

Využití flotace ve vodohospodářství

Přemysl Moučka

Bakalářská práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí
akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Přemysl MOUČKA**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**
Téma práce: **Využití flotace ve vodním hospodářství**

Zásady pro vypracování:

- 1) Provedte literární průzkum na dané téma podle pokynů vedoucího práce.
- 2) Sestavte osnovu bakalářské práce podle pravidel platných pro danou publikaci na UTB ve Zlíně a uspořádejte do logického celku.
- 3) Výsledky literárního průzkumu kriticky zhodnoťte do konečné formy bakalářské práce dle vzoru uvedeného v předešlém odstavci.

Rozsah práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

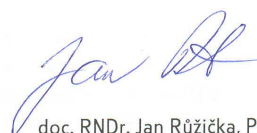
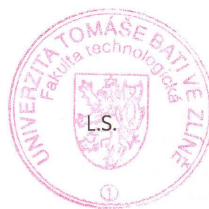
Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jan Kupec, CSc.**
Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí
Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2008**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2008**

Ve Zlíně dne 19. února 2008



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. RNDr. Jan Růžička, Ph.D.
pověřený ředitel ústavu

ABSTRAKT

Flotace je známa již velmi dlouhou dobu. Původně byla aplikována v oboru úpravy rud a uhlí. První zmínky o využití flotace ve vodním hospodářství je z roku 1860 z Velké Británie. Pak následovala celá řada patentů a vynálezů na využití flotace jako potenciální postup úpravy odpadní vody.

Průmyslový rozvoj a zvýšené kulturní požadavky kladou zvýšené nároky na spotřebu vody, tudíž i její znehodnocování a vyčerpání jejich zdrojů. Zejména v posledních desetiletích dochází k růstu nároků i nákladů na zajištění množství i jakosti pro uspokojení potřeb obyvatel a průmyslu. Pro vyčerpanost zdrojů podzemních vod se orientace získávání pitné vody obrací k povrchovým zdrojům. Jejich kvantitativní i druhové znečištění roste. Tím samozřejmě rostou i nároky na úpravu. Jak technologické tak i finanční. Proto se v posledních letech obrací pozornost na úpravu pomocí flotace, která je pro technologii úpravy i čištění vody stále častěji používaným způsobem separace koloidních a suspendovaných látek.

Práce se snaží o dosavadní souhrn znalostí o flotaci jako možného využití při úpravě i čištění vody.

Klíčová slova: odpadní vody, povrchové vody, flotace, flotační činidla, flotační technologie, pěna

ABSTRACT

Flotation has been known for a very long time. Originally it was applied in the field of regulation of ores and coal. The first reference of the use of flotation in the water utilization is from the year 1860 from Great Britain. A whole range of patents and inventions using flotation as a potential adjustment process of the waste water followed. Industrial development and increased cultural requirements put increased demands on water consumption, hence the degradation and depletion of water resources. Especially in the recent decades the growth of entitlements and the costs connected with the effort to provide the quantity

and quality of water that would meet the needs of the population and industry are growing. Due to the exhaustion of the groundwater resources, drinking water obtaining turns to the surface sources. Their quantitative and generic pollution is growing. And of course the demands for treatment are growing as well. Both the technological demands and the financial ones.

Therefore, in recent years, attention turns to water adjustment by flotation, which is, because of the technology of water treatment and water purification, more and more frequently used way of separation of colloidal and suspended substances. This work's aim is to summarise the information and knowledge about flotation and its prospective use in the process of treatment and purification of water.

Keywords: waste water, surface water, flotation, flotation agents, flotation technology, foam

Poděkování:

Na tomto místě bych rád vyjádřil poděkování panu Prof. Ing. Janu Kupcovi, CSc., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné rady, cenné připomínky a čas, který mi věnoval při jejím zpracování.

Prohlášení:

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 25.5.2008

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	8
1 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	9
1.1 VÝZNAM ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	9
1.2 METODY ČIŠTĚNÍ	10
2 MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	12
3 FLOTACE	13
3.1 FYZIKÁLNĚ CHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA FLOTAČNÍHO PROCESU (TEORIE FLOTACE)	13
3.1.1 Bublinková flotace při mechanickém dispergování vzduchu	16
3.1.2 Bublinková flotace s uvolňováním plynu z roztoku	17
3.1.2.1 Vakuová flotace.....	17
3.1.2.2 Tlaková flotace	17
3.2 ZÁKLADNÍ TYPY FLOTACE	26
3.2.1 Flotace s vydělením vzduchu z roztoku	27
3.2.1.1 Tlaková flotace	28
3.2.2 Flotace s mechanickou disperzací vzduchu	32
3.2.2.1 Měšidlové flotační komory	32
3.2.2.2 Beztlaková flotační stanice	33
3.2.2.3 Pneumatické flotační stanice	33
3.2.3 Elektrolytická flotace.....	34
3.2.4 Biologická a chemická flotace	35
3.2.4.1 Biologická flotace	35
3.2.4.2 Chemická flotace.....	36
3.2.5 Molekulární a iontová flotace	36
3.2.6 Pěnová flotace	36
3.2.7 Přirozená flotace	37
3.3 JINÉ TECHNOLOGICKÉ MODIFIKACE FLOTACE	38
3.3.1 Metoda flokulace	38
3.3.2 Metoda flotoflokulační sedimentace	38
3.3.3 Metoda flotoextrakce.....	39
3.4 FLOTAČNÍ PŘÍSADY	39
3.5 PŘÍPRAVA ZNEČIŠTĚNÉ VODY K FLOTACI.....	42
ZÁVĚR.....	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	46
SEZNAM OBRÁZKŮ	47
SEZNAM TABULEK	48

ÚVOD

Voda jako jedna z nejdůležitějších surovin na Zemi si obzvláště vyžaduje a zaslouhuje naši pozornost a péči. Následky znečišťování vod jsou patrné ve všech oblastech životního prostředí. Její jakost se odráží na stavu a zdraví životního prostředí a všech populací které v něm žijí a potřebu ji ke svému životu ať už přímo, či nepřímo. Proto by péče o vodu měla patřit mezi jednu z priorit lidstva.

Na vodu se musí dbát již při její spotřebě, ne až při následném řešení znečištění, protože zde dochází k znehodnocování její užitných vlastností. Jelikož čištění odpadních vod je velmi neekonomickou záležitostí, mělo by se dbát již v počátku na co nejefektivnější využití vody a co nejmenší znehodnocování její kvality.

Nelze opomenout jeden důležitý fakt, a to úbytek zdrojů pitných vod v důsledku její kontaminace. S tím jdou ruku v ruce vyšší náklady, tedy neekonomičnost a neefektivnost tohoto procesu. V tomto kontextu se důsledné šetření a šetrné zacházení s pitnou vodou (a nejen s ní) jeví jako nezbytná nutnost.

Ve své práci jsem se zaměřil na jednu z moderních metod úpravy a čištění odpadních (znečištěných) vod – flotaci, která se v poslední době velmi dynamicky rozvíjí.

1 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Čištění odpadních vod je proces zlepšování kvality odpadní vody. Intenzivně probíhá na čistírnách odpadních vod, mnohem pomaleji i samovolně v přírodě během procesu samočištění. [5]

1.1 Význam čištění odpadních vod

Jestliže máme správně pochopit smysl čištění odpadních vod, musíme si uvědomit, že čištění se může týkat jen odpadních vod nečistých, a musíme se pokusit definovat pojem nečistý a znečištěný. Při pokusu o tuto definici neobstojí stanovisko, že nečisto vody jsou všechny vody, které obsahují nečistota látkové povahy. Také oteplená voda, která je do řeky vypouštěna a která obsahuje menší množství rozpuštěných nebo rozptýlených látek než říční voda, je pro řeku zdrojem znečištění.

K pochopení významu čištění odpadních vod je nutné nejprve charakterizovat jednotlivé druhy znečištění a celkový režim vod, poněvadž pojem znečištění je kvantitativně závislý na celkovém režimu vodstva, které znečištění obsahuje nebo může přijmout.

Z různých druhů znečištění vod je možno vyčlenit skupinu látek, které můžeme označit jako *látky jedovaté – toxické*. Neexistuje jednotná a výstižná definice jedu. Pro poměry panující v povrchových i pozemních vodách pokládáme za jedovaté takové látky, které již v malé koncentraci působí poškození nebo zánik živých organismů. Definice jedu tedy souvisí se stanovením toxické koncentrace látky nebo toxické dávky. Přesnou hranici mezi látkami jedovatými a nejedovatými stanovit nelze, protože toxicita se uplatňuje těžko předvídatelným způsobem, jde-li o kombinovaný účinek několika toxických látek. V podstatě můžeme toxické látky rozdělit do dvou skupin: rozpustné sloučeniny těžkých kovů a toxické organické látky. Zásadním rozdílem mezi oběma druhy látek je to, že jedy povahy kovové jsou neodbouratelné a odstranění toxického účinku je spolehlivě možné jen separací těchto látek z prostředí. Jedy organické povahy se naproti tomu dají ve vodním prostředí zničit (odbourat) biochemickou nebo chemickou cestou.

Druhou skupinou znečišťujících látek jsou *organické, silně reaktivní látky*. Tyto látky jsou vesměs živočišného nebo rostlinného původu a patří mezi glucidy, lipidy a protidy nebo je znečištění tvořeno směsí těchto látek. Tyto látky tvoří potravu mikroorganismů a metabolismem mikroorganismů dochází k postupné degradaci těchto látek až na látky minerální a organické málo reaktivní látky, na látky relativně stabilní.

Dalším druhem znečištění vod jsou *dispergované látky*, minerální nebo organické povahy. Podstatou škodlivosti je zde povaha disperzní soustavy a ne povaha dispergovaných látek. Povaha těchto látek však může působit také škodlivě.

Dalším druhem znečištění vod v síti řek je *solnost vody*. Toto znečištění sice nemá dosud na mnoha místech naší říční sítě význam, ale za to v místech, kde již význam má, představuje největší a nejnáročnější problém čistírenské techniky [1].

1.2 Metody čištění

Pro čištění odpadních vod se používají chemické, fyzikálně-chemické i biologické metody.

Chemické a fyzikálně-chemické metody:

- sedimentace (usazování) - využívá ji lapák šterku, lapák písku, usazovací nádrž, atd.
- flotace - lapáky tuků nebo řízený proces
- odstředování
- filtrace
- magnetická separace
- iontová výměna
- membránové procesy
- koagulace
- srážení
- neutralizace

a další.

Biologické metody:

- aerobní procesy - aktivační systémy, biofilmové reaktory
- anaerobní procesy [5]

2 MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Tuto předúpravu označujeme také jako primární stupeň čištění odpadních vod. Jeho cílem je zamezit zejména mechanickému poškození zařízení čistírny a snížit další čistící proces o zatížení, které odpadní voda přináší ve formě nerozpuštěných a vzplývavých látek. Využívá se především velikosti a velké (či naopak nízké) specifické hmotnosti eliminovaných částic [6].

Mechanické čištění se dále dělí na hrubé předčištění, lapáky písku a usazování. Do hrubého předčištění patří lapáky šterku, česle a síťové filtry. Toto má za úkol ochránit další zařízení na čistírně před nežádoucím poškozením. Zbavujeme se jím plovoucích nebo vodou na dně sunutých předmětů.

Za těmito mechanickými postupy následují fyzikální, do kterých spadá i flotace, která je podrobně popsána v následujících kapitolách z teoretického i z praktického hlediska.

3 FLOTACE

Flotaci rozumíme jev, při kterém částice lehčí než kapalina stoupají k hladině. Flotace je tedy opakem sedimentace. Jsou-li vyplavované částice z hladiny odstraňovány, slouží flotace k separaci částic lehčích než kapalina (dispergens). Při čištění odpadních vod jsou takto z vody odstraňovány oleje, tuky a jiné látky.

Flotaci neboli vyplavováním lze odstranit i částice těžší než kapalina pomocí provzdušování. Suspendované částice přilnou za určitých podmínek vlivem adhezních sil ke stoupajícím vzduchovým bublinám a jsou s nimi vyneseny k hladině, kde vytvářejí třífázovou pěnu, která se stírá. Tento způsob flotace se často používá při úpravě rud. Při čištění odpadních vod se používá provzdušování k urychlení flotačního procesu v lapácích tuku a k separaci aktivovaného kalu, pokud má být využit k jiným účelům. [1]

3.1 Fyzikálně chemická charakteristika flotačního procesu (teorie flotace)

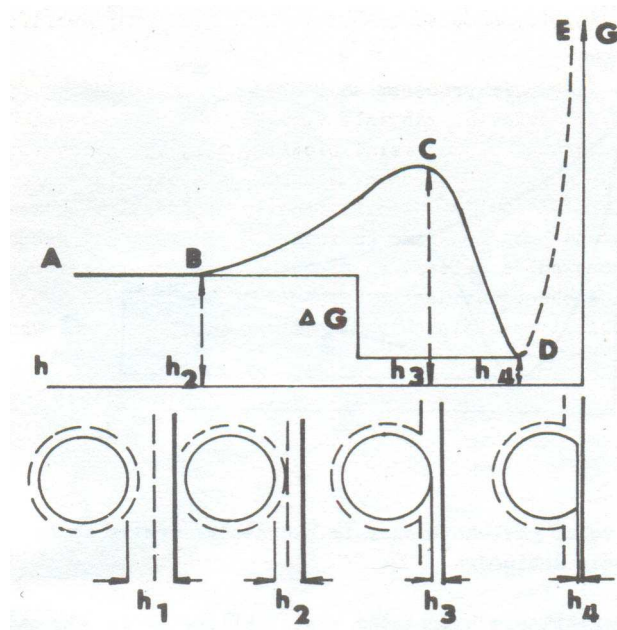
Flotační proces je z teoretického hlediska složitý. Podstata flotace spočívá na pochodech, jež se odehrávají na hranicích fází, tj. na rozhraní fází tuhá-kapalná, kapalná-plynná a tuhá-plynná, přičemž tyto mnohonásobné hranice jsou ve svých vzájemných vztazích velmi proměnné. Na průběh flotace mají vliv různé pochody. Flotaci lze zpravidla aplikovat jak na anorganické, tak i organické látky.

Z hlediska průběhu a kinetiky charakterizují flotační proces čištění odpadních vod dva hlavní procesy:

- a) vznik vzduchových bublinek a mechanismus jejich přilnutí na povrchu tuhé fáze
- b) kinetika pohybu mineralizované bublinky

Otázky teorie přilnutí bublin bezprostředně souvisejí se stabilitou a kinetikou rozrušení hydratovaných vrstev mezi povrchem tuhé fáze a vzduchové bubliny. Tento pochod je charakterizován změnou volné energie povrchu a souvisí přímo s tloušťkou hydratované vrstvy a hydratovatelností

povrchu částice. Hydratovatelností se rozumí vytvoření tenké vrstvičky molekul vody na povrchu tuhé látky ponořené do vody. Tato vrstvička má zcela odlišné vlastnosti než ostatní vodní prostředí vlivem orientace dipólových molekul vody a vytváří kolem tuhé látky – částice – těsnou atmosféru dipólů vody – hydratační vrstvu. Tvorba hydratační vrstvy proběhne jen tehdy, jestliže energie v mezifázi nabitě částice – dipól vody – je větší než energie mezi jednotlivými molekulami vody.

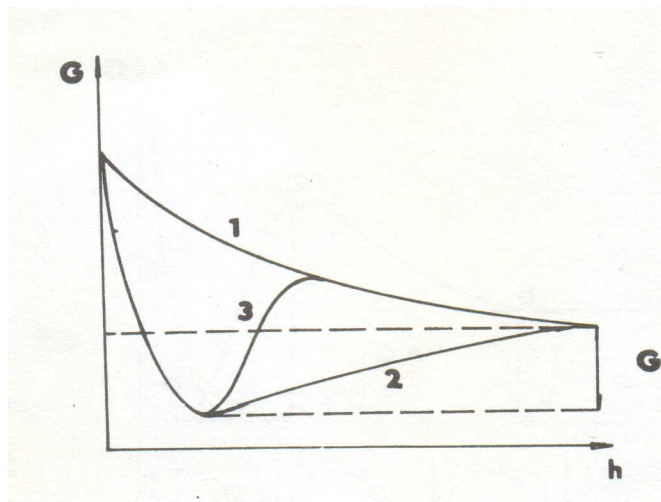


Obr. 1 Průběh přiblížení vzduchové bubliny k povrchu tuhé látky v závislosti na změně volné energie hydratované vrstvy [2].

Teoretické vysvětlení změn volné energie hydratační vrstvy v závislosti na ztenčování vodního filmu zobrazuje obr. 1, jež znázorňuje průběh přiblížení vzduchové bubliny k tuhé látce v závislosti na změně volné energie G hydratované vrstvy. Pokud jsou hydratační vrstvy na bublině a tuhé fázi dostatečně vzdáleny (část křivky AB), vrstva vody h_1 neovlivňuje jejich přiblížení. Při vzájemném styku hydratovaných vrstviček, počínaje vzdáleností h_2 , se emerze (vynoření) znesnadňuje odporem vody, což má za následek zvětšení volné energie G hydratované vrstvy (část křivky BC). Zvětšený odpor hydratovaných vrstev se překoná kinetickou energií pohybující se bubliny. Při dosažení určitého ztenčení vrstvičky se tato

vrstvička stane termodynamicky nestálou a hodnota volné energie se začne snižovat (část křivky CD). V následující fázi dochází k vlastnímu styku a přilnutí k povrchu, se kterým tvoří tzv. stykovou plochu (D). Pod bublinou obvykle zůstává tenká molekulární vrstvička vody h_4 , která je velmi silně adsorbována na povrchu tuhé látky. Její odstranění z povrchu by vedlo ke značnému vzrůstu volné energie – část křivky E. Přilnutím bubliny k povrchu tuhé látky se sníží volná energie systému o ΔG .

Na podkladě Frumkinovy teorie odvodil Rebinděr závislost mezi volnou povrchovou energií hydratační vrstvy G a hydrofobitou povrchu pro různé tloušťky vodního filmu h (obr. 2).



Obr. 2 Závislost volné povrchové energie hydratační vrstvy na hydrofobitě povrchu [2]

Jestliže charakterizuje hydratační vrstvu křivka č. 1, znamená to, že ztenčování vrstvy probíhá nepřetržitě se vzrůstem volné energie systému G . Povrch částice je maximálně hydrofilní, je dokonale hydratován a k přilnutí bubliny vůbec nedojde. Opak znázorňuje křivka č. 2, kdy je minimální hydratace povrchu, tj. povrch značně hydrofobní a snižování volné energie povrchu probíhá kontinuálně do jistého minima, kde je maximální nestálost hydratované vrstvy, kdy je také největší možnost jejího samovolného rozrušení a kdy nastává vlastní přilnutí na úkor energie povrchu flotované částice. Pro středně hydratované povrchy, které jsou v praxi při flotaci nejčastější, je složitější závislost znázorněna křivkou č.

3. Přilnutí částic k bublině nastává po odstranění hydratované vrstvy, která se může samovolně rozrušit pouze po překonání energetické bariéry, vzniklé vzájemnou vazbou dipólů vody v hydratované vrstvě s povrchem minerálů. Následkem toho se energie nejprve zvyšuje. Po překonání energetické bariéry klesá na hodnotu, při které dochází k vzájemnému přilnutí. Aby vůbec došlo k přilnutí, je třeba dodat vnější energii, kterou se naruší vazba molekul v hydratovaném filmu, což je provázeno vzrůstem volné energie v povrchu tuhé látky. Dodaná energie musí být úměrná velikosti energetické bariéry bránící přímému styku bubliny s tuhou látkou. Při flotaci je tato energie dodávána soustavě pohybem obou složek a je úměrná součinu jejich hmot.

Podle metody získávání bublinek vzduchu (nebo jiného plynu) rozeznáváme následující způsoby flotace odpadních vod:

- a) bublinková flotace s mechanickým dispergováním vzduchu (za použití mechanických turbinek – imperelů, trysek, pórovitých materiálů a kaskádovým provzdušňováním)
- b) bublinková flotace s uvolňováním plynu z roztoku (vakuová a tlaková)
- c) elektroflotace

3.1.1 Bublinková flotace při mechanickém dispergování vzduchu

Proces tvorby komplexu částice – bublinka probíhá na hranici tří fází (částice – vzduch – voda) a dělí se na:

- a) přiblížení částice s bublinkou vzduchu (při vzplývání bublinky)
- b) kontakt částice s bublinkou
- c) upevnění bublinky na částici (přilnutí).

Pevnost vytvořeného komplexu je závislá na rozměrech částice a bublinky, fyzikálně chemických vlastnostech částice a kapaliny (hydrofobnosti

povrchu částice a její pevnosti, povrchovém napětí atd.) hydrodynamických podmínkách atd.

U částice dobře smáčitelných vodou je pevnost přilnutí minimální, kdežto u hydrofobních částic je maximální. Nejlepší podmínky přilnutí jsou vytvořeny při poměrně nevelkých rychlostech promíchávání částic a bublinek a zvýšení teploty. Důležitým ukazatelem je stálost pěnové vrstvy. Nedostatečná pevnost pěny nedává možnost současně odstraňovat pěnu (kal) z hladiny vody. Přílišná pevnost pěny zatěžuje její další zpracování.

3.1.2 Bublínková flotace s uvolňováním plynu z roztoku

Dle způsobu tvorby přesyceného roztoku nebo odpadní vody dělíme metodu na vakuovou a tlakovou.

3.1.2.1 Vakuová flotace

Odpadní voda se nejdříve nasytí plynem při atmosférickém tlaku poté se nad ní vytvoří vakuum, přičemž dojde k vyloučení bublinek.

3.1.2.2 Tlaková flotace

Odpadní voda se pod tlakem nasytí plynem a následným náhlým snížením tlaku na atmosférický vznikají bublinky.

Proces tlakové flotace se dělí na:

- a) rozpuštění plynu v odpadní vodě
- b) uvolnění bublinek z přesyceného roztoku plynů ve vodě (vznik nové fáze)
- c) vytvoření komplexů částice – bublina
- d) stoupání komplexů k hladině odpadní vody.

Každé výše uvedené stádium má vliv na efektivitu a ekonomii čištění odpadních vod flotací.

Množství bublinek vytvořených z přesyceného roztoku, a tedy i efektivnost flotace, závisí na množství rozpuštěného plynu ve vodě. Vznik nové fáze v metastabilní fázi probíhá ve formě zárodků. Gibbs poprvé zavedl pojem kritického zárodku, tj. částice nové fáze určitého rozměru, která se nachází v rovnováze s metastabilní fází. Avšak tato rovnováha je nestálá, zmenšení rozměru kritického zárodku vede k jeho rozplynutí a zvětšení rozměru k dalšímu růstu.

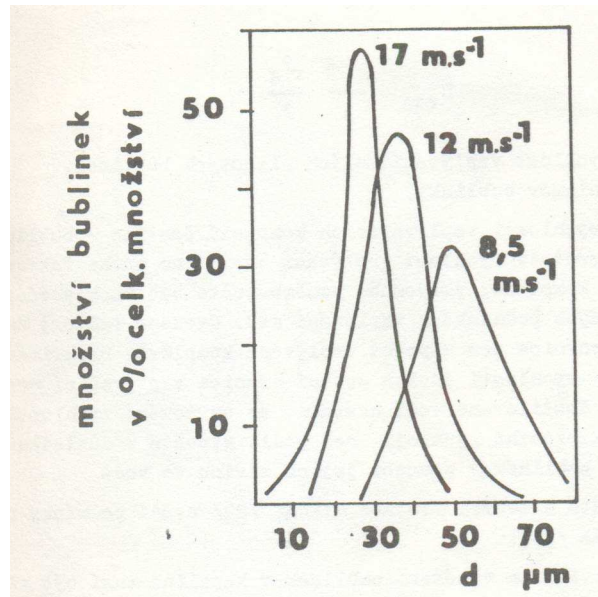
$$r_{kr} = \frac{2\sigma}{P_1 - P_2}$$

kde:

- r_{kr} - poloměr kritického zárodku
- σ - povrchové napětí vody rozhraní s plynem
- P_1 - tlak plynu v zárodku bublinky
- P_2 - tlak v kapalném prostředí

Existující teorie vzniku nových fází neumožňují zjistit počet vytvořených životaschopných zárodků bublinek. Kromě toho, tyto teorie neobjasňují v praxi pozorované zvětšení rychlosti tvorby částic nové fáze při zvýšené intenzitě pohybu prostředí (promíchávání nebo turbulentnosti). Existuje kritická průtoková rychlost kapaliny U_{kr} , pod kterou tvoření životaschopných zárodků neprobíhá. Podle provedených výpočtů $U_{kr} = 6,9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Tvorba bublinek z přesyceného roztoku plynem je na obr. 3. Z obrázku je vidět, že se zvětšováním výtokové rychlosti se průměr bublinek zmenšuje, ale jejich počet prudce roste. Zvýšení koncentrace plynu ve vodě při stálé výtokové rychlosti vede ke zvětšení rozměrů bublinek, přičemž jejich počet se nemění. Snížení povrchového napětí vody na hranici se vzduchem vyvolá zmenšení průměru bublinek.



Obr. 3 Závislost mezi průměrem bublinky, množstvím bublinek určité velikosti a průtokovou rychlostí [2]

Komplexy částice – bublina se tvoří dvěma způsoby:

- a) bublina přilne k částici při jejich střetnutí během stoupaní bubliny v tekutině
- b) bublina vzniká z přesyceného roztoku bezprostředně na povrchu částice.

Objasnění mechanismu procesu má praktický význam pro určení výšky vrstvy tekutiny (vody) ve flotační nádrži, a tudíž pro rozměr flotační nádrže.

Termodynamická analýza procesu prokázala větší pravděpodobnost vzniku bublinek na částicích suspenzí než v homogenním prostředí tekutiny. Tato pravděpodobnost stoupá se zvětšenou hydrofobností povrchu částic a stupni přesycení vody plynem. To však nevylučuje možnost vzniku bublinek bezprostředně ve vodě a vytvoření komplexu jako výsledku střetnutí bubliny s částicemi.

Podmínky flotace:

- 1) Celková síla vynášení bublinek v kapalině musí být větší než hmota vynášených částic v kapalině

$$\sum F_b > \sum (G_c - F_v)$$

kde:

F_b - celková síla vynášení všech bublinek

G_c - tíha jedné částice (N)

F_v - vztlak na částici (N)

- 2) Povrch částic musí být vhodný pro zachycení bublinek, proto stykový úhel smáčení musí být větší než minimální stykový úhel pro danou velikost bublinek.
- 3) Spojení musí být pevné, aby vydrželo vliv různých sil (tíhy, vztlaku, hydrodynamických sil).
- 4) Rychlost proudění ve flotačním prostoru musí být malá, aby komplexy vyplavaly na povrch a vytvořily pěnovou vrstvu.
- 5) Pěnová vrstva na hladině musí obsahovat tolik bublinek, aby vznikla kompaktní, stabilní vrstva, ze které by se neuvolňovaly vyflotované částice.

Kinetika flotace závisí na:

- a) Síle spojení bublinky s částicí a tato je dána velikostí stykového úhlu a bubliny
- b) Kinetice roztrhnutí tenké kapalně vrstvy na částici, která má jiný charakter než kapalina
- c) Velikosti částic
- d) Sorpci plynů na povrchu částic a jejich spolupůsobení
- e) Stykovém úhlu, jeho změnách v čase a působením chemických látek
- f) Podmínkách vzniku bublinek na rozhraní kapalina – tuhá látka
- g) Mechanismus mineralizace bublinek v kapalině a pění

Podmínky a průběh flotace jsou velmi složité, dosud nebyla vyslovena teorie, která by plně vystihla fyzikálně chemické jevy tohoto procesu.

Jde především o ujasnění jevů, které nastávají na rozhraní tří fází: tuhé (částice), tekuté (kapalina) a plynné (nejčastěji vzduch). Vlivem nevyrovnaných sil přitažlivostí mají molekuly na rozhraní voda – vzduch určitou volnou energii, která se projevuje jako napětí v tenké povrchové vrstvě.

Smáčitelnost látek často určuje stykový úhel, tj. úhel, který svírá dotyková plocha povrchu vody s povrchem tuhé látky v místě styku všech tří fází. Čím větší je stykový úhel, tím hydrofóbnější je povrch příslušné látky a naopak styčný úhel hydrofilních látek je malý. Hydrofóbní látky mají nepolární skladbu molekul, a proto nehydratují, nesmáčejí se a lehce flotují. Opakem jsou hydrofobní látky, mají polární skladbu molekul, silně hydratují, smáčejí se a těžce flotují.

Při flotaci je potřeba počítat i s adsorpční (orientovanou) vodou. Částice tuhé látky v kapalině není suchá, ale je na ní obal adsorpční vody, který má vícemolekulární sílu (mocnost).

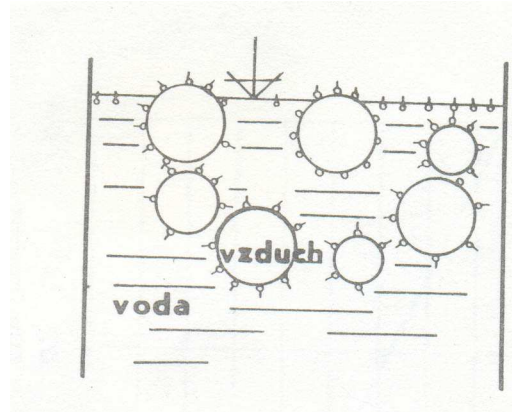
Kinetika flotace je podobná kinetice flokulace. Rychlost flotace závisí na počtu účinných srážek. Srážka je účinná, když adhezní síly jsou větší než síly tíhové neboli, když vzniká flotační komplex částice látky a bubliny. Mezi částicí látky a bublinou zůstává tenká vrstva vody. Čím je vrstva tenčí a uhlovodíkové řetězce dipólových molekul delší, tím je spojení komplexu pevnější. Doba vytvoření flotačního komplexu je velmi krátká, udává se v rozsahu $10^{-3} - 10^{-1}$ s. rozbití flotačního komplexu nastává prasknutím bublinky nebo neúměrnou turbulencí.

Teorie pěny

Pěnou nazýváme disperzní soustavu, která se skládá z kapaliny a plynu.

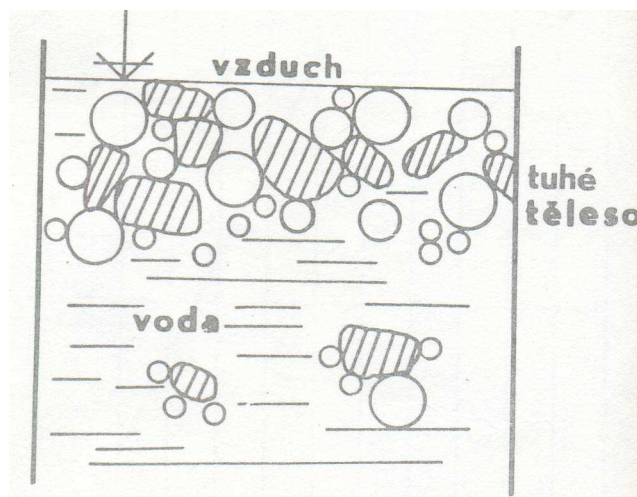
Při flotaci vzniká na hladině pěnová vrstva, která může být vločkovitá, blanitá nebo strukturně blanitá. Skladba pěny závisí na komplexech a znečištění odpadní vody. Stabilita pěny patří k důležitým parametrům flotace. Pěna může být dvojfázová (kapalina – vzduch) nebo třífázová (kapalina – vzduch – tuhá látka).

Dvojfázová pěna je nestálá, což je způsobeno podle zákonů termodynamiky zmenšováním volné povrchové energie, která se uvolňuje v čase při srůstání bublin.



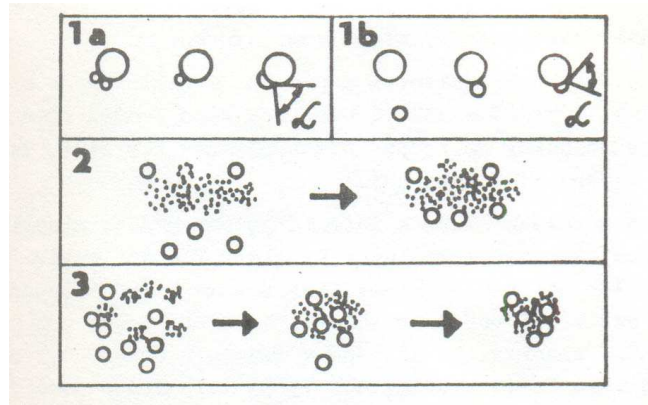
Obr. 4 Dvojfázová pěna [2]

Třífázová pěna se tvoří jen za přítomnosti tuhých částic lpících na bublinu, je stabilnější a několikrát pevnější než dvojfázová pěna. Pevnost závisí na velikosti flotovaných částic a bublin. Z hlediska stability polydisperzní pěny je vhodné, aby velikosti částic a bublin byly malé. Čím jsou částice jemnější a bubliny menší, tím je pěna stálejší



Obr. 5 Třífázová pěna [2]

Tvorba komplexů vzhledem k zrnité a vločkovité struktuře suspenze v odpadní vodě a kalu i k možnosti použití koagulátů může nastat třemi způsoby:



Obr. 6 Tvorba komplexů při tlakové flotaci [2]

- 1) vzduchová bublinka se zachytí na povrchu zrnité částice. Je nutná dostatečná adhezní síla, stykový úhel větší než 0° a menší než 90° a adheze plynu k částici větší než adheze plynu ke kapalině.
- 2) Dojde k zachycení vzduchových bublinek na vločkovité částici. Tyto komplexy vznikají, jestliže vločky byly vytvořeny již před vstupem do flotačního prostoru a vzduchové bublinky je jen vynášejí na hladinu.
- 3) Dochází k současné tvorbě bublinek a vloček při poklesu tlaku ve flotačním prostoru na hodnotu tlaku atmosférického. Jedná se o spojení flotace a flokulace.

Pohyb bublinek a flotačních komplexů má vždy směr vzhůru k hladině. Nejdůležitější veličinou pohybu bublinek v kapalině je vzestupná rychlost. Pro výpočet vzestupné rychlosti pevných částic, jejichž měrná hmotnost je menší než měrná hmotnost kapaliny, platí tytéž vzorce jako pro usazovací rychlosti sedimentovatelných částic. Vyplavování emulzí se řídí stejnými zákony jako usazování suspenzí. Pouze při vzestupných rychlostech vzduchových bublin dochází k odchyškám vlivem jejich deformace a vlivem změny objemu během vzplývání. Allen pokusně dokázal, že

Stokesovy rovnice se dají použít pro vzduchové bubliny, nepřevyšuje-li velikost Reynoldsova čísla jednu. (Reynoldsovo číslo - Re charakterizuje proudění kapaliny v trubici. Reynoldsovo číslo menší než 1 znamená laminární proudění - částice se pohybují ve vrstvách, obtékané těleso klade malý odpor, při Re vyšším než 1 se jedná o turbulentní proudění - částice víří)

$$u = \frac{2}{9} r_o^2 \left(\frac{\gamma_1 - \gamma}{\eta} \right)$$

kde:

- u - vzestupná rychlost částice
- r - poloměr částic
- γ_1 γ - měrná hmotnost kapaliny a částice
- η - dynamický součinitel vazkosti

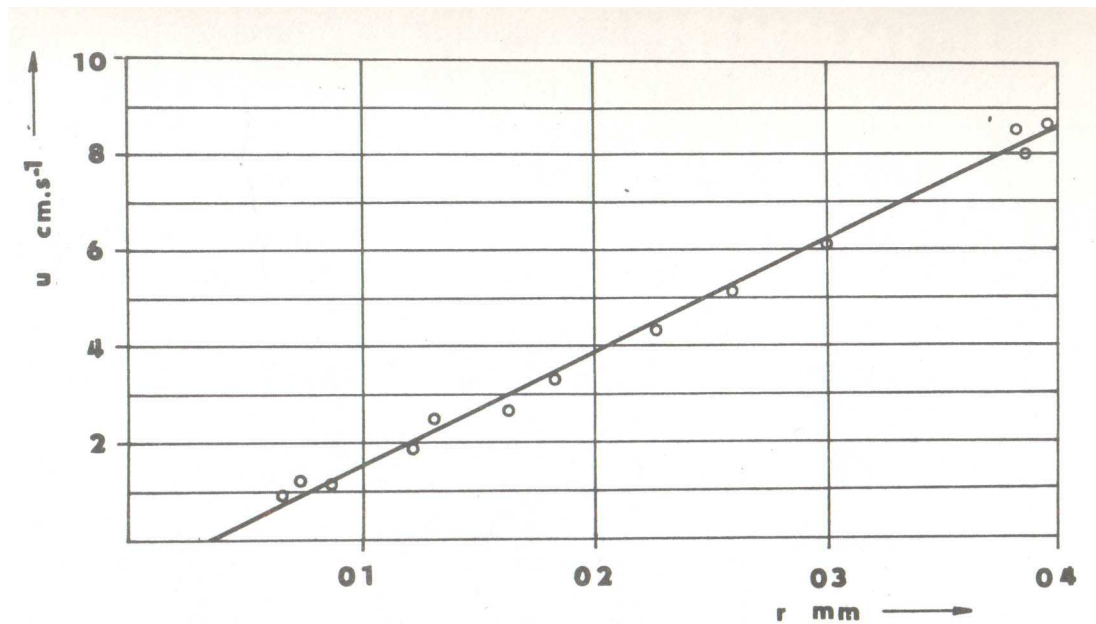
Pro větší hodnoty Reynoldsova čísla platí Allenova rovnice:

$$u = 0,2 \left(\frac{\gamma_1 - \gamma}{\rho} \right)^{2/3} * \frac{d_o}{\nu^{1/3}}$$

kde:

- ν - kinematický součinitel vazkosti
- ρ - měrná hmotnost kapaliny

Hodnoty rychlosti u naměřené Allenem jsou uvedeny na obr. 7



Obr. 7 Vzestupná rychlost vzduchových bublin ve vodě [2]

Dráha, kterou bublina potřebuje k tomu, aby dosáhla rovnoměrné rychlosti, je delší než u pevných částic. Činí asi 0,5 až 1,25m. Čím větší je bublina tím je dráha kratší. Všechny tyto údaje platí pro vzestupné rychlosti jednotlivých bublin v čisté vodě. Přidáme-li např. do vody látku, jenž snižuje povrchové napětí vody, sníží se tím výstupná rychlost. U bublin menších než 1,5mm snižuje přítomnost povrchově aktivních látek vzestupnou rychlost až dvaapůlkrát.

Efekt flotace, tj. vynášení částic na hladinu, je z hlediska kinetiky procesem závislý na počtu tzv. užitečných srážek, které vedou nejen k adhezi, ale i k udržení vynesných látek v pěně. Pravděpodobnost srážek s bublinou po danou částici bude záviset na stupni a způsobu provzdušnění suspenze a na stupni i způsobu vazby a hydrodynamickém chování částic. Pravděpodobnost adheze bude z povrchu záviset na stavu povrchu částice a bubliny.

Účinnost flotačního zařízení nezávislá především na jakosti a množství bublin, které se při dekompresi ve vlastním flotačním prostoru vyloučí. Malé bublinky mají menší vzestupnou rychlost, která způsobuje příznivější průběh chemických reakcí a fyzikálních pochodů. Při stejném objemovém

množství mají malé bubliny větší povrch, což příznivě ovlivňuje možnost plného využití povrchového napětí. Proto je důležitá rozpustnost vzduchu ve vodě a mechanismus tvorby vzduchových bublin. Množství rozpuštěného vzduchu v čisté vodě lze vyjádřit vztahem:

$$V_v = K * p$$

kde:

V_v - objem vzduchu rozpuštěného ve vodě. ($l \cdot m^{-3}$)

K - konstanta závislá na teplotě je pro:

$$0^\circ C \quad K=2,92$$

$$10^\circ C \quad K=2,31$$

$$20^\circ C \quad K=1,88$$

$$30^\circ C \quad K=1,64$$

Vliv jednotlivých složek plynu na růst bublin nelze zaměňovat s množstvím uvolněného plynu, protože to je především závislé na objemovém množství rozpuštěného plynu. Parciální tlak je veličina rozhodující o tvorbě bubliny a objemová rozpustnost je veličina určující množství uvolněného plynu. [1,2,4]

3.2 Základní typy flotace

V technologii čištění odpadních vod je vypracovaná a používaná řada metod, které se od sebe liší uspořádáním flotačního schématu, strojním zařízením, přístrojovou technikou, regeneračním režimem atd.

V principu jde nejčastěji o aplikace pěnové flotace a pěnové separace. Pěnovou flotaci lze užít jak pro odstranění nerozpustných látek a sraženin, tak pro snížení koncentrace některých rozpuštěných látek. Pěnové separace se výhradně využívá pro odstranění látek rozpuštěných. Při reálném čištění odpadních vod a roztoků flotací často probíhají obě varianty vedle sebe, proto je nelze od sebe rozlišit.

Rozličné metody flotace se liší konstrukcí flotačních stanic i způsobem oddělení kapalně fáze a flotační pěny.

Jedním z nejvýraznějších odlišných znaků flotačního čištění vod je způsob nasycení kapaliny bublinkami plynu požadované velikosti. Díky tomu můžeme rozdělit následující způsoby flotačního čištění odpadních vod:

- 1) Flotace s vydělením vzduchu z roztoku (flotace podtlaková, flotace tlaková)
- 2) Flotace s mechanickou dispergací vzduchu (měsidlové, pneumatické a kombinované flotační stanice)
- 3) Flotace s dispergací vzduchu přes pórovité materiály
- 4) Elektrolytická flotace (elektroflotace)
- 5) Biologická a chemická flotace

Z hlediska řízení technologického procesu flotace při čištění průmyslových odpadních vod a roztoků můžeme dále rozlišit:

- 1) Flotaci částic bez úpravy jejich velikosti a povrchu
- 2) Flotaci s předběžnou úpravou velikosti částic (flotoflokulace, flotokoagulace)
- 3) Flotaci k zahuštění a odvodnění kalů (flotoflokulační sedimentace)
- 4) Flotoextrakci

3.2.1 Flotace s vydělením vzduchu z roztoku

Při této flotaci jsou látky vynášeny na povrch velmi jemnými bublinkami, které vznikají uvolňováním ve flotační jednotce z vody, předem nasycené plynem (vzduchem). Vytvořené bublinky jsou velmi jemné, velikost asi desítek mikronů.

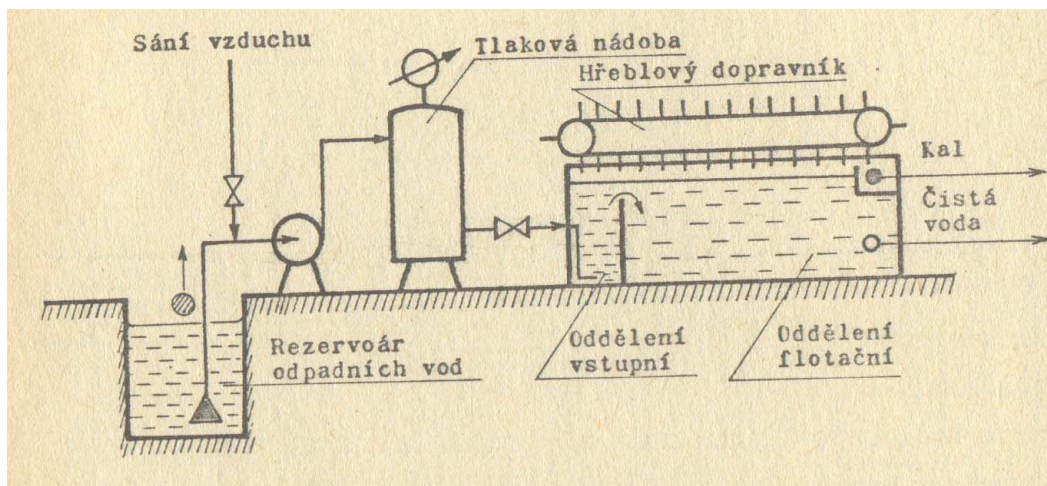
Metoda nachází široké uplatnění v praxi čištění odpadních vod, zejména takových, které obsahují nejjemnější kalové částice, protože umožňuje získat velmi jemné vzduchové bublinky. V principu jde o přesycení odpadní vody vzduchem, který se při snížení tlaku (resp. zvýšení teploty) zpětně z vody vyděluje a tvoří mikrobublinky (velikost asi desítky mikronů) vhodné k flotaci. V závislosti na způsobu, jak se odpadní voda

nebo roztok vzduchem přesycuje, můžeme rozeznat flotaci podtlakovou (vakuovou), flotaci tlakovou, popřípadě flotaci za zvýšené teploty.

3.2.1.1 Tlaková flotace

Je v praxi čištění odpadních vod nejlépe propracovanou a nejčastěji využívanou metodou, protože je konstrukčně jednoduchá a umožňuje v širokých mezích regulovat stupeň nasycení kapaliny plynem a tím i dosahovaný flotační efekt. Užívá se pro čištění odpadních vod s koncentrací nerozpustných látek do $5\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, výjimečně i více.

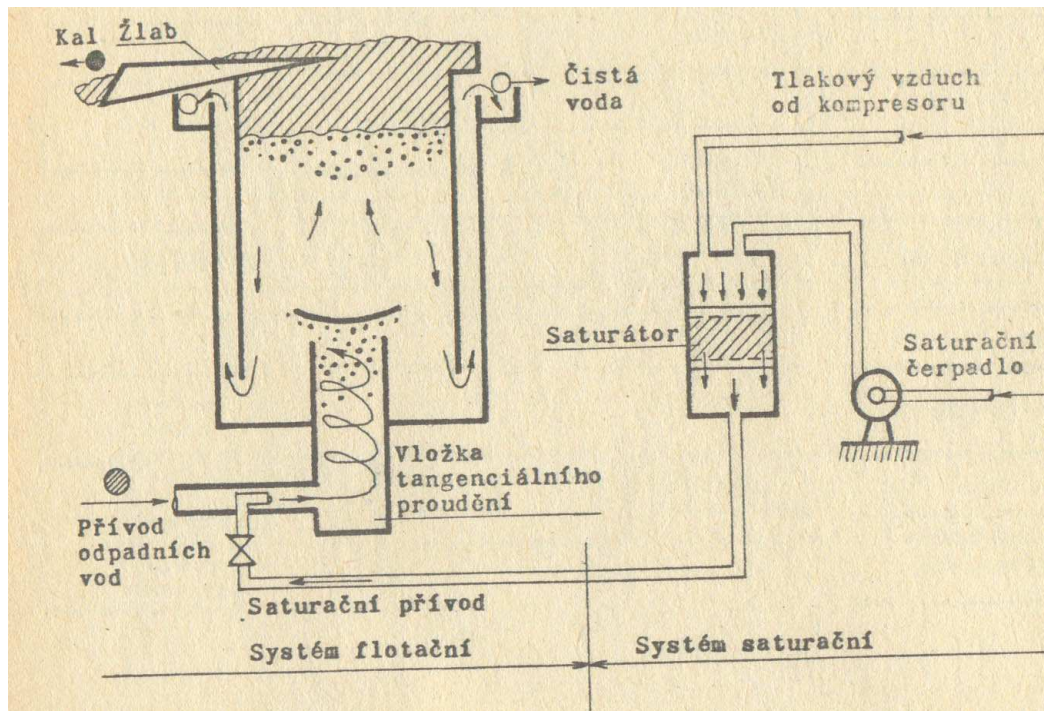
Princip tlakové flotace je zřejmý z obr. 8



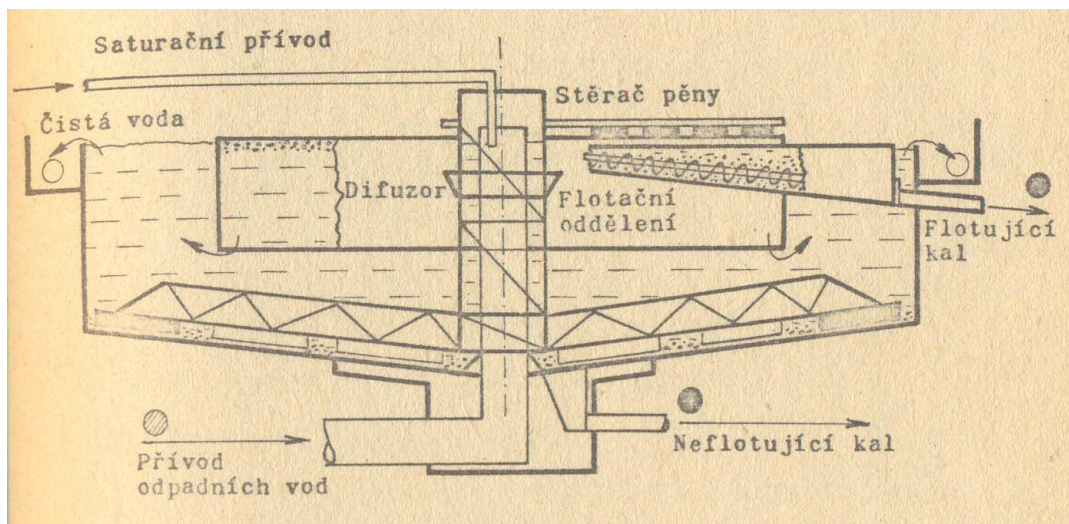
Obr. 8 Schematické znázornění čištění vod tlakovou flotací [3]

Z rezervoáru se čerpají odpadní vody přes tlakovou nádobu do vstupního oddělení flotační komory. Sací strana čerpadla je opatřena nátrubkem pro sání vzduchu. Vzduch se pod zvýšeným tlakem rozpouští v čisté vodě v prostoru tlakové nádoby eventuálně také v příslušném potrubí (přetlak od 0,15 – 0,4 MPa). Po náhlém uvolnění tlaku ve vstupním oddělení se vytvoří dostatečné množství mikrobublinek, schopných vynést do pěnového produktu flotovatelné částice. Kal se shrabuje na konci flotační komory hřeblovým dopravníkem pěny do příčného žlabu, vyčištěná voda se odvádí ze spodní části flotační komory nejčastěji v prostoru nad dnem.

Flotační komory používané k čištění vod metodou tlakové flotace mohou být různých konstrukcí a provedení. Vedle horizontálního (vanového) uspořádání (obr. 4) se vyskytují rovněž provedení vertikální (kolonové), schematické znázornění flotační komory kolonového typu je uvedeno na obr. 9



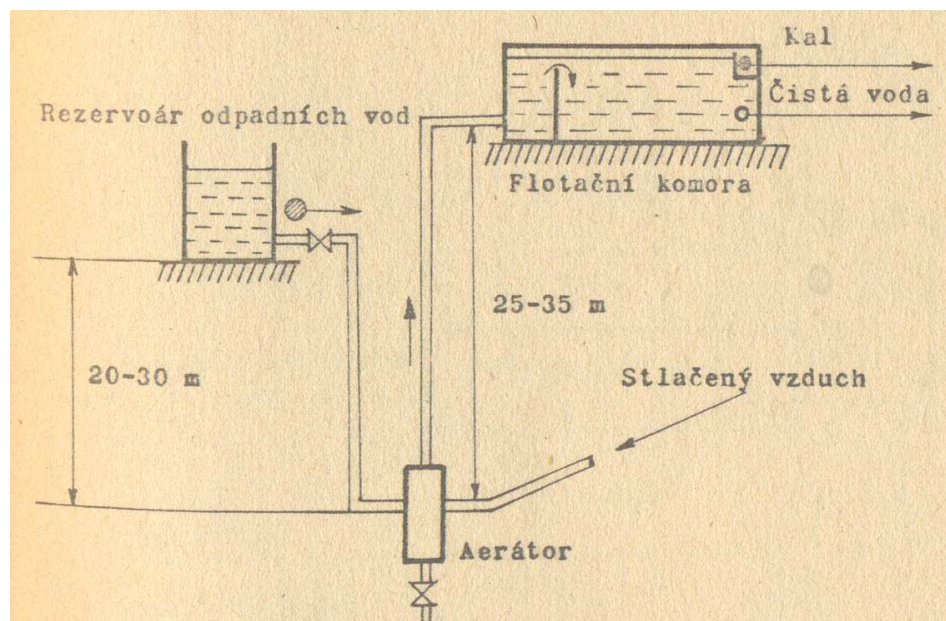
Obr. 9 Flotační stanice kolonového typu pro tlakovou flotaci [3]



Obr. 10 Kombinovaná flotačně – gravitační stanice pro čištění odpadních vod [3]

Na obrázku č. 10 je znázorněno flotační zařízení tvaru kruhového zahušťovače, ve kterém jsou souběžně odstraňovány z odpadní vody látky vynesené k povrchu hladiny (tj. flotovatelné) i látky sedimentující u dna (tj. za daných podmínek neflotující). Jde tedy o kombinovanou flotačně-gravitační čistící stanici, nacházející uplatnění v provozech chemického průmyslu zejména plastických hmot i při flotaci aktivovaných kalů v městských čistírnách odpadních vod.

Alternativou tlakové flotace je flotační stanice na obr.7. Ze zásobní nádrže padá znečištěná voda do aerátoru, do něhož se současně přivádí perforovanou trubicou stlačený vzduch, který se v kapalině rozpouští. Poté provzdušněná kapalina stoupá vlivem nižší hustoty potrubím nahoru a obohacuje se mikrobublínkami vzduchu, vydělujícími se z roztoku při snížení tlaku. Vlastní flotace nečistot se uskutečňuje ve vhodném typu flotační komory. Uvedený způsob aerace je výhodný zejména z hlediska podstatně nižší spotřeby energie oproti jiným variantám tlakové flotace, případně oproti flotaci s mechanickou dispergací vzduchu. Nedostatkem flotační stanice je však velká stavební výška. Tato stanice se využívá k čištění některých technologických roztoků v chemickém průmyslu.

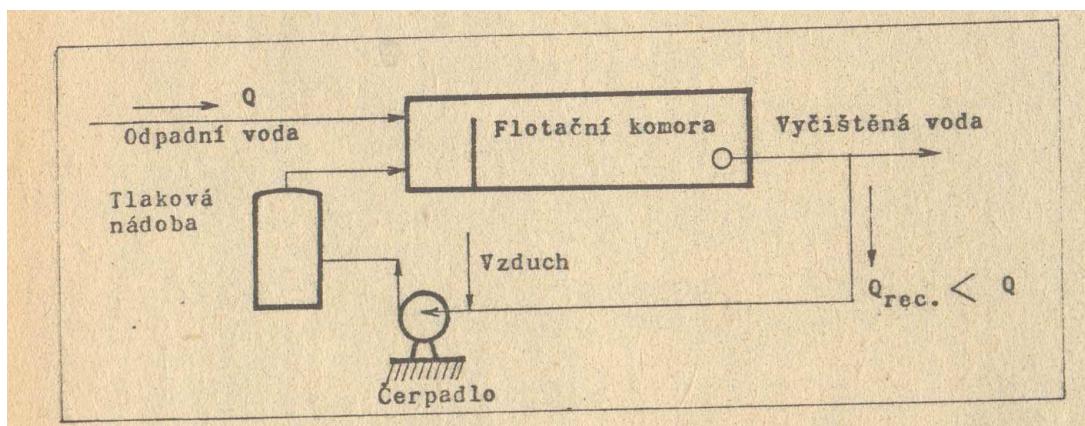


Obr. 11 Flotační stanice se zvláštním systémem aerace

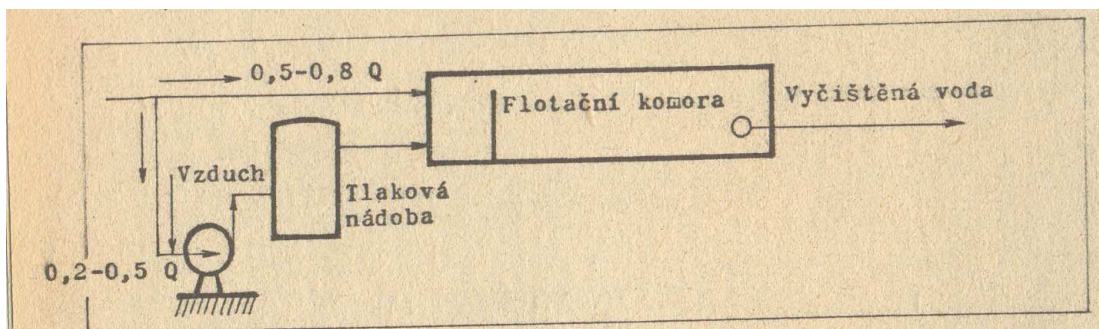
V souvislosti s vhodným typem flotační komory (stanice) je potřebné uvést důležité technologické úpravy, týkající se recirkulace vody v procesu flotačního čištění a stupně jejího nasycení plynem.

U některých druhů flotačních komor se sytí plynem celý objem čištěné kapaliny, u jiných jen část objemu kapaliny.

Zařízení recirkulace kapaliny v cyklu flotačního čištění nebo aplikace sycení části kapaliny vzduchem vede při velmi dobrém čistícím efektu ke snížení energetických nákladů (obr.12,13).

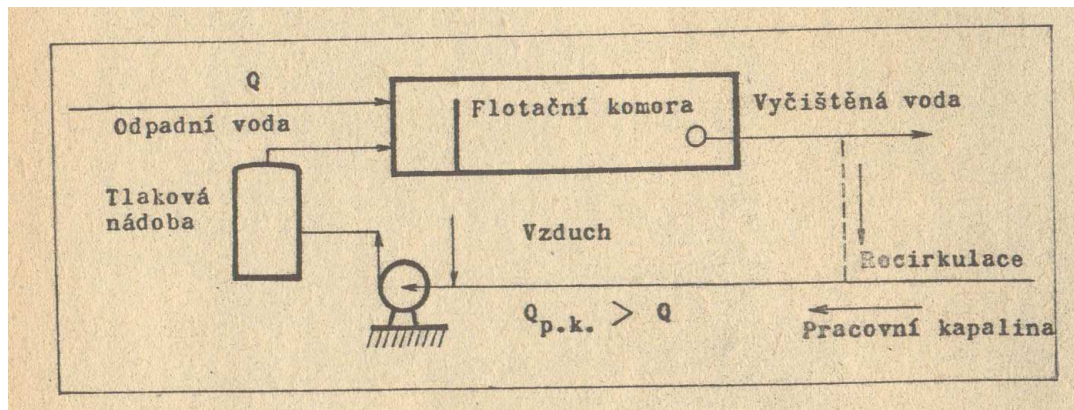


Obr. 12 Technologické uspořádání uzlu tlakové flotace s recirkulací vyčištěné vody



Obr. 13 Technologické uspořádání uzlu tlakové flotace s částečným sycením čištěné vody vzduchem

Je-li koncentrace n čistot v odpadních vodách příliš vysoká, může být přímá tlaková flotace málo účinná. V tomto případě se lépe uplatňuje flotace s přidavkem pracovní kapaliny, jejíž množství je větší než množství vlastní čištěné vody (obr.8c). [3]



Obr. 14 Technologické uspořádání uzlu tlakové flotace s pracovní kapalinou

3.2.2 Flotace s mechanickou dispergací vzduchu

Při této flotaci se do flotační jednotky s obsahem flotované kapaliny vhání stlačený vzduch ve formě jemných bublin nebo se bublinky vytvářejí mechanickými pneumatickými areátory. Vznikají bublinky o velikosti asi 1-2mm.

Promíchávání kapaliny otáčejícím se měšidlem (rotorem) dochází ke strhávání, eventuálně nasávání okolního vzduchu, který se působením vířivých proudů kapaliny rozpadá na bublinky. Jejich velikost je tím menší čím větší je intenzita míchání a čím menší je povrchové napětí na rozhraní fází kapalina-plyn. Snížení povrchového napětí současně napomáhá větší stabilitě vytvořených vzduchových bublin. Na uvedeném principu aerace flotačního rmutu jsou založeny měšidlové flotátory, ať už mechanické nebo pneumomechanické typy.

Jinou možností je aerace a promíchávání kapaliny stlačeným vzduchem, který je do flotační komory přiváděn systémem perforovaných trubek uložených většinou u dna flotátoru nebo protlačován přes porézní diafragmu vestavěnou do dna komory.

3.2.2.1 Měšidlové flotační komory

Měšidlové flotátory – jsou široce používány při rozdužování užitkových nerostů a mohou být aplikovány i pro účely čištění odpadních vod bez

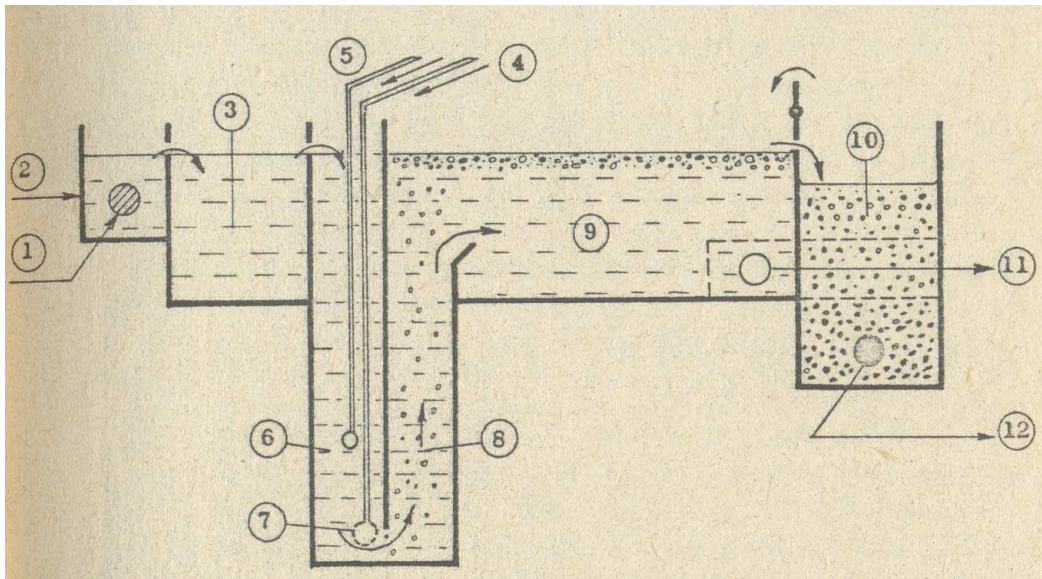
větších konstrukčních úprav. Předností měšidlových rotátorů je vysoký stupeň nasycení kapaliny vzduchem (10-50% objemu kapaliny), což je předurčuje k využití při čištění vod od hrubě disperzních nerozpustných látek při vysokých vstupních koncentracích ($2-3\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ i více)

3.2.2.2 Beztlaková flotační stanice

Schematické znázornění je prakticky shodné s nákresem na obr.4, v případě beztlakové stanice však chybí tlakový rezervoár. Dispergace vzduchu je tedy uskutečňovaná pouze vířením rotoru odstředivého čerpadla. Není-li použito dalšího speciálního zařízení pro dispergaci, pak se tvoří bublinky větších rozměrů než při tlakové flotaci a tudíž použitelnost této flotace. Je méně výhodná pro flotaci velmi jemných částic.

3.2.2.3 Pneumatické flotační stanice

Používají se při čištění odpadních vod, obsahujících rozpuštěné agresivní látky, které by poškodily mechanické části jiných typů rotátorů. Dispergace vzduchu se dosahuje cestou přívodu tlakového vzduchu do flotační komory perforovanými trubkami, které bývají obaleny speciálními (filtračními) tkaninami s požadovanou velikostí ok, nebo porézními diafragmami. Pracovní tlak vzduchu se pohybuje většinou od 0,3 do 0,5 MPa, koeficient aerace rmutu mezi 0,2 – 0,3 (20 – 30 % objemu kapalin). Možné uspořádání pneumatické flotační stanice je na obr. 15



Obr. 15 Schéma pneumatické flotační stanice pro čištění odpadních vod

Legenda k obr 15.

- | | |
|---|---------------------------|
| 1 – přívod odpadní vody | 7 – aerační trubice |
| 2 – přívod reagentů | 8 – vzestupný proud |
| 3 – flokulační oddělení | 9 – flotační oddělení |
| 4 – přívod stlačeného vzduchu | 10 – kalové oddělení |
| 5 – přidavek polymerních a hydrofobizačních látek | 11 – odvod vyčištěné vody |
| 6 – aerační oddělení | 12 – odvod kalů |

3.2.3 Elektrolytická flotace

Vyznačuje se odlišným způsobem tvorby a dispergace bublinek plynů ve flotačním rmutu, neboť se využívá k flotaci mikrobublinek plynů, vznikajících v objemu roztoku při elektrolytickém rozkladu vody. Při elektroflotaci vznikají bublinky na elektrodách napájených stejnosměrným proudem, mezi kterými protéká odpadní voda. Jedná se tedy o elektrolýzu vody. Na katodě vzniká vodík a na anodě kyslík. Výběr elektrod závisí na stabilitě nečistot v odpadních vodách a na množství a velikosti bublinek. Nerozpustné elektrody (uhlíkaté materiály, ušlechtilé kovy) se navrhují při

nízké koncentraci koloidů a při snadno koagulovatelném znečištění. V opačném případě se používají rozpustné elektrody (železo, hliník a další kovy). Velikost a množství bublinek je možné měnit podle potřeby změnou elektrického proudu a povrchovou úpravou elektrod. Povrchová úprava je rozhodující pro tvorbu jemných bublinek. Při elektroflotaci nenastává jen separace, ale zavedením proudu do elektrod probíhá polarizace, elektroforéza, oxidačně redukční procesy a při použití rozpustných elektrod probíhá i koagulace. Při posuzování konstrukce elektrod a celého elektroflotátoru je třeba si uvědomit, že elektrolýzou vody vzniká třaskavá směs. Směs kyslíku a vodíku exploduje za podmínek uvedených v tab. 1 [2].

Tabulka 1 Hranice výbušnosti směsí plynů při elektroflotaci

Druh směsi	Hranice výbušnosti v % H ₂	
	Spodní	Horní
Kyslík s vodíkem	4,5	95
Vodík se vzduchem	4,1	74,5

Při elektroflotaci lze s výhodou využít elektrochemické přípravy znečištění vody. Doporučené napětí nemá překročit hodnoty nízkého napětí (do 70V).

3.2.4 Biologická a chemická flotace

3.2.4.1 Biologická flotace

Je užívána pro zahušťování kalů z prvotních usazovacích nádrží čistíren komunálních odpadních vod. Kaly z těchto nádrží se sbírají do speciálních rezervoárů, v nichž se nahřívají parou do teploty 35 – 55 °C a při této teplotě jsou udržovány několik dní. Činností mikroorganismů, které se v tomto prostředí rozvíjejí, se vydělují bublinky plynu, jimiž jsou sedimentované částice vynášeny do pěny a v ní se zahušťují, tj. částečně odvodňují. Touto cestou je možno snížit obsah vody v kalech až do 80% a tím usnadnit jeho další úpravu, zvláště mechanické odvodňování.

Srovnatelné vlhkosti kalu bez využití flotačního efektu by bylo dosaženo při teplotě 35°C za 120 hodin. Aktivované (provzdušňované) kaly se zahušťují biologickou flotací poněkud hůře.

3.2.4.2 Chemická flotace

Je fyzikálně chemický proces separace látek (nejen suspendovaných), při kterém se do čistěných vod přidávají chemická činidla, jejichž působením se uvolňují bublinky plynů (např. CO₂, O₂, Cl₂ a jiné). Chemická flotace se uplatňuje v procesu čištění odpadních vod továren chemických syntéz (do odpadní vody se dávají koagulanty a současně chlorové vápno) a také při čištění vod z provozů úpravy a čištění vlny (do odpadních vodě se dávají soli Al a kyseliny sírová). Před vlastní flotační nádrž je nutné zařadit reaktor s minimální dobou zdržení 3 – 5 minut.

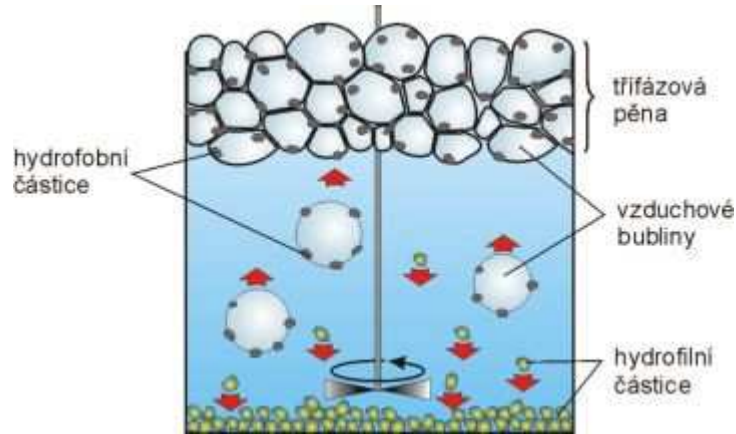
3.2.5 Molekulární a iontová flotace

Flotace založená na schopnosti materiálů hromadit se na povrchu bublin. Podstatou je působení povrchových sil, existujících na fázových rozhraních, na roztoky iontů a molekul nebo na produkty jejich reakce s vhodně volenými činidly. Získané komponenty se hromadí na fázovém rozhraní kapaliny a plynu vytvářející tenkou vrstvu nestálé pěny, která se rozpadá za vzniku škraloupu, špatně rozpustného hydrofobního produktu, v němž se hromadí sublát. Rozbitím pěny se získá koncentrát látek odstraňovaných z odpadní vody. Flotace kationtů vyžaduje přidávání anionaktivních látek a aniontů kationaktivních látek. Iontová flotace je vhodná při čištění odpadních vod obsahující barevné a těžké kovy.

3.2.6 Pěnová flotace

Důležitým znakem pěnové flotace je vytvoření stabilní pěny, ve které se akumulují separované látky. Pěnovou flotací můžeme odstraňovat nejen povrchově aktivní látky, ale i látky suspendované, emulgované a částečně rozpuštěné látky. Pěnová flotace je zvláště výhodná pro čištění odpadních vod s koncentrací detergentů v rozsahu 10 – 50 mg·l⁻¹. účinnost odstranění je více než 90%. Pěnová flotace nachází využití při čištění odpadních vod z

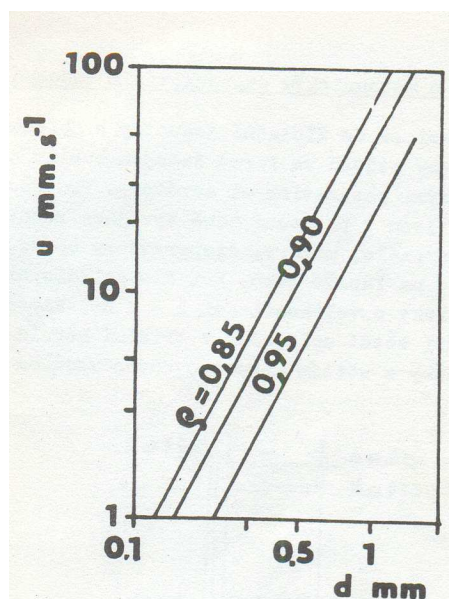
petrochemie, výroby buničiny a z chemických závodů, v jejichž odpadních vodách je zvýšený počet detergentů. Využití nalézá i v čiření a dezaktivaci radioaktivních odpadních vodách.



Obr. 16 Schéma pěnové flotace

3.2.7 Přirozená flotace

Je flotace částic lehčích než voda, např. dispergovaných lehkých olejů, různých vláken podobně. Pro výpočet vzestupné rychlosti tuhých částic, jejichž měrná hmotnost je menší než měrná hmotnost kapaliny, platí tytéž vzorce jako pro usazovací rychlosti částic. Vzestupná rychlost je tedy závislá na měrné hmotnosti dispergovaných částic. Na obr. 17 je znázorněna závislost vzestupné rychlosti pro olejové kulovité částice [2,3].



Obr. 17 Závislost vzestupné rychlosti pro olejové kulovité částice

3.3 Jiné technologické modifikace flotace

Flotační postupy čištění odpadních vod různého složení se zákonitě odlišují také způsobem technologického uspořádání a řízení procesu v konkrétních podmínkách. Mezi ukazatele ovlivňující průběh i výsledek flotace patří: reagenční režim, agitační doba s činidly, flotační čas atd. Velmi důležitým parametrem je v této souvislosti velikost flotovaných částic. Protože flotace nejjemnějších kalových částic je vždy obtížnější a po všech stránkách náročnější i nákladnější, je nutné klást zvláštní důraz na předpravu velikosti těchto částic. Tento aspekt se technologicky řeší koagulací částic, nebo jejich flokulací.

3.3.1 Metoda flokulace

Flotoflokulace, přesněji flotace předem zflokulovaných částic, nachází uplatnění při čištění vod a roztoků především na hydrometalurgických závodech. Jde o postupnou flokulaci a hydrofobizaci povrchů tuhých částic s následnou flotací agregátů ve vhodném flotačním zařízení.

3.3.2 Metoda flotoflokulační sedimentace

Intenzifikace procesu sedimentace jemných kalů pomocí agregace částic, k níž dochází v průběhu flotace hydrofobizovaných flokul .

Flotoflokulační sedimentace lze shrnout do těchto kroků:

- 1) Do jemně disperzní zředěné suspenze se přidá hydrofobizační činidlo a zajistí jeho promíchání
- 2) Aerace této suspenze s následnou flotací ,, tj. převedením agregátů částic do pěnového produktu
- 3) Doprava pěnové vrstvy do sedimentační nádrže, v níž proběhne urychlená sedimentace flokul.

Metoda flotoflokulační sedimentace nevyžaduje pěniče, neboť v jejich přítomnosti by docházelo k tvorbě stabilizovaných aeroflokul, které by zhoršovaly průběh následné sedimentace.

3.3.3 Metoda flotoextrakce

Kombinuje se zde flotace iontů, molekul a sraženin s kapalinovou extrakcí. Při flotoextrakci se spotřebuje mnohem méně sběrače i organického rozpouštědla, oproti kapalinové extrakci. Kromě toho při flotoextrakci se zmenšuje emulzifikace organického rozpouštědla ve vodním roztoku. Metoda se osvědčila při odstraňování olejů a tuků z odpadních vod. [3]

3.4 Flotační přísady

Pro flotaci odpadních vod platí jiné zásady u reagenčního režimu, který musíme volit, abychom docílili maximálního odstranění škodlivin z vody a nezneškodnili vodu flotačními přísadami. Při výběru flotačních přísad je nutné mít na zřeteli, že se nesmí zhoršit kvalita vody, nezpůsobit potíže pro analytické stanovení škodlivých látek ve vodě.

Látka, která ovlivňuje smáčivost flotovaných materiálů. Podle mechanismu působení jsou flotační činidla dělena na:

- **Sběrače (kolektory)** – povrchově aktivní látky, které se adsorbují na povrchu flotovaného materiálu a hydrofobizují je. Při flotaci odpadních vod se sběrných přísad používá velmi málo. Většinou jen tehdy, je-li voda znečištěna mechanickými příměsemi (nerosty). Používané přísady: kyselina olejová $C_{17}H_{33}COOH$ a olejan sodný $C_{17}H_{33}COONa$, mají minimální toxické účinky a prakticky kvantitativně přejdou do pěnového produktu. Mají za úkol vytvořit na povrchu minerálu hydrofobní povlak a zvětšovat jeho přilnavost ke vzduchovým bublinám.
- **Depresory** – povrchově aktivní látky, zesilující smáčení vodou materiálů, které nemají flotovat.

Povrchově aktivní látka - (někdy označovaná zkratkou PAL; dříve rovněž nazývaná *kapilárně aktivní látka*). Látka, která snižuje povrchovou, popř. mezifázovou energii a proto se samovolně koncentruje ve fázovém rozhraní - je pozitivně adsorbována.

Pro vysoce povrchově aktivní látky ve vodných roztocích je i v češtině často používáno označení *surfaktanty*, převzaté z angličtiny, nebo *tenzidy*, převzaté z němčiny.

- **Regulátory** - většinou elektrolyty, které samy o sobě nejsou většinou povrchově aktivní, ale modifikují povrch částic; buď usnadňují adsorpci povrchově aktivních kolektorů (*aktivátory flotace*), nebo naopak znesnadňují působení mezi částicí a kolektorem a působí jako depresory. Jsou anorganické nebo organické látky, které zabraňují zachycování sběračů na povrchu minerálních částic (tím zvyšují, nebo snižují jejich flotovatelnost) a dále takové které mění alkalitu nebo kyselost flotačního rmutu a zamezují škodlivému shlukování jemných kalových částic. Většinou se jedná o anorganické soli, kyseliny, zásady, syntetická polymerní flokulační činidla. Jejich úkoluje připravovat podmínky před nebo v průběhu flotačního procesu, shlukovat velmi jemné sraženiny ve větší částičky, které mohou pak být připojeny za určitých podmínek ke vzduchovým bublinám. Pro jejich volbu platí obvyklá důležitá podmínka, že nesmí ovlivnit biologické pochody ve vodě. Velmi nevhodná je kyselina dusičná. Kyselina fosforečná a její soli jsou nevhodné kvůli podpoře abnormálního růstu vodních řas, které znehodnocují vodu. Síranů a chloridů může být ve vodě jen do 300 – 400 mg/l. Nejvíce používané přísady této skupiny jsou kyselina sírová, hydroxid vápenatý pro úpravu koncentrace vodíkových iontů a pro rozrušování emulzí. Vápník je zároveň důležitou látkou pro poslední stupeň čištění odpadních vod – sedimentace neutralizovaných a vysrážených solí. V menších dávkách je vhodná i kyselina solná, která má své specifické působení ve flotačním procesu vyjma úpravu koncentrace vodíkových iontů. Ovlivňuje výhodně flotovatelnost některých látek a rozrušuje některé typy emulzí lépe než H_2SO_4
- **Pěniče** – látky, které snižují povrchové napětí na rozhraní vody a vzduchu. Tím napomáhají vytváření husté, vlhké poměrně stabilní

pěny, schopné v sobě zadržet flotované částice. Dávkuje se většinou v polovině flotačního procesu, protože při znečištění vody ropnými látkami, sami tyto ropné látky působí jako pěniče. Ropné produkty obsažené ve vodě představují zpěňovací přísadu s jistými sběracími vlastnostmi, které napomáhají odstraňovat cizí látky z vody a jsou flotačním procesem zároveň odstraňovány. Jsou-li vody znečištěny anorganickými solemi (anorganickými elektrolyty) např. NaCl, Na₂SO₄ a jinými, působí tyto soli ve vodě jako pěnič při určité koncentraci. Anorganické elektrolyty působí na flotaci přirozeně hydrofobních minerálů komplexně. Snižují stabilitu hydrátových obalů okolo částí (splňují tím funkci sběrače) a zvyšují disperznost bublin a stálost pěny (splňují funkci pěniče). Nejvíce osvědčené pěniče jsou na bázi neionogenních tenzidů – saponáty. Často již bývají ve vodě přítomny. Pokud se dávkuje do flotace, jejich dávka nepřekročí 50mg/l. většina pěniče se odstraní v pěnovém produktu, jeho zůstatková hodnota je zanedbatelná.

Flotační přísady se především uplatňují při flotaci odpadních vod, která je znečištěná látkami ve formě emulze. Pro úspěšný flotační proces je nutné nejdříve rozrušit emulzi. Pro zesílení účinků elektrolytů se osvědčuje dávkování černouhelného prachu, který je hydrofóbní. Vytváří trojfázovou pěnu, která lépe a rychleji odstraní ropné produkty z vody. Dávky černého uhlí stačí minimální množství ne více jak 1g na 1 litr flotované vody. Při flotaci jemných sraženin se osvědčuje dávkování syntetických polymerních fakulantů, anion či kationaktivních podle povahy flotované sraženiny. Ve flotačním procesu kdy znečištěná voda vytváří tak bouřlivou a objemnou pěnu že proces není zvládnutelný, se využívá kapalných extrakčních činidel v kombinaci s polymerními flokulanty. Tento postup se osvědčuje při flotaci lanolinu, kdy voda je silně znečištěna saponáty [3,5].

3.5 Příprava znečištěné vody k flotaci

Pro úspěšný průběh technologického procesu je třeba připravit vodu pro flotaci. Pro určení vlastností flotace pro čištění odpadních vod je třeba znát množství znečišťujících látek, které voda obsahuje, včetně množství odpadní vody, která má být čištěna za určitou časovou jednotku. Znečišťující látky bývají většinou mechanické nečistoty o různé velikosti částic, nemísitelné kapaliny např. olej, mísitelné kapaliny a různé soli rozpustné nebo nerozpustné.

Pevné látky nad 0,1 mm je vhodné odstranit sedimentací. Zvláště velké částice se odstraňují průtokem přes síto.

Nemísitelné kapaliny v množství více jak 500 až 1000 mg/l vody se odstraňují před flotací v gravitačních odlučovačích oleje. U emulzí bez jejich rozrušení nelze větší množství nemísitelných kapalin odloučit gravitací. Flotací se odstraňují tyto kapaliny výraznou změnou koncentrace vodíkových iontů, buď do kyselé, nebo alkalické oblasti, v průběhu flotačního procesu. U jednoduchých emulzních systémů se nejdříve rozruší emulze, pak se nemísitelná kapalina odloučí gravitačně a téměř kvantitativně odstraní následnou flotací z vody.

Emulze, odmašťovací lázně, chladicí a řezné kapaliny včetně tlakových kapalin obsahují značné množství nemísitelných kapalin. Představují velmi nebezpečnou směs látek pro vodu ve veřejných tocích, kterou by při volném vypouštění znehodnotily ve velkém rozsahu. Proto je velmi důležité u těchto kapalin provádět ověřovací zkoušky, zda nelze vyloučit cizí látky bez narušení jejich funkčních vlastností a to i flotací. Těmito zkouškami se docílí menší četnosti likvidace kapalin a emulzí a tím i snížení produkce nežádoucích kalů a jiných látek, které vyžadují rovněž likvidaci např. spalováním.

Pro flotaci cizích látek z vody je nutné zajistit následující podmínky:

- 1) Voda nesmí být znečištěna většími mechanickými nečistotami než 0,1 – 0,5 mm.
- 2) Voda musí být v převaze nad ostatními složkami celkové směsi.
- 3) Pro dosažení zbytkové koncentrace nemísitelných kapalin ve vyčištěné vodě pod 1 – 5 mg/l je žádoucí, aby obsah těchto kapalin byl před flotací v rozmezí 500 – 1000 mg/l.
- 4) Velmi stabilní emulze se flotují přímo bez úpravy před flotací za velmi náročného procesu jak na flotační čas, tak i na dávkované flotační přísady.
- 5) Zvláště znečištěná voda všemi možnými látkami o vysokých koncentracích představuje kapalinu, kde gravitační rozdělení je vyloučeno, včetně ovlivňování chemikáliemi, vyžaduje naředění této kapaliny v určitém poměru čistou vodou. Určit tento poměr je nutné rovněž v průběhu laboratorních zkoušek [3].

ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na využití flotace ve vodohospodářství. Nejprve jsou uvedeny teoretické základy flotačního procesu, jejichž pomocí jsem se snažil přiblížit probíhající procesy čištění pomocí flotace. Další kapitoly popisují praktické využitím flotace a možné uspořádání flotačních zařízení na jednotlivých čistírnách.

Každá čistírna je zaměřená na různé druhy vod a má specifické nároky, které jsou nutné řešit lokální úpravou daného typu flotačního zařízení, aby vedlo k co nejefektivnějšímu a nejekonomičtějšímu čištění. Využití flotace v první řadě závisí na charakteru znečištění a odpovídajících technologických i ekonomických možnostech. Není proto možné uvést všechny jednotlivé existující druhy flotačních zařízení, které jsou v současné době na trhu.

Cílem mé práce bylo stručně popsat používané procesy úpravy vody pomocí flotace.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Čížek P., Herel F., Koníček Z. *Stokování a čištění odpadních vod*, 1. vyd. Praha: SNTL, 1970, 183 s
- [2] Hubáčková J., Erben V. *Využití flotace při procesu úpravy vody*, 1. vyd. Výzkumný ústav vodohospodářský ve Státním zemědělském nakladatelství v Praze, 1989, 120s
- [3] Kolektiv autorů *Flotace v technologickém průmyslu a vodním hospodářství*, 1 vyd. Dům techniky ČSVTS Ostrava, 1983, 172s
- [4] Petrů A., Nechvátal J. *Zpracování kalů z městských čistíren*, 1 vyd. Praha: SNTL, 1968, 329s
- [5] Encyklopedie seznam: Čištění odpadních vod [online][cit.2008-03-11] dostupné na: <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/505633-cistení-odpadních-vod>
- [6] Kupec J. *Zpracování odpadních vod a čistírenských kalů* (skriptum) 1.vyd. UTB ve Zlíně 123s
- [7] Hyánek L. *Použitie flotacie na astenie odpadových vod*, 1. vyd. Bratislava, SVŠT, 1980, 63s
- [8] Pardus I., Pazdera C. *Proces flotace* Praha, Hydroprojekt 1973, 116s

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Veškeré použité symboly jsou pro větší přehlednost a komfort čtenáře uvedeny přímo v textu, kde byly použity.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Průběh přiblížení vzduchové bubliny k povrchu tuhé látky v závislosti na změně volné energie hydratované vrstvy [2].	14
Obr. 2 Závislost volné povrchové energie hydratační vrstvy na hydrofobitě povrchu [2].....	15
Obr. 3 Závislost mezi průměrem bublinky, množstvím bublinek určité velikosti a průtokovou rychlostí [2].....	19
Obr. 4 Dvoufázová pěna [2].....	22
Obr. 5 Třífázová pěna [2].....	22
Obr. 6 Tvorba komplexů při tlakové flotaci [2].....	23
Obr. 7 Vzestupná rychlost vzduchových bublin ve vodě [2].....	25
Obr. 8 Schematické znázornění čištění vod tlakovou flotací [3].....	28
Obr. 9 Flotační stanice kolonového typu pro tlakovou flotaci [3].....	29
Obr. 10 Kombinovaná flotačně – gravitační stanice pro čištění odpadních vod [3].....	29
Obr. 11 Flotační stanice se zvláštním systémem aerace.....	30
Obr. 12 Technologické uspořádání uzlu tlakové flotace s recirkulací vyčištěné vody	31
Obr. 13 Technologické uspořádání uzlu tlakové flotace s částečným sycením čištěné vody vzduchem	31
Obr. 14 Technologické uspořádání uzlu tlakové flotace s pracovní kapalinou	32
Obr. 15 Schéma pneumatické flotační stanice pro čištění odpadních vod.....	34
Obr. 16 Schéma pěnové flotace	37
Obr. 17 Závislost vzestupné rychlosti pro olejové kulovité částice.....	37

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Hranice výbušnosti směsí plynů při elektroflotaci	35
---	----