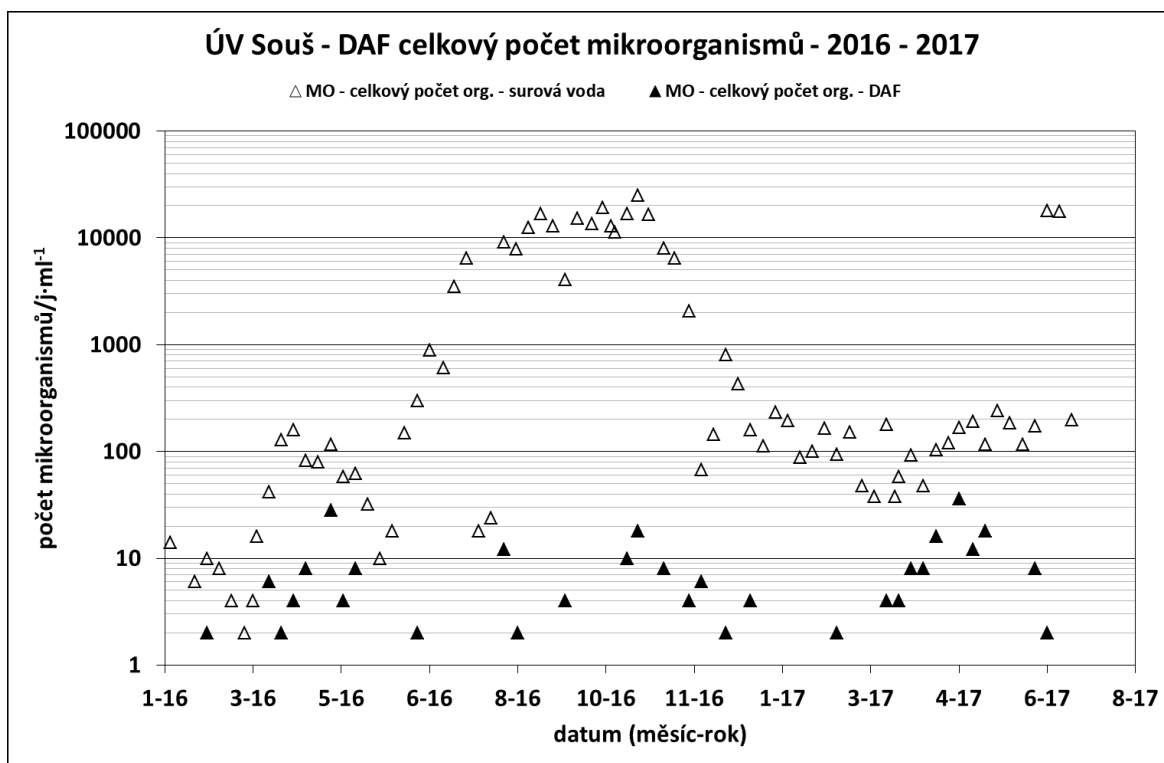
I na základě tohoto porovnání je možné si představit, jak robustním separáčn^ím procesem flotace může být. Je to opět dokladem přínosu poloprovozního ověřování vodárenských procesů v průběhu předprojektové přípravy.



Obrázek 30. Vliv dávky polymerního flokulantu a povrchového zatížení flotace na separaci mikroorganismů [62]



Obrázek 31. Vliv dávky polymeru a povrchového zatížení na zbytkový hliník po flotaci [63]



Obrázek 32. Účinnost nové flotační jednotky na ÚV Souš na odstranění mikroorganismů při úpravě vody (2016 – 2017)[data poskytla spol. SčVK a.s., Teplice] [65]

5.6 Vybrané výsledky z poloprovozních experimentů na modelové DAF a provozní DAF na ÚV Orlice (Hradec Králové)

Tato kapitola je věnována poloprovozním zkouškám na ÚV Orlice (Hradec Králové) a spojuje výsledky získané na poloprovozním modelu a následně realizované provozní flotační jednotce. Zajímavé na tomto případě je i to, že na této úpravě vody bylo jednak prováděno poloprovozní měření za významného podílu autora této práce, který byl následně nominován i na vedení procesu uvádění nové flotace do provozu a následně zodpovídal i za zkušební provoz, který za dodavatele technologie měl na starost. Čili je možné konstatovat, že pisatel těchto řádků se v tomto případě podílel na zavedení flotační technologie do provozu úpravny vody od A až do Z.

5.6.1 Poloprovozní modelové zkoušky DAF

ÚV Orlice (Hradec Králové) upravuje vodu z řeky Orlice. Do sítě je spotřebitelům dodávána směs upravené vody z povrchového zdroje a částečně z podzemního zdroje.

V aktuální podobě je technologická linka úpravny koncipována jako třístupňová. V prvním separačním stupni je flotace rozpuštěným vzduchem. Druhý separační stupeň je filtrace přes vrstvu zrnitého materiálu. V tomto případě se jedná o filtrační materiál Filtralite Mono-Multi. Jako poslední je stupeň sorpce na granulované aktivní uhlí s předřazenou ozonizací.

V roce 2010 byly provedeny poloprovozní zkoušky na modelu flotace. Důvodem byla příprava celkové rekonstrukce původní technologické linky. Flotace rozpuštěným vzduchem měla nahradit původní čířiče. Investor si vyžádal provedení modelového ověření procesu flotace, aby mohla být ověřena dosažitelná separační účinnost.

Pro správné určení návrhových parametrů bylo nezbytné posoudit vliv kvality surové vody v zimním i letním období. Vzhledem k tomu, že zdrojem pitné vody je řeka Orlice, tak je kvalita surové vody v průběhu roku velmi proměnná. V **tabulce 14** je uveden přehled kvality surové vody v průběhu poloprovozního měření.

Tabulka 14. Kvalita surové vody v období poloprovozních experimentů [66].

Ukazatel	Zima 2010	Léto 2010
CHSK _{Mn} [mg·l ⁻¹]	3,0–8,9	2,9–5,0
pH	7,3–7,6	7,05–7,89
KNK _{4,5} [mmol·l ⁻¹]	1,1–1,7	2,1–2,6
Teplota [°C]	1,9–7,0	13–23
Zákal [NTU]	13–35	14,4–21,1
Barva [mg·l ⁻¹ Pt]	15–60	20–32
Počet MO [j·ml ⁻¹]	160–480	40–1400

Poloprovozní zkoušky byly zaměřeny na vliv použití různých typů koagulantů na separační účinnost flotace. Dále byly sledovány fyzikální faktory jako je vhodné povrchové zatížení flotace (10–25 m·h⁻¹), doba zdržení ve flokulačních reaktorech nebo nastavení středního rychlostního gradientu u mechanických míchadel ve flokulaci.

V projektu rekonstrukce úpravní vody v Hradci Králové bylo počítáno i s aplikací předřazené ozonizace před flotací rozpuštěným vzduchem, stejně jako tomu bylo v původní koncepci technologické linky, kdy byla upravovaná voda před čířiči ozonizována. Proto byla poloprovozně ověřena jak míra vlivu předozonizace, tak alternativní oxidace manganistanem draselným na separační účinnost flotace a to především u ukazatele počtu organismů a možného vlivu na proces destabilizace organických látek.

Ke komplexnímu vyhodnocení separační účinnosti flotace rozpuštěným vzduchem byl ještě testován vliv použití polymerního flokulantu a také zhodnocení vlivu ozonizace na organické látky sledováním koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) po předozonizaci a podél celé technologické linky [66].

Velice zajímavých výsledků bylo dosaženo při ověřování vlivu předozonizace na separační účinnost flotace při koagulaci síranem železitým a síranem hlinitým.

Bylo pozorováno, že ozonizací byly pravděpodobně zasaženy organické látky, které vykazují absorpci v UV oblasti světelného spektra, čili došlo k ovlivnění ukazatelů A254 a barva.

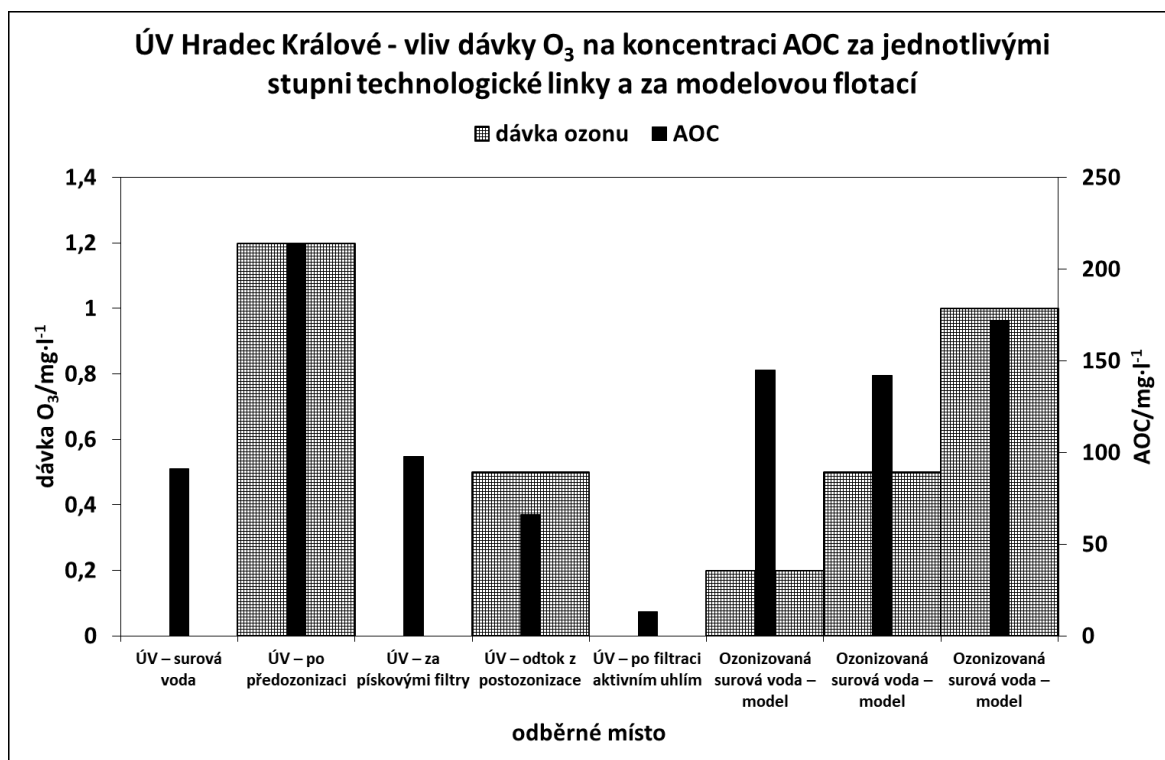
Z hlediska zákalu a zbytkové koncentrace koagulantu nedošlo ke změně a bylo spíše pozorováno zhoršení separační účinnosti flotace. Z toho bylo možné usuzovat, že flotace na ÚV Orlice lze s vysokou účinností provozovat **bez předozonizace**.

Při ověřování vzniku asimilovatelného organického uhlíku (**assimilable organic carbon** – AOC) vlivem ozonizace byly potvrzeny hypotézy z podobných publikací [67–69] o nárůstu jeho koncentrace (**Obrázek 33**). I z těchto výsledků lze konstatovat, že předozonizace před flotací na ÚV Orlice by měla negativní účinek a zbytečně by se zatěžoval druhý separační stupeň a hlavně i stupeň sorpce na GAU.

Výsledkem byl také návrh provozních parametrů budoucí provozní flotace (**tabulka 15**).

Tabulka 15. Návrhové parametry pro projekt flotace na ÚV Orlice (Hradec Králové)

Návrhový parametr	hodnota parametru
povrchové zatížení [$\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$]	10–16
minimální počet míchaných agregačních reaktorů [ks]	2
celková minimální doba zdržení ve všech agregačních reaktorech [min]	15
střední rychlostní gradient v prvním agregačním reaktoru [s^{-1}]	50–175
střední rychlostní gradient ve druhém agregačním reaktoru [s^{-1}]	50–175
recirkulační poměr [%]	10



Obrázek 33. *Koncentrace AOC ve vzorcích vody z technologické linky ÚV Hradec Králové a vzorků surové vody po předozonizaci surové vody různými dávkami ozónu (dávkou O₃ v provozní předozonizaci a post ozonizaci jsou odhad)*

5.6.2 Zkušební provoz nově vybudované DAF na ÚV Orlice Hradec Králové

Práce na rekonstrukci ÚV Orlice byly zahájeny v srpnu 2012 a ukončené v listopadu 2014. V rámci rekonstrukce byla provedena výměna nevyhovujících galeriových čističů za flotační jednotku firmy Xylem Leopold (dodala firma ENVI-PUR s.r.o.).

Investor požadoval po dodavateli flotace garance, že zařízení bude plnit separační účinnost, které slibovalo poloprovozní testování flotace rozpuštěným vzduchem (DAF) z roku 2010 [70, 71]. Na základě toho byla vytvořena procedura garančních zkoušek (GZ) spočívající v provozu jednotky v zimním období po dobu 2 týdnů a v letním období po dobu 4 týdnů. V **tabulce 16** jsou uvedeny hodnoty pro garantovanou účinnost flotace u vybraných ukazatelů kvality vody po flotaci na ÚV Orlice Hradec Králové.

Tabulka 16. ÚV Orlice Hradec Králové – garantovaná separační účinnost DAF [12, 13]

Garantovaná separační účinnost	
Ukazatel	účinnost [%]
zákal* [NTU]	80
CHSK _{Mn} [mg·l ⁻¹]	60
zbytkový koagulant (Al, Fe) [mg·l ⁻¹]	90/85**
celkový počet organismů [j·ml ⁻¹]	95/90**

*Separační účinnost 80% platí pouze při okalovém stavu, **Platí v zimním období

Surová voda v řece Orlici měla po dobu testu teplotu v rozmezí 3–6 °C a byla poměrně čistá. Nicméně v závěru garančního testu byl po větších srážkách v Orlických horách zaznamenán začínající okalový stav. Docházelo ke zhoršování kvality surové vody (zejména v ukazateli zákal), která si vyžádala větší dávky koagulantu. Vývoj kvality surové vody je v **tabulce 17**.

Tabulka 17. Kvalita surové vody v řece Orlici během zimního GZ provozní flotace na ÚV Orlice (Hradec Králové) [12, 13, 19]

Datum	Teplota [°C]	CHSK _{Mn} [mg·l ⁻¹]	Zákal [NTU]	pH [-]	MO _{celk.} [j·ml ⁻¹]
14. 1.	3,1	4,45	1,33	7,5	880
15. 1.	3,0	3,42	2,68	7,6	260
16. 1.	3,5	3,41	1,98	6,4	935
20. 1.	5,5	5,99	2,81	7,2	915
21. 1.	6,0	4,51	2,80	7,6	1001
22. 1.	5,3	9,34	2,89	7,5	1163

Provedené garanční zkoušky potvrdily požadovanou separační účinnost flotace v zimním období. Hodnoty účinnosti u sledovaných ukazatelů jsou uvedeny v **tabulce 18**.

Kvalita surové vody v průběhu letního garančního testu provozní flotace na ÚV Orlice (**tabulka 19**) ukazuje, jak je tento zdroj pitné vody proměnný ve své kvalitě. Jedná se především o ukazatel počet mikroorganismů (MO).

Jak ukazují výsledky v **tabulce 20**, dopadly garanční zkoušky v letním období opět na výbornou a byla potvrzena správnost volby flotace rozpuštěným vzduchem pro první separační stupeň technologické linky ÚV Orlice Hradec Králové. To potvrzují i další publikace, které v následujících letech po spuštění nové úpravný referovaly o provozu DAF na ÚV Orlice Hradec Králové [72, 73].

Tabulka 18. Výsledné separační účinnosti během zimního GZ ÚV Orlice [12, 13, 19]

Datum	Místo odběru	D _{Al} [μmol·l ⁻¹]	Separační účinnost [%]			
			zákal	CHSK _{Mn}	Al	MO počet
14. 1.	DAF 1	200	56	62	92,8	95,5
14. 1.	DAF 2		45	62	91,1	90,5
15. 1.	DAF 1	195	66	67	85,0	97,7
15. 1.	DAF 2		56	77	85,0	97,7
16. 1.	DAF 1	185	79	75	89,1	95,7
16. 1.	DAF 2		75	73	88,3	94,4
20. 1.	DAF 1	150	75	73	88,2	94,8
20. 1.	DAF 2		79	68	87,6	93,2
21. 1.	DAF 1	220	67	68	88,1	93,6
21. 1.	DAF 2		73	61	86,8	93,4
22. 1.	DAF 1	230	82	74	90,2	96,0
22. 1.	DAF 2		83	68	89,5	94,5

Tabulka 19. Kvalita surové vody v řece Orlici během letních GZ (květen – červen 2014) [12, 13, 19]

Datum	Teplota [°C]	CHSK _{Mn} [mg·l ⁻¹]	Zákal [NTU]	pH [-]	Celkový počet MO [j/ml]
12. 5.	14,4	3,38	6,06	7,10	26124
15. 5.	13,0	4,06	8,24	6,90	31104
16. 5.	12,3	3,95	11,8	7,30	12132
19. 5.	10,5	6,43	20,2	6,50	5124
21. 5.	13,7	5,82	14,7	6,50	5958
23. 5.	16,8	5,64	11,7	6,80	6210
27. 5.	17,5	5,20	22,4	6,97	2544
3. 6.	13,2	5,72	38,4	6,60	3594
4. 6.	13,5	4,33	34,6	6,60	3204
6. 6.	14,4	4,22	16,0	-	3822
9. 6.	18,0	4,92	24,1	6,80	5424

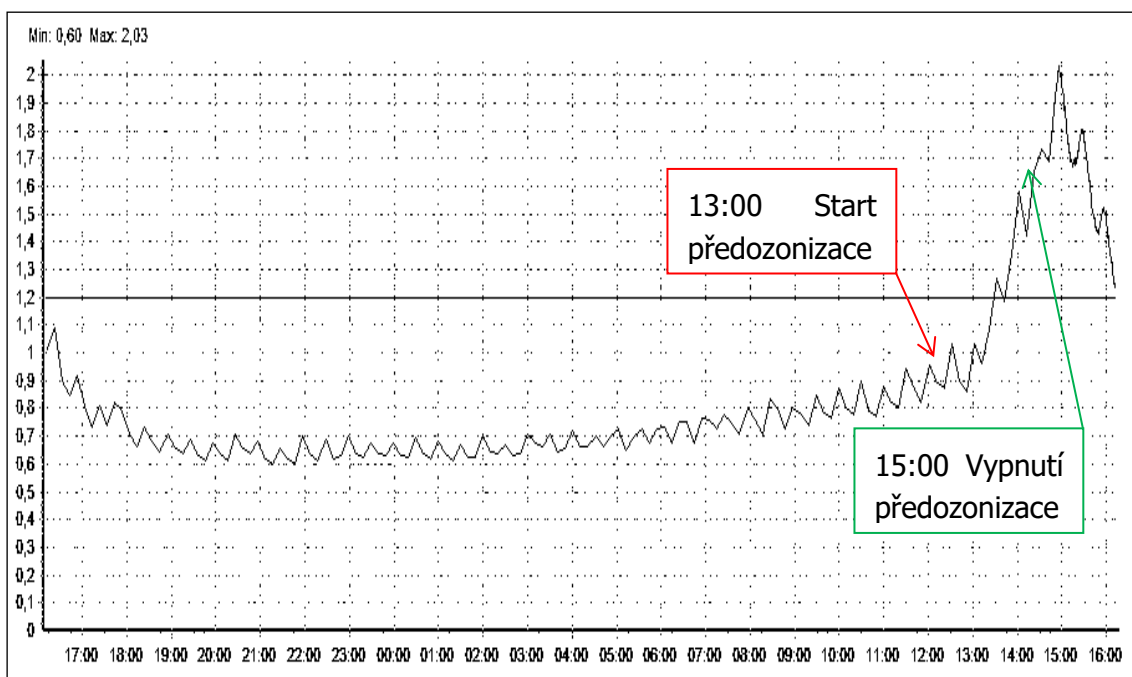
Tabulka 20. Separační účinnost DAF na ÚV Orlice během letního GZ (květen - červen 2014) [12, 13, 19]

Datum	D _{Al} [μmol/l]	Separační účinnost flotační jednotky[%]			
		CHSK _{Mn}	hliník	zákal	MO počet
12. 5.	200	66	93	86	97
15. 5.	200	72	95	91	98
16. 5.	200	74	94	92	95
19. 5.	260	87	94	92	98
21. 5.	260	76	94	91	99
23. 5.	260	82	91	89	98
27. 5.	240	78	95	94	96
3. 6.	260	76	90	80	94
4. 6.	280	72	93	84	96
6. 6.	300	62	93	77	95
9. 6.	280	79	93	88	96

V průběhu zkušební provozu byla provozně otestována hypotéza, která vzešla z poloprovozních experimentů, kdy bylo pozorováno zhoršení separační účinnosti flotace při spuštění předozonizace. Po dobu asi dvou hodin se dávkovalo $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ozonu do surové vody a krátkodobě byl výkon dokonce dvojnásobný – $2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ozonu do surové vody.

Na **obrázku 34** je graf záznamu hodnot zákalu za provozní flotační jednotkou, kde vidíme, že po zapnutí předozonizace (ve 13:00 – červeně) začaly hodnoty zákalu narůstat. Po odstavení předozonizace (v 15:00 – zeleně) se separační účinnost flotace vrátila k původním hodnotám dobré separační účinnosti.

Z tohoto příkladu aplikace separačního stupně flotace rozpuštěným vzduchem je zřejmé, jakým přínosem je poloprovozní ověření projektovaných procesů pro úpravu vody.



Obrázek 34. Průběh online měření zákalu za flotační linkou – vliv spuštění předozonizace [12]

6 DISKUSE

Z uvedených výsledků a přehledů provozních aplikací flotace, které bylo možné provést na základě poloprovozních studií lze udělat závěr, že se jedná o velmi účinnou a robustní vodárenskou separační technologii.

Práce s poloprovozním modelem flotace ve spojení například s filtrací přinesla velmi mnoho praktických zkušeností, které bylo možné využít pro definování návrhových parametrů jako podkladů pro projekt či při spouštění provozních jednotek, provádění požadovaného zkušebního provozu a při řešení provozních problémů spojených nejen s tímto separačním procesem.

V této kapitole jsou přiblíženy a shrnuty některé provozní problémy, které se vyskytly v provozu flotace na úpravnách vody. Tomuto tématu byl věnován i příspěvek na konferenci Pitná voda 2018 v Táboře [74] a zde jsou v upravené podobě uvedeny postřehy z praxe týkající se, většinou náhlého a zdánlivě nevysvětlitelného, zhoršení separační účinnosti DAF. Popis nefunkčnosti flotace se v praxi, až na výjimky, většinou pohybuje téměř na hranici mýtů.

Jedním z nich je stížnost na ucpané trysky. Nelze si představit, jak by k tomu mohlo za běžného provozu dojít. Flotace je navrhována tak, aby na rozhraní trysek panoval rozdíl tlaku 400-600 kPa a je zde také definován průtok, který se odvíjí od výkonu recirkulačních čerpadel. Pokud je tlak a průtok stabilní, tak nelze tvrdit, že jsou trysky ucpané. Běžně separovanou vodárenskou suspenzí není možné trysky ucpat a zatím to nebylo nikde prokázáno.

Kritický stav může nastat jen v případě, že se na stranu recyklu dostane pevná překážka v podobě velkého pevného předmětu (kovová špona, větší úlomek plastu z náplňového materiálu saturátoru apod.), ale to se již jedná o hrubou závadu, která by neměla za běžného provozu nastat. Navíc by se to hned poznalo, protože by došlo k poklesu průtoku recyklem či zvýšenému tlaku a zvýšenému výkonu recirkulačního čerpadla.

Další ze stížností může být, že je zanesený saturátor. Saturátorem je tlaková nádoba, jejíž vnitřní objem je z větší části naplněn speciálně tvarovaným materiálem pro vyšší účinnost přestupu vzduchu do vody. S největší pravděpodobností nemůže dojít k ucpání saturátoru ani ovlivnění přestupu plynu do vody nárůstem vrstvy kalu na povrchu náplňového materiálu. Takový jev nebyl dosud nikde publikován. Vlivem výpadku může dojít k zanesení kalu do saturátoru (kal klesne z hladiny na dno a je nasát do recyklu), ale na funkci flotace to nemá dokumentovaný vliv. Kromě případu, kdy dojde k závadě na systému regulace výkonu recirkulačních čerpadel vlivem nečistot ovlivňující činnost hladinové sondy, která reguluje množství vody v saturátoru. V tomto případě se jedná spíše o konstrukční závadu, kterou lze odstranit kontrolou a vyčištěním sondy.

Velmi podivným typem stížnosti je svádění nízké účinnosti flotace na divné nebo špatné bublinky. Tento argument byl vždy založen na vizuálním pozorování a nebyl nikdy podložen skutečnými čísly s vypovídací hodnotou. Jediná situace kdy může dojít k poklesu počtu bublinek je v případě nadměrného hydraulického přetížení flotace nad návrhovou hodnotu průtoku, kdy dojde jednak k rozředění bílé vody a jednak je v pevně dané flotační nádrži překročena kritická hodnota sestupné rychlosti, která je vyšší než vzestupná rychlost agregátů bublinka-částice.

S problémem zmíněným v předchozím odstavci souvisí i mylný dojem, že hydraulicky přetížená flotace by měla mít stejnou separační účinnost jako provozovaná při nominálním návrhovém průtoku. Při přetěžování je třeba počítat s klesající separační účinností. To lze řešit ve fázi návrhu flotace např. tak, že bude provozováno více flotačních jednotek, čímž se zvýší variabilita provozu v závislosti na potřebném výkonu technologické linky či výkyvech v kvalitě surové vody.

S bublinkami souvisí i problematika údajné kolmatace filtrů a rychlejší nárůst tlakové ztráty ve vrstvě filtračního materiálu, aniž by to bylo opodstatněné zvýšeným látkovým zatížením druhého separačního stupně. Zvýšení tlakové ztráty ve vrstvě filtračního materiálu a tím i zkrácení filtračních cyklů vlivem záchyty či generování bublinek vzduchu rozpuštěného ve vodě přitékající z flotace nebyl dosud prokázán. Pokud by docházelo k tomuto jevu ve druhém separačním stupni ve filtrační vrstvě zrnitého materiálu, tak lze na 99 % tvrdit, že to bude pravděpodobně způsobeno nevhodným provozem vodárenské filtrace či špatně zvoleným typem filtračního materiálu.

6.1 Jak lze významně ovlivnit správnou funkci flotace rozpuštěným vzduchem při úpravě vody a dosáhnout co nejvyšší separační účinnosti?

Prvním bodem, který může ovlivnit proces flotace je návrh na základě kvality surové vody a poloprovozního vyhodnocení možnosti aplikace flotace rozpuštěným vzduchem a důkladného zvážení výkonových požadavků na budoucí technologickou linku úpravy vody.

Pokud je proces flotace na základě poloprovozních experimentů zvolen jako vhodná separační technologie a je následně zrealizován, pak je vždy zásadním krokem jejího provozu nezbytnost připravit optimální suspenzi pro separaci flotací.

Příprava takové suspenze se odvíjí především od aktuálních podmínek a kvality surové vody, která může být samozřejmě někdy odlišná od kvality surové vody v průběhu poloprovozních testů. Je to dáno hlavně přírodními podmínkami a na nich závislou změnou kvality surové vody. Vliv může mít také to, že poloprovozní experimenty se prováděly třeba několik let před samotnou realizací je potřeba se ve zkušebním provozu novým podmínkám přizpůsobit úpravou chemicko-technologické strategie vhodné předúpravy vody pro tento separační proces.

V tomto technologickém stupni máme nejvíce možností, jak pozitivně ovlivnit separační účinnost flotace, protože máme k dispozici stupně volnosti v podobě typu koagulantu, optimální dávky koagulantu, optimalizace hodnot koagulačního pH, možnost použití polymerního flokulantu atp.

Z hlediska samotné provozní flotační jednotky jsme naopak omezeni jejími pevně danými návrhovými parametry. Povrchové zatížení provozní flotační jednotky bude závislé na aktuálně potřebném výkonu technologické linky. Z toho plyne i to, že pokud bude u jednotky s nominálním průtokem požadováno významné hydraulické přetížení, tak lze očekávat i nižší separační účinnost.

Podobně to platí i pro dobu zdržení ve flokulaci. U dobře navržené flotační jednotky, jejíž součástí je i správně navržená flokulační nádrž, je možné tvorbu suspenze doladit i manipulací se středním rychlostním gradientem míchání pomocí změny intenzity míchání.

Počet bublinek v separační zóně lze ovlivnit jednak manipulací s průtokem či s povrchovým zatížením flotace a omezeně i změnou tlaku v saturátoru. Při běžných podmínkách lze změnou tlaku i měnit velikost bublinek. V praxi to však nemá významný vliv na výslednou separační účinnost flotace. Většího efektu lze v provozu dosáhnout změnou recirkulačního poměru flotační jednotky. To znamená například snížením povrchového zatížení flotační jednotky při zachování průtoku vody recirkulací.

7 ZÁVĚRY

1. V uplynulé dekádě byl proces flotace úspěšně zařazen do procesů využívaných na úpravách vody v České republice.
2. V dnešní době je o flotaci rozpuštěným vzduchem u nás uvažováno jako o standardním separačním procesu.
3. Většina projektů, ve kterých se uvažovalo o flotaci rozpuštěným vzduchem, vycházela z dat získaných na poloprovozním modelu flotace. Na základě poloprovozních experimentů byla flotace úspěšně prosazena do několika významných projektů rekonstrukce úpraven vody po celém území České republiky.
4. Při návrhu flotace je potřeba vycházet z důkladné znalosti kvality surové vody, která se liší na každé lokalitě.
5. Zásadním bodem technologické linky při úpravě povrchové vody je dobré zvládnutí optimalizace chemismu koagulace. Na tom stojí a padá při úpravě vody separační účinnost nejen flotace rozpuštěným vzduchem.
6. Flotace má u nás velmi dobrý potenciál využití pro úpravu povrchových vod. Vedle výborné separační účinnosti přináší také významné ekonomické výhody, které nejsou pro další roky či desetiletí budoucího provozu zanedbatelné. Flotace také poskytuje prakticky bezkonkurenční separační účinnost při odstranění řas, sinic a dalších vodních mikroorganismů, včetně patogenních prvoků.
7. Flotace rozpuštěným vzduchem je velmi vhodný první separační stupeň pro filtraci přes vrstvu zrnitého materiálu či membránovou filtraci.
8. V průběhu let a práce s flotací byly získány další poznatky o nových koagulačních činidlech, které rozšiřují možnosti úpravy vody.
9. V průběhu posledních několika let se podařilo ověřit vynikající separační účinnost flotace ve spojení s moderně konstruovanou filtrací přes vrstvu zrnitého materiálu.
10. Nebyl prokázán pozitivní vliv předozonizace na separační účinnost flotace rozpuštěným vzduchem. DAF dobře pracuje při dobře optimalizovaném chemismu přípravy suspenze a dokonce i bez dalších pomocných chemikálií (např. polymerní pomocný flokulant).
11. Standardní flotace je vždy navržena tak, aby byl v kontaktní zóně dostatek „správných“ bublinek pro účinnou separaci dobře připravené suspenze. Ve standardně navržené provozní flotaci nemáme dostatek stupňů volnosti pro „manipulaci“ s bublinkami. Na

druhou stranu máme plnou paletu možností, jak ovlivnit proces přípravy optimální suspenze.

12. Důraz by měl být kladen na podrobné studium trendů v kvalitě surové vody, protože od ní se odvíjí volba vhodné chemicko-technologické strategie, která může v průběhu času doznat změn podle vývoje kvality upravované vody.

8 LITERATURA

- [1] Dolejš P., Dobiáš P., Mazel L.: Provozní výsledky první vodárenské flotace v ČR realizované na ÚV Mostišť. Sborník konference Vodárenská biologie 2006, s. 92–97. Praha 31. 1. - 2. 2. 2006. VŠCHT Praha a Ekomonitor, s.r.o. Chrudim, Praha 2006.
- [2] Dolejš P.: Flotace rozpuštěným vzduchem (DAF) pro úpravu pitné vody a její první provozní realizace v ČR. Vodní hospodářství 56, č. 4, s. 99–102 (2006).
- [3] Mazel L., Fuchs K.: První zkušenosti z provozu flotace rozpuštěným vzduchem na úpravně vody Mostišť. Sborník konference PITNÁ VODA 2006, s. 129-134, Tábor 5. 6. – 8. 6. 2006. W&ET Team České Budějovice, 2006.
- [4] Fuchs K., Mazel L.: Výstavba a první zkušenosti z provozu flotace rozpuštěným vzduchem na úpravně vody Mostišť. Sborník konference Pitná voda, s. 181–188. Trenčianské Teplice 2006. SNK IWA, Bratislava 2006.
- [5] Dolejš P.: Návrhové parametry a separační účinnost flotace – ověření v provozu první vodárenské flotace v ČR na ÚV Mostišť. Sborník konference Voda Zlín 2006, s. 131–136. Zlínská vodárenská, a.s., Zlín 2006.
- [6] P. Dolejš, P. Dobias: Results of six years operation of the first DAF in Central and Eastern Europe (WTP Mostiste – Czech Republic. In: Proceedings of The 6th International Conference on Flotation, Flotation 2012, Flotation in Water and Wastewater Systems, October 29th, 2012 – November 01, 2012, New York, USA.
- [7] Dolejš P., Dobiáš P.: Poloprovozní experimenty s flotací (DAF) při vysokém povrchovém zatížení. Sborník XIII. mezinárodní konference Voda Zlín 2009, s. 119–124. Moravská vodárenská a.s., Zlín 2009, ISBN 978-80-254-3935-7.
- [8] Dolejš P., Štrausová K., Dobiáš P.: Modelové porovnání separační účinnosti flotace na různých lokalitách. Sborník konference s mezinárodní účastí Pitná voda, s. 175–182. Hydrotechnológia Bratislava s.r.o, Bratislava 2010.
- [9] Dolejš P., Dobiáš P., Štrausová K.: Předprojektová příprava rekonstrukce ÚV Bedřichov – průzkum separační účinnosti flotace a filtrace. Sborník konference Pitná Voda 2012, Tábor 2012, s. 65–70, ISBN 978-80-905238-0-7.
- [10] Dolejš P., Dobiáš P., Jelínková K.: ÚV Hradec Králové - poloprovozní experimenty s flotací rozpuštěným vzduchem Zborník prednášok z XV. konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, Trenčianské Teplice 2013, ISBN 978-80-971272-1-3.
- [11] Dolejš P., Dobiáš P., Jelínková K.: Předprojektová příprava rekonstrukce prvního separačního stupně na ÚV H. Králové. Sborník konference Pitná Voda 2014, Tábor 2014, s. 243–249, ISBN 978-80-905238-1-4.
- [12] Král P., Dobiáš P.: Garanční zkoušky flotační jednotky na ÚV Hradec Králové: Sborník konference Pitná Voda 2014, Tábor 2014, s. 249–255, ISBN 978-80-905238-1-4.
- [13] Dobiáš P., Král P.: Výsledky zkušebního provozu nové flotace na ÚV Hradec Králové. Sborník odborných prac z konferencie Nové trendy v oblasti úpravy pitnej vody 2014, s. 143–153, Štrbské Pleso, Slovensko 2014, ISBN: 978-80-971272-2-0.
- [14] Drda M., Dobiáš P., Dolejš P., Honzík R.: Předprojektová příprava pro výstavbu nové úpravny vody v Písku. Zborník prednášok z XVI. Konferencie s medzinárodnou účasťou

- PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2015, s. 41–49, Trenčianské Teplice 2015, ISBN: 978-80-971272-3-7.
- [15] Drda M., Dolejš P. Dobiáš P.: Úpravna vody Souš – Flotace (DAF) – příprav investiční akce a její průběh. Zborník prednášok z XVI. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2015, s. 133–141, Trenčianské Teplice 2015, ISBN: 978-80-971272-3-7.
- [16] Dobiáš P., Dolejš P.: ÚV Písek – předprojektová příprava. Sborník konference Pitná Voda 2016, Tábor 2016, s. 223–229, ISBN 978-80-905238-2-1.
- [17] Dobiáš P., Drda M.: ÚV Monako – předprojektová příprava a realizace rekonstrukce. Sborník konference Pitná Voda 2016, Tábor 2016, s. 307–313, ISBN 978-80-905238-2-1.
- [18] Dobiáš P., Dolejš P.: Předprojektová příprava rekonstrukce ÚV Milence (flotace). Zborník prednášok z XVII. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2017, Trenčianské Teplice 2017, ISBN 978–80–971272–5–1.
- [19] Král P., Navrátil P., Dobiáš P.: První poznatky ze zkušebního provozu rekonstruované ÚV Hradec Králové, SOVAK, 11 (5–8) 2014.
- [20] Drda M. et al.: Provozní výsledky po doplnění flotace na ÚV Souš. Zborník prednášok z XVII. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2017, Trenčianské Teplice 2017, ISBN 978–80–971272–5–1.
- [21] Crossley I. A., Edzwald J. K.: Developments in dissolved air flotation, 2008.
- [22] Edzwald, J. K. Developments of high rate dissolved air flotation for drinking water treatment. *Journal of Water Supply: Research and Technology–AQUA* 56, 399 (2007).
- [23] AWWA and James K. Edzwald, editor. *Water quality*. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2010. ISBN 978-007-1630-108.
- [24] Edzwald, J. K. and Haarhoff J., *Dissolved air flotation for water clarification*. New York: McGraw Hill, 2012. ISBN 978-0-07-174562-8.
- [25] Crittenden, John C. *Water treatment principles and design*. 2nd ed. Hoboken, N. J.: J. Wiley, c2005. ISBN 04-711-1018-3.
- [26] J. K. Edzwald, “Dissolved air flotation and me,” *Water Res.*, vol. 44, no. 7, pp. 2077–2106, 2010.
- [27] M. Lundh, L. Johnsson, and J. Dahlquist, “Experimental studies of the fluid dynamics in the separation zone in dissolved air flotation,” *Water Res.*, vol. 34, no. 1, pp. 21–30, 2000.
- [28] Eades, A.: Dissolved air flotation (DAF): Design, application and world perspective. In: Sborník konference PITNÁ VODA 2006: 8. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží. České Budějovice: W&ET Team České Budějovice, 2006, s. 121-124. ISBN 80-239-7113-1.
- [29] M. Lundh, L. Johnsson, and J. Dahlquist, “The influence of contact zone configuration on the flow structure in a dissolved air flotation pilot plant,” *Water Res.*, vol. 36, no. 6, pp. 1585–1595, 2002.
- [30] Gregory et al. (1999) In: Crittenden, John C. *Water treatment principles and design*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: J. Wiley, c2005. ISBN 04-711-1018-3.

- [31] Haarhoff, J., and Edzwald, J. K.: Dissolved air flotation modelling: Insights and shortcomings, *Jour. Water Supply: Research and Technology–Aqua*, vol. 53, no. 3, pp. 127–150.
- [32] Dolejš P.: Effects of Temperature, Coagulant Dosage and Rapid Mixing on Particle-Size Distribution. *Environment Protection Engineering*, 9, 55-66 (1983).
- [33] Dolejš P.: Interaction of Temperature, Alkalinity and Alum Dose in Coagulation of Humic Water. In: *Chemistry for Protection of the Environment*, L.Pawlowski, A.Verdier, W.J.Lacy (eds.), pp.169-178.Elsevier, Amsterdam, 1984.
- [34] Dolejš, P.: Treatment of low alkalinity humic waters with partially neutralized aluminium sulphate. *Environ. Technol. Lett.*, 10, 41–48 (1989).
- [35] Dolejš P.: The Effects of Temperature, pH and Rapid Mixing Gradient on the Formation of Particles in Treatment of Humic Water. In: *Chemical Water and Wastewater Treatment II*, H. H. Hahn and R. Klute (Eds), pp.65-77. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992.
- [36] Pivokonský M. a kol.: *Tvorba suspenze při úpravě vody: teorie a praxe*. Líbeznice: Medim, 2011. ISBN 978-808-7140-185.
- [37] Dolejš P.: Koncepce, význam a základní prvky technologického auditu úpraven vody. *Sborník konference s mezinárodní účastí Pitná voda*, s. 85–91. SvF STU Bratislava 2000.
- [38] Dolejš P.: Auditing of technological processes as a tool to improve treatment plant performance and separation efficiency. *Proceedings 2nd WEKNOW Workshop*, s. 148, Environmental Institute, Bratislava 2005.
- [39] Dolejš P.: Význam auditu technologických procesů (technologického auditu) pro optimalizaci provozu a přípravu rekonstrukcí úpraven pitné vody. *Sborník konference Pitná voda*, s. 213–220. Hydrotechnológia Bratislava s.r.o., Bratislava 2011, ISBN 978-80-969974-5-9.
- [40] Dolejš P.: Technologický audit úpraven vody. *Vodní hospodářství* 51, č. 1, 8–10 (2001).
- [41] Dolejš P.: Využití technologického auditu pro optimalizaci provozu úpraven vody a manažerské rozhodování. *Sborník V. mezinárodní konference Voda Zlín 2001*, s. 77–84. VaK Zlín, Zlín 2001
- [42] Dolejš P, Štrausová K., Dobiáš P.: Technologický audit a návrh úprav technologické linky pro rekonstrukci ÚV Horoka. *Sborník konference Voda Zlín 2012*, s. 97–102. Moravská vodárenská, a.s., Zlín, 2012, ISBN 978-80-260-1468-3.
- [43] Dolejš P.: Význam auditu technologických procesů pro optimalizaci provozu a přípravu rekonstrukcí úpraven pitné vody. *Vodní hospodářství* 62, č. 4, s. 122–125 (2012).
- [44] Dolejš, P.: Centrifugation study of humic waters coagulation by Brownian motion. In: *Chemistry for Protection of the Environment 1985*, L. Pawlowski, G. Alaerts and W.J.Lacy (Eds) pp. 297-310. Elsevier, Amsterdam (1986).
- [45] Dolejš, P.: A simple test for determination of optimal doses in the treatment of humic waters. In: *Chemical Water and Wastewater Treatment*, H. H. Hahn and R. Klute (Eds) pp.377–390. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (1990).
- [46] Dolejš P., Dobiáš P., Burianová J.: Analýza počtů a velikostní distribuce částic v technologii úpravy vody – příklady ze sledování flotace a filtrace, *Sborník konference Voda Zlín 2007*, VaK Zlín, Zlín 2007.

- [47] Dolejš P., Dobiáš P.: Využití počítačů částic v technologii úpravy vody. *Vodní hospodářství* 57, č. 4, s. 11–113 (2007).
- [48] Dolejš P., Štrausová K.: Sledování vodárenské filtrace počítačem částic. *SOVAK*, 19, č. 4, s. 116-119, (2010).
- [49] Dolejš P.: Spektrofotometrické stanovení barvy huminových vod. Sborník konference "Hydrochémia '83", 361-370. ČSVTS VÚVH Bratislava 1983.
- [50] Antony J.: *Design of experiments for engineers and scientists*. Burlington, MA: Butterworth-Heinemann, 2003, ISBN 07-506-4709-4.
- [51] Štrausová K., Dolejš P.: Využití faktorového plánu experimentů při poloprovozním měření a v předprojektové přípravě. Sborník XIV. Mezinárodní konference Voda Zlín 2010, s. 73–78. Moravská vodárenská, a.s., Zlín 2010, ISBN 978-80-254-6368-0.
- [52] Štrausová K., Dolejš P.: Faktorové plánování a hodnocení experimentů při úpravě vody. Sborník konference „Pitná voda 2010“, s. 95–100. W&ET Team, Č. Budějovice 2010, ISBN 978-80-254-6854-8.
- [53] DOLEJŠ, Petr a Pavel DOBIÁŠ. ÚV Znojmo – zpráva s výsledky poloprovozních testů flotace. České Budějovice, 2007.
- [54] DOLEJŠ, Petr, Pavel DOBIÁŠ, Milan DRDA a Nataša KALOUSKOVÁ. ÚV Jirkov – výsledky z modelového poloprovozu flotace. České Budějovice, 2007
- [55] Dolejš P., Dobiáš P., Kočí V., Ocelka T., Grabic R.: Koncentrace léčiv podél technologické linky úpravní s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference „Pitná voda 2008“, s. 95–100. W&ET Team, Č. Budějovice 2008, ISBN 978-80-254-2034-8.
- [56] Dolejš P., Dobiáš P., Kočí V., Ocelka T., Grabic R.: Koncentrace pesticidů podél technologické linky úpravní s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference „Pitná voda 2008“, s. 101–106. W&ET Team, Č. Budějovice 2008, ISBN 978-80-254-2034-8.
- [57] Dolejš P., Dobiáš P., Baudišová D.: Změny koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) podél technologické linky úpravní s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference „Pitná voda 2008“, s. 107–112. W&ET Team, Č. Budějovice 2008, ISBN 978-80-254-2034-8.
- [58] Dolejš P., Štrausová K., Dobiáš P.: Modelové ověření nového filtračního materiálu Filtralite ve dvouvrstvých filtrech. Sborník konference „Pitná voda 2010“, s. 83–88. W&ET Team, Č. Budějovice 2010, ISBN 978-80-254-6854-8.
- [59] DOLEJŠ, Petr, Klára ŠTRAUSOVÁ a Pavel DOBIÁŠ. ÚV Plzeň - modelové ověření flotace (zpráva z poloprovozních experimentů), České Budějovice, 2010.
- [60] DOLEJŠ, Petr, Pavel DOBIÁŠ a Klára ŠTRAUSOVÁ. Porovnání vybraných filtračních materiálů při použití v jednostupňové a dvoustupňové separaci (flotace-filtrace). In: Zborník prednášok z XIV. konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA. Bratislava: Hydrotechnológia Bratislava s.r.o, 2011, s. 67–74, ISBN 978-80-969974-5-9.
- [61] DOLEJŠ, Petr, Klára ŠTRAUSOVÁ a Pavel DOBIÁŠ. ÚV Želivka - modelové ověření možného rozšíření technologické linky úpravy o první separační stupeň - flotaci: (zpráva z poloprovozních experimentů – etapa A6). České Budějovice, 2009.
- [62] Dolejš P., Dobiáš P., Štrausová K.: Modelové stanovení návrhových parametrů flotace. Sborník konference Optimalizácia a modernizácia zásobovania pitnou vodou, s. 101–106.

- [63] DOLEJŠ, Petr, Klára ŠTRAUSOVÁ a Pavel DOBIÁŠ: ÚV Bedřichov – modelové ověření možnosti rozšíření technologické linky úpravní o první separační stupeň – flotaci (zpráva z poloprovozních experimentů), České Budějovice, 2011
- [64] Dobiáš P., Dolejš P.: Předprojektová příprava rekonstrukce ÚV Milence (flotace). Zborník prednášok z XVII. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2017, Trenčianské Teplice 2017, ISBN 978-80-971272-5-1.
- [65] Drda M., Dobiáš P., Dolejš P., Michalová J., Blažek K., Beyblová S., Rainiš L.: Provozní výsledky po doplnění flotace na ÚV Souš. Zborník prednášok z XVII. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2017, Trenčianské Teplice 2017, ISBN 978-80-971272-5-1.
- [66] Dolejš P., Dobiáš P., Jelínková K.: ÚV Hradec Králové – poloprovozní experimenty s flotací rozpuštěným vzduchem, Zborník prednášok z XV. konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, s. 103–110, VodaTím s.r.o., Bratislava 2013.
- [67] Polanska M., Huysman K., van Keer Ch.: Investigation of assimilable organic carbon (AOC) in Flemish drinking water. Water Research 39, 2259–2266 (2005).
- [68] Prévost M. a kol.: Biodegradable organic matter in drinking water treatment and distribution. AWWA, Denver, CO 2005.
- [69] Dolejš P., Dobiáš P., Baudišová D.: Změny koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) podél technologické linky úpravní s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference „Pitná voda 2008“, s. 107–112. W&ET Team, České Budějovice 2008.
- [70] Dolejš P., Štrausová K.: ÚV Hradec Králové - modelové ověření flotace v zimním období, W&ET Team – výzkumná zpráva z testů, 2010.
- [71] Dolejš P., Štrausová K., Dobiáš P.: ÚV Hradec Králové - modelové ověření flotace v letním období, W&ET Team – výzkumná zpráva z testů, 2010.
- [72] Král P.: ÚV Hradec Králové – provozní zkušenosti na zimní a jarní vodě – hodnocení jednotlivých separačních stupňů. In: Zborník prednášok z XVI. konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA. Bratislava: VodaTím, 2015, s. 125–132. ISBN 978-80-971272-3-7.
- [73] Král P., Navrátil P.: ÚV Hradec Králové Orlice – Provozní zkušenosti dva roky od rekonstrukce – je potřeba tří separačních stupňů? In: Sborník konference PITNÁ VODA 2016: 13. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží. České Budějovice: W&ET Team, 2016, s. 185–190. ISBN 978-80-905238-2-1.
- [74] Dobiáš P., Dolejš P.: Flotace rozpuštěným vzduchem – za co nemohou bublinky. Sborník konference PITNÁ VODA 2018, s. 233–238, W&ET Team České Budějovice 2018, ISBN 978-80-905238-3-8.

9 SEZNAM ZKRATEK

A254	absorbance při $\lambda = 254$ nm; 1 cm kyvetě
A387	absorbance při $\lambda = 387$ nm; 5cm kyvetě
DOE	design of experiments
DAF vzduchem)	dissolved air flotation (flotace rozpuštěným
FP	faktorový pokus
GAU	granulované aktivní uhlí
GZ	garanční zkoušky
CHSK _{Mn}	chemická spotřeba kyslíku – manganistanová metoda
KZ	kontaktní zóna
MO	mikroorganismy
NTU	nephelometric turbidity units
SZ	separační zóna
ÚV	úpravna vody

10 PŘÍLOHY

10.1 Životopis autora

Osobní data

Jméno: Pavel Dobiáš

Narozen: 3. 1. 1979

Národnost: Česká

Státní občanství: ČR

Vzdělání: 1998 – 2003 FCH VUT Brno, CHTOŽP (magisterské studium – Ing.)

Diplomová práce: Separace suspenzí při úpravě pitné vody membránovou mikrofiltrací

1994 – 1998 Masarykovo gymnázium v Plzni

Zaměstnání: 2003 – dosud W&ET Team České Budějovice

2003 – dosud ENVI-PUR s.r.o

Odborné zaměření: Technolog úpravy pitné vody, výzkumný inženýr v oboru vodárenských procesů.

Kontakty:

Telefon: 737240825

E-mail: pavel.dobias@wet-team.cz

10.2 Publikační činnost autora

10.2.1 Časopisecké a vědecké publikace

1. Lelková E., Rulík M., Hekera P., Dobiáš P., Dolejš P.: Použití koagulantu PAX - 18 v podmínkách malého hypertrofního rybníka: Zkušenosti a první výsledky. *Vodní hospodářství* č. 9, 2005, ročník 55, str. 180–182.
2. Dolejš P., Dobiáš P.: Využití počítačů částic v technologii úpravy vody. *Vodní hospodářství* 57, č. 4, s. 11–113 (2007).
3. Lelková E., Rulík M., Hekera P., Dobiáš P., Dolejš P., Borovičková M., Pouličková A.: The influence of the coagulant PAX-18 on *Planktothrix agardhii* bloom in a shallow eutrophic fishpond. *Fottea* 8, No. 2, p. 147–154, 2008
4. Král P., Navrátil P., Dobiáš P.: První poznatky ze zkušebního provozu rekonstruované ÚV Hradec Králové, SOVAK, 11 (5–8) 2014

5. Hrušková P., Paul J., Dolejš P., Dobiáš P., Brabenec T.: Mikrofiltrace na ÚV Trnová – první zkušenosti v reálném provozu. SOVAK, 26 (7–8), 9/213–13/217.

10.2.2 Příspěvky ve sbornících z konferencí v anglickém jazyce

6. P. Dolejš, P. Dobias: Results of six years operation of the first DAF in Central and Eastern Europe (WTP Mostiste – Czech Republic. In: Proceedings of The 6th International Conference on Flotation, Flotation 2012, Flotation in Water and Wastewater Systems, October 29th, 2012 – November 01, 2012, New York, USA

10.2.3 Příspěvky ve sbornících z konferencí v českém jazyce

7. Dolejš P., Dobiáš P., Kalousková N.: Poloprovozní experimenty s membránovou mikrofiltrací v reálných podmínkách provozu úpravny vody. Sborník VII. mezinárodní konference Voda Zlín 2003, s. 91–96. VaK Zlín, Zlín 2003
8. Dobiáš P., Dolejš P., Drda M., Svoboda M.: Poloprovozní ověřování membránové mikrofiltrace pro úpravu huminových vod. Ve sborníku konference PITNÁ VODA 2004 č. 7, Pitná voda z údolních nádrží, ISBN 80–239–2936–4, s. 95–100, Tábor 2004.
9. Dolejš P., Dobiáš P., Drda M., Svoboda M.: Membránová mikrofiltrace a její separační potenciál při úpravě pitné vody. Ve sborníku Aqua Magica č. 8, Membránové separační procesy a využití v technologii úpravy vody, s. 46–50. Hydroprojekt CZ, Praha 2004
10. Lelková E., Rulík M., Hekera P., Dobiáš P., Dolejš P.: Vliv koagulantu PAX-18 na vodní sloupec a sediment hypertrofního rybníka. Sborník přednášek z konference Sedimenty vodních toků a nádrží, s. 300–305. VÚVH Bratislava, 11. – 12. 5. 2005
11. Dolejš P., Dobiáš P., Mazel L.: Provozní výsledky první vodárenské flotace v ČR realizované na ÚV Mostišť. In: Vodárenská biologie 2006, Praha 30. 1. – 2. 2. 2006, s. 183, ISBN 80–239–7113–1
12. Dobiáš P., Dolejš P., Kalousková N., Břízová E., Peterová I.: Rozklad oxidu chloričitého v upravené vodě In: Pitná voda 2006. Tábor, 5.6–8.6., 2006. České Budějovice: W&ET Team, c2006, s. 101–106. ISBN 80–239–7113–1
13. Dobiáš P., Dolejš P.: První výsledky z rekonstruované filtrace na ÚV Hradiště In: Pitná voda 2006. Tábor, 5.6–8.6. 2006. České Budějovice: W&ET Team, c2006, s. 183–188. ISBN 80–239–7113–1.
14. Dobiáš P., Dolejš P.: Vliv filtrace aktivním uhlím na tvorbu THM In: Pitná voda 2006. Tábor, 5.6–8.6., 2006. České Budějovice: W&ET Team, c2006, s. 189–194. ISBN 80–239–7113–1.
15. Dolejš P., Dobiáš P.: Výsledky provozu rekonstruované filtrace na ÚV Hradiště In: IX konferenci s mezinárodní účastí Pitná voda, s. 173–180. Slovenský národný komitét IWA a SvF STU Bratislava 2006. Trenčianské Teplice 3. – 4. 10. 2006

16. Dolejš P., Dobiáš P., Burianová J.: Analýza počtů a velikostní distribuce částic v technologii úpravy vody – příklady ze sledování flotace a filtrace, Sborník konference Voda Zlín 2007, VaK Zlín, Zlín 2007
17. Dolejš P., Dobiáš P., Kočí V., Ocelka T., Grabic R.: Koncentrace léčiv podél technologické linky úpravní s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference „Pitná voda 2008“, s. 95–100. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978–80–254–2034–8.
18. Dolejš P., Dobiáš P., Kočí V., Ocelka T., Grabic R.: Koncentrace pesticidů podél technologické linky úpravní s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference „Pitná voda 2008“, s. 101–106. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978–80–254–2034–8.
19. Dolejš P., Dobiáš P., Baudišová D.: Změny koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) podél technologické linky úpravní s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference „Pitná voda 2008“, s. 107–112. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978–80–254–2034–8.
20. Dolejš P., Dobiáš P.: Poloprovozní experimenty s flotací (DAF) při vysokém povrchovém zatížení. Sborník XIII. mezinárodní konference Voda Zlín 2009, s. 119–124. Moravská vodárenská a.s., Zlín 2009. (ISBN 978-80-254-3935-7).
21. Dolejš P., Štrausová K., Dobiáš P.: Modelové porovnání separační účinnosti flotace na různých lokalitách. Sborník konference s mezinárodní účastí Pitná voda, s. 175–182. Hydrotechnológia Bratislava s.r.o, Bratislava 2010.
22. Dolejš P., Štrausová K., Dobiáš P.: Modelové ověření nového filtračního materiálu Filtralite ve dvouvrstvých filtrech. Sborník konference „Pitná voda 2010“, s. 83–88. W&ET Team, Č. Budějovice 2010. (ISBN 978-80-254-6854-8).
23. Dolejš P., Dobiáš P., Štrausová K.: Předprojektová příprava rekonstrukce ÚV Bedřichov – průzkum separační účinnosti flotace a filtrace. Sborník konference Pitná Voda 2012, Tábor 2012, s. 65–70, ISBN 978-80-905238-0-7.
24. Dolejš P., Dobiáš P., Štrausová K.: Porovnání filtrů s pískovou náplní a s náplní Filtralite Mono-Multi na dvou úpravárnách pitné vody v ČR. Sborník konference Pitná Voda 2012, Tábor 2012, s. 77 – 82, ISBN 978-80-905238-0-7.
25. Dobiáš P., Dolejš P.: Odstranění amoniaku, manganu a železa při úpravě pitné vody ve filtru s náplní Filtralite Mono-Multi – výsledky z poloprovozních experimentů. Sborník konference Pitná Voda 2012, Tábor 2012, s. 157 – 162, ISBN 978-80-905238-0-7.
26. Dolejš P., Dobiáš P.: Použití injektorů pro aeraci vody. Zborník prednášok z XV. konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, Trenčianské Teplice 2013, ISBN 978-80-971272-1-3.
27. Dolejš P., Dobiáš P., Jelinková K.: ÚV Hradec Králové - poloprovozní experimenty s flotací rozpuštěným vzduchem Zborník prednášok z XV. konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, Trenčianské Teplice 2013, ISBN 978-80-971272-1-3.

28. Janda V., Dolejš P., Dobiáš P.: Odstraňování amoniaku při úpravě vody, Sborník konference Nové trendy v čistírenství a vodárenství, s. 40-47. ENVI-PUR, s.r.o., Soběslav 2013. ISBN 978-80-905059-2-6.
29. Dobiáš P., Dolejš P., Kolovrat J.: Poloprovozní ověřování separace manganu na náplni Filtralite na ÚV Plzeň. Sborník konference Pitná Voda 2014, Tábor 2014, s. 111–117, ISBN 978-80-905238-1-4.
30. Dolejš P., Dobiáš P., Jarošová M., Kalousková N.: Světová premiéra nového složení filtračního materiálu Filtralite Mono-Multi-Fine v poloprovozních experimentech: Sborník konference Pitná Voda 2014, Tábor 2014, s. 117–123, ISBN 978-80-905238-1-4.
31. Dolejš P., Dobiáš P., Jelínková K.: Předprojektová příprava rekonstrukce prvního separačního stupně na ÚV H. Králové. Sborník konference Pitná Voda 2014, Tábor 2014, s. 243–249, ISBN 978-80-905238-1-4.
32. Král P., Dobiáš P.: Garanční zkoušky flotační jednotky na ÚV H. Králové. Sborník konference Pitná Voda 2014, Tábor 2014, s. 249–255, ISBN 978-80-905238-1-4.
33. Dobiáš P., Král P.: Výsledky zkušebního provozu nové flotace na ÚV Hradec Králové. Sborník odborných prací z konference Nové trendy v oblasti úpravy pitné vody 2014, s. 143-153, Štrbské Pleso, Slovensko 2014, ISBN: 978-80-971272-2-0
34. Drda M., Dobiáš P., Dolejš P., Honzík R.: Předprojektová příprava pro výstavbu nové úpravny vody v Písku. Zborník prednášok z XVI. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2015, s. 41–49, Trenčianské Teplice 2015, ISBN: 978-80-971272-3-7.
35. Drda M., Dolejš P., Dobiáš P.: Úpravna vody Souš – Flotace (DAF) – příprav investiční akce a její průběh. Zborník prednášok z XVI. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2015, s. 133–141, Trenčianské Teplice 2015, ISBN: 978-80-971272-3-7.
36. Drda M., Dobiáš P., Dolejš P.: První použití filtrační náplně Filtralite Mono-Multi-Fine na světě v rekonstruovaných filtrech na úpravách vody Strašice a Studeněves. Zborník prednášok z XVI. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2015, s. 161-169, Trenčianské Teplice 2015, ISBN: 978-80-971272-3-7.
37. Dobiáš P., Dolejš P., Drda M.: Výsledky první provozní aplikace nového filtračního materiálu pro dvouvrstvé filtry Filtralite Mono-Multi-Fine na světě. Sborník přednášek z XIX. Odborné konference Nové trendy v čistírenství a vodárenství, p. 32–41, ENVI-PUR 2015, Soběslav, ISBN: 978-80-905059-4-0
38. Dobiáš P., Dolejš P.: Poloprovozní a provozní zkušenosti s použitím Filtralite – FMMF: Sborník konference Pitná Voda 2016, Tábor 2016, s. 81–87, ISBN 978-80-905238-2-1.
39. Dobiáš P., Dolejš P.: Využití rychlotestů na malých kolonkách (RSSCT) pro výběr vhodného GAU pro konkrétní lokalitu a kvalitu surové vody. Sborník konference Pitná Voda 2016, Tábor 2016, s. 105–111, ISBN 978-80-905238-2-1.

40. Dolejš P., Dobiáš P., Paul J.: ÚV Trnová – ukázka co je možné v současném vodárenství u nás a následné řešení krizového stavu. Sborník konference Pitná Voda 2016, Tábor 2016, s. 159–165, ISBN 978-80-905238-2-1.
41. Dobiáš P., Dolejš P.: ÚV Písek – předprojektová příprava. Sborník konference Pitná Voda 2016, Tábor 2016, s. 223–229, ISBN 978-80-905238-2-1.
42. Dobiáš P., Drda M.: ÚV Monako – předprojektová příprava a realizace rekonstrukce. Sborník konference Pitná Voda 2016, Tábor 2016, s. 307–313, ISBN 978-80-905238-2-1.
43. Dolejš P., Dobiáš P., Paul J., Soukup J., Hrušková P., Brabenec T.: Úpravna vody Trnová aneb jak jsme vytahovali trn z paty v Trnové. Sborník přednášek XX. Odborné konference Nové trendy v čistírenství, ENVI-PUR s.r.o 2016, Soběslav, ISBN:978-80-905059-5-7
44. Dobiáš P., Dolejš P.: Porovnání počítače částic a zákaloměru pro kontinuální sledování provozu úpraven. Zborník prednášok z XVII. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2017, s. 161–169, Trenčianské Teplice 2017, ISBN 978–80–971272–5–1.
45. Dobiáš P., Dolejš P.: Předprojektová příprava rekonstrukce ÚV Milence (flotace). Zborník prednášok z XVII. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2017, s. 73-80, Trenčianské Teplice 2017, ISBN 978–80–971272–5–1.
46. Drda M., Dobiáš P., Dolejš P., Michalová J., Blažek K., Beyblová S., Rainiš L.: Provozní výsledky po doplnění flotace na ÚV Souš. Zborník prednášok z XVII. Konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2017, s. 167–174, Trenčianské Teplice 2017, ISBN 978–80–971272–5–1.
47. Dobiáš P., Dolejš P.: Porovnání počítače částic a zákaloměru pro kontinuální sledování provozu úpraven. Sborník konference „Pitná voda“, Trenčianske Teplice 2017, s. 175–186. VodaTím, s.r.o., Bratislava 2017. ISBN 978-80-971272-5-1.
48. Dolejš P., Dobiáš P.: Navrhování rekonstrukcí úpraven pitné vody – co musíme ve 21. století změnit?. Sborník XXI konference „Nové trendy v čistírenství a vodárenství“, s. 33–38. ENVI-PUR, s.r.o., Soběslav 2017, ISBN 978-80-905059-6-4.
49. Dobiáš P., Dolejš P.: Nezbytnost poloprovozního testování pro návrh a použití granulovaného aktivního uhlí při úpravě pitné vody. Sborník konference PITNÁ VODA 2018, s. 79–82, W&ET Team České Budějovice 2018, ISBN 978-80-905238-3-8.
50. Dolejš P., Dobiáš P.: Injektory ve vodárenství. Sborník konference PITNÁ VODA 2018, s. 181–186, W&ET Team České Budějovice 2018, ISBN 978-80-905238-3-8.
51. Drda M., Dolejš P., Dobiáš P.: Praktické aplikace injektorů. Sborník konference PITNÁ VODA 2018, s. 187–192, W&ET Team České Budějovice 2018, ISBN 978-80-905238-3-8.
52. Dobiáš P., Dolejš P.: Vývoj v procesech vodárenské filtrace přes vrstvu zrnitého materiálu. Sborník konference PITNÁ VODA 2018, s. 225 – 232, W&ET Team České Budějovice 2018, ISBN 978-80-905238-3-8.

53. Dobiáš P., Dolejš P.: Flotace rozpuštěným vzduchem – za co nemohou bublinky. Sborník konference PITNÁ VODA 2018, s. 233 – 238, W&ET Team České Budějovice 2018, ISBN 978-80-905238-3-8.

10.3 Citace

1. Lelková E., Rulík M., Hekera P., Dobiáš P., Dolejš P., Borovičková M., Poulíčková A.: The influence of the coagulant PAX-18 on Planktothrix agardhii bloom in a shallow eutrophic fishpond. *Fottea* 8, No. 2, p. 147–154, 2008. (Citováno 13×)
https://scholar.google.com/scholar?cluster=935341882337339964&hl=en&as_sdt=2005&scio dt=0,5
2. Dolejš P., Dobiáš P., Baudišová D.: Změny koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) podél technologické linky úpravný s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference „Pitná voda 2008“, s. 107–112. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978–80–254–2034–8. (Citováno 3×)
https://scholar.google.com/scholar?cluster=11246578386961976316&hl=en&as_sdt=2005&sciodt=0,5

10.4 Pedagogická činnost

Konzultace a asistence při vedení diplomových a bakalářských prací na FCH VUT Brno:

1. Musil P.: Vliv přípravy suspenze na separaci při úpravě pitné vody membránovou mikrofiltrací, diplomová práce FCH VUT 2007, vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.
2. Burianová J.: Vliv provozních parametrů flotace na separační účinnost úpravný vody Mostiště, diplomová práce FCH VUT 2007, vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.
3. Duy Le Duc: Studium adsorpce přirozených organických látek na aktivním uhlí při úpravě pitné vody, diplomová práce FCH VUT 2007, vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.
4. Ženatová J.: Použití membránové mikrofiltrace v různých úpravnách pitné vody ve světě, bakalářská práce FCH VUT 2007, vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.
5. Sochor J.: Flotace – stanovení optimální dávky koagulantu a její ověření poloprovozními testy na ÚV Milence, 3. místo v celostátní přehlídce Středoškolská odborná činnost, 39. ročník, Boskovice 2017 [http://www.soc.cz/dokumenty/vysledkove_listiny/2016-17.pdf]

10.5 Odborná členství

Autor byl v letech 2008 - 2017 veden jako řádný člen ČSAVE (Československé asociace vodárenských expertů). (www.csave.cz).

Od roku 2017 je členem - expertem v Asociaci pro vodu ČR z. s. (CzWA)